

Tip proiect Competiția UniTBv – Granturi pentru echipe interdisciplinare
Contract nr. 1804/15.02.2018
Titlul Sistem de urmărire a mișcării în timp real pentru exerciții de kinetoterapie a persoanelor cu cerințe educaționale speciale
Coordonator Prof.dr.ing. Silviu Butnariu, Dpt. Autovehicule și Transporturi, Facultatea de Inginerie Mecanică
Parteneri Prof.dr.ing. Gheorghe Mogan, Prof.dr.ing. Csaba Antonya, Conf.dr.ing. Florin GÎRBACIA, Drd.ing. Daniel VOINEA, Dpt. Autovehicule și Transporturi, Facultatea de Inginerie Mecanică
Prof.dr.ing. Claudiu Pozna, Dpt. Automatică, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor
As.drd. Petronela Ursu, Dpt. Educație Fizică și Motricitate Specială, Facultatea de Educație Fizică și Sporturi Montane

RAPORT TEHNIC FINAL

Sistem de urmărire a mișcării în timp real pentru exerciții de kinetoterapie a persoanelor cu cerințe educaționale speciale



CUPRINS

1	Definirea temei. Obiective.....	3
1.1	Stadiul actual.....	3
1.2	Obiectivele proiectului.....	5
2	Definirea structurii sistemului și a standardelor de proiectare ..	7
2.1	Componentele și funcțiile sistemului.....	7
2.2	Funcționarea echipamentului.....	8
2.3	Arhitectura sistemului.....	11
2.4	Definirea cerințelor de proiectare	12
3	Realizarea sistemului. Activități și rezultate în cadrul proiectului	14
3.1	Arhitectura aplicației de diagnostică	14
3.2	Definirea principiului de funcționare	15
3.3	Modelarea matematică a geometriei sistemului locomotor	17
3.3.1	Model cinematic (Ver. 1).....	18
3.3.2	Model cinematic (Ver. 2).....	20
3.4	Modulul de achiziție a datelor de la senzori. Realizarea modelului funcțional	22
3.5	Plan de exerciții pentru testare.....	24
3.5.1	Cauzele frecvente ale paraparezei spastice [34]	24
3.5.2	Obiectivele și metodele tratamentului paraparezei spastice [34].....	24
3.5.3	Exerciții implementate	25
3.6	Aplicație pentru dispozitivul portabil (smartphone).....	25
3.7	Aplicație pentru accesarea datelor pe dispozitivul fix (PC).....	26
3.8	Verificarea și experimentarea modelului funcțional	28
3.9	Testarea prototipului pe subiecți umani.....	28
3.10	Utilizarea echipamentului și validarea	29
3.11	Concluzii	30
4	Impactul rezultatelor obtinute. Diseminare	31
4.1	Prezențe la conferințe de specialitate	31
4.2	Brevete	31
5	Bibliografie.....	32

1 Definirea temei. Obiective

1.1 Stadiul actual

S-a urmărit evidențierea unor caracteristici importante ale procedurilor kinetoterapeutice utilizate în ultimii ani, cu accent pe elementele precizate în subcapitolul anterior, *Introduce, pct. d), lit. (i) și (ii) - exercițiul fizic și posturarea*. Aceasta din urmă reprezintă un mijloc prin care corpul sau anumite segmente ale corpului sunt poziționate prin impunere sau menținute voluntar pentru anumite perioade de timp având scop terapeutic sau profilactic [3].

Recuperarea medicală se definește ca fiind procesul de soluționare a problemelor și educare, în cursul căruia o persoană cu dizabilitate este ajutată să ajungă la cel mai bun nivel de viață posibil, pe plan fizic, funcțional, social și emoțional, cu cea mai redusă restricție [4]. Recuperarea medicală și procedurile kinetoterapeutice au loc în cabinete specializate, cu ajutorul unor echipamente dedicate, sub supravegherea unui cadru de specialitate, care urmează o procedură de tratament impusă de medic. Activitatea implică alocarea unei **durate de timp mari**, deplasarea la cabinet unde au loc reprize de exerciții limitate în timp, implică și un cost al asistenței medicale. Pentru o serie de exerciții, se poate folosi goniometrul sau alte aparate/echipamente statice ce măsoară unghiurile dintre segmentele corpului uman, valori ce pot fi comparate cu alte înregistrări (mai ales în cazul în care există o parte afectată și una sănătoasă); totodată, nu există o soluție ce implică analiza traiectoriei mișcării. Evaluarea diferă în funcție de articulație și de patologie (de ex., pe lipsa de control neuromotor, mișcarea poate să fie realizată fragmentat, cu traiectorie diferită și ritm diferit, ceea ce nu indică calitate în comanda neuromotorie).

Recuperarea pentru anumite afecțiuni implică exerciții fizice, conform planului de tratament impus de medicul specialist, de o mai lungă durată de timp, ce depășește timpul acordat ședințelor din cabinetele specializate. În unele cabinete există o serie de **echipamente complexe, moderne** (ex. sistemul ERIGO PRO – robot pentru recuperarea membrilor inferioare, robot ARMEO SPRING – pentru membrele superioare, CTIV-K – pentru recuperarea patologiei genunchiului, sistem computerizat de elongații TRITON), dar care sunt dispozitive mecanice, complexe, greoaie, care pot afecta emoțional unii pacienți cu nevoi speciale, unele dintre ele necesitând fixări, imobilizări ale membrilor [5]. De aceea, se urmărește ca o parte din exerciții să se efectueze într-un mediu familiar, cu care pacientul este obișnuit.

Există unele tratamente făcute la domiciliul pacientului, de obicei exerciții fizice, bazate pe un plan de recuperare, executate după tutoriale, ce pot conține și o latură de control și verificare a corectitudinii efectuării mișcărilor. Totuși, se poate spune că pe piață există o ofertă limitată a exercițiilor de acest tip, cu supraveghere și verificare controlate, aceste sisteme fiind bazate pe mijloace de **urmărire video a mișcării**.

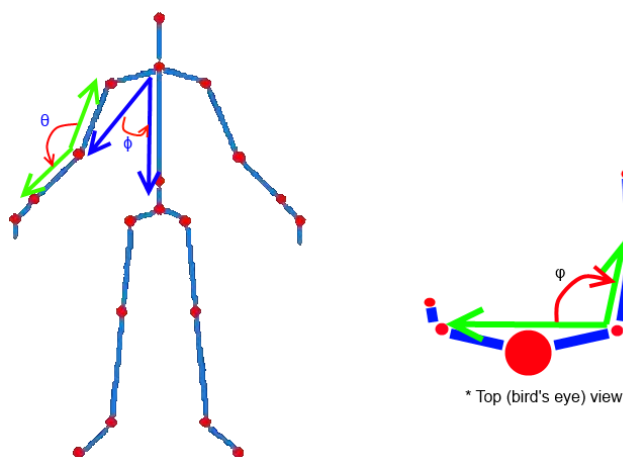


Fig. 1 Măsurarea unghiurilor cu ajutorul senzorului Kinect [9]

Astfel, s-au identificat unele sisteme dezvoltate cu camere de tip Kinect, care nu implică un contact direct între pacient și sistemul de urmărire [6], [7], [8] și care pot avea interfețe foarte prietenoase, dedicate copiilor, fiind concepute chiar ca un joc / desen animat. Aceste echipamente pot fi foarte utile în cazul unor exerciții, mai ales în cazul în care pacientul se poziționează în fața senzorului Kinect, în postură frontală (Fig. 1). Totuși, considerând un studiu de caz cu o procedură standard de exerciții în cazul unei afecțiuni de *parapareză spastică* [10], [11], s-a identificat o **deficiență majoră** a acestora. În momentul în care corpul pacientului se rotește în planul transversal, senzorul Kinect își pierde calibrarea, fiind în imposibilitatea de a reveni în procesul corect de urmărire a posturii decât după o nouă calibrare, activitate ce necesită un timp suplimentar și poziționări impuse în fața senzorului (Fig. 2).

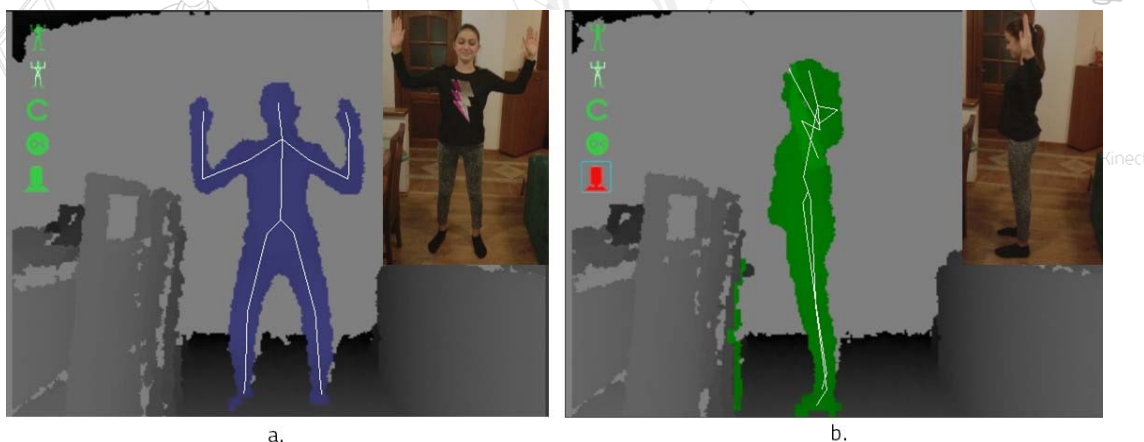


Fig. 2 Reconstituire schelet cu ajutorul senzorului Kinect: (a) calibrare; (b) eroare de reprezentare a scheletului la rotirea corpului

Din acest motiv, cercetările s-au îndreptat spre utilizarea unor alte tipuri de senzori în vederea urmării mișcărilor corpului uman, ce au posibilitatea de a înregistra datele privind **trajectoriile** segmentelor corporale. În ultima decadă, diverși cercetători au avut abordări în cercetarea sistemelor folosite pentru urmărirea mișcării corpului uman în diverse aplicații: sport, medicină [12],

[13], [14], [15], [16], [17], poziția în anumite activități [18]. S-au identificat mai multe tipuri de senzori utilizați în **body tracking**: mecanici, optici, inerțiali, electromagnetici, ultrasonici [19]. Totuși, senzorii inerțiali au o serie de avantaje: dimensiuni mici, consum mic de energie, precizie ridicată, posibilitatea de a face parte din echipamente portabile [20], [21], [22]. Pot fi utilizați în echipamente comerciale folosite la diverse activități: sportive (fitness, ciclism, alergare) [23], medicale [24], [25], [26] sau jocuri (optic - Kinect, LeapMotion, inerțial - Wii) [27].

Concluzie În domeniul kinetoterapiei există o serie de exerciții ce pot completa planul de tratament și se pot executa în afara cabinetului medical dar care trebuie executate corect, deci controlate.

Soluția = sisteme de urmărire a mișcărilor corpului uman, cu posibilitate de înregistrare și control în timp real.

1.2 Obiectivele proiectului

Obiectiv principal (OP) Îmbunătățirea activității de recuperare medicală prin dezvoltarea de sisteme și aplicații bazate pe tehnologii de urmărire a mișcării (tracking) utilizate în cabinetul medical sau la domiciliul pacientului.

Acest concept presupune urmarea unui plan de tratament pentru anumite afecțiuni, cu/fără supravegherea directă a cadrului medical. Exercițiile pot fi realizate la domiciliul pacientului sau în orice altă locație, existând posibilitatea unui autocontrol strict (datorat tehnologiilor moderne implementate), înregistrarea tuturor mișcărilor pentru a putea fi analizate ulterior de către medic (imagini video sau date înregistrate și prelucrate de unitățile de calcul).

Tab. 1 Obiectivele proiectului

Obiective secundare	Activități	Rezultate
OS1 Creșterea atractivității procedurii de kinetoterapie utilizând elemente adaptate pacienților (elevi cu nevoi speciale).	Act.1.1 Dezvoltarea unui sistem hardware de urmărire a mișcării corpului uman bazat pe senzori video de tip Kinect	Rez.1.1 Sistem hardware ce conține: PC (cu placă video performantă), senzor video RGB-D, monitor / Tv cu diagonală mare, drivere instalate. Achiziție PC, Kinect, monitor/TV, instalare sistem.
	Act.1.2 Implementarea unor interfețe video de tip jocuri / desen animat utilizând programe performante dedicate	Rez.1.2 Software dedicat (ex. iClone), realizare de diverse personaje avatare pentru pacienți și a unor scene. Achiziție software, instalare pe PC, configurare, testare, realizare instrucțiuni de lucru.
OS2 Controlul și înregistrarea în timp real a unor mișcări din procedura de	Act.2.1 Dezvoltarea unui sistem hardware de urmărire bazat pe senzori inerțiali	Rez.2.1 Sistem hardware compus din: senzori inerțiali, placa de dezvoltare de tip Arduino, multiplexor, alimentator, smartphone / tabletă. Achiziție componente electronice, configurare, conectare, setări.

kinetoterapie a pacienților.	Act.2.2 Dezvoltarea unei aplicații software capabilă să înregistreze în timp real mișcările corpului	Rez.2.2 Aplicație software pentru dispozitiv mobil (smartphone), capabilă să afișeze în timp real unghiurile măsurate, să înregistreze și să transmită datele către un server pentru stocare / distribuire.
OS3 Implementarea noilor concepte de exerciții de recuperare.	Act.3.1 Dezvoltarea unei proceduri de evaluare a pacientului	Rez.3.1 Procedură de evaluare a pacientului ce conține o serie de exerciții ce conțin mișcări ce pot fi măsurate, înregistrate și evaluate. Poate fi utilizată la evaluarea inițială, în cursul tratamentului sau la finalizarea acestuia.
	Act.3.2 Testarea și evaluarea sistemului prin efectuarea exercițiilor de recuperare	Rez.3.2 Sistem implementat și testat pe un număr de pacienți. Raport privind rezultatele obținute prin utilizarea noului sistem.
OS4 Diseminarea rezultatelor	Act.4.1 Participarea la conferințe și publicarea de articole	Rez.4.1 Un număr de 2-4 articole publicate în baze de date recunoscute internațional.
	Act.4.2 Organizarea de evenimente pentru prezentarea rezultatelor proiectului	Rez.4.2 Conferință de presă; comunicat de presă; știre de presă; realizarea unei pagini web a proiectului și publicarea rezultatelor.

În fapt, proiectul propune realizarea unui echipament sub formă de element vestimentar (pantaloni) dotat cu senzori, controler și sistem de calcul portabil, capabil să identifice în timp real orientările unghiulare ale segmentelor picioarelor, deci postura sistemului locomotor la un moment dat, compararea cu o postură prescrisă și salvată în sistemul de calcul, precum și avertizarea pacientului în timp real despre acest lucru. Echipamentul conține senzori inerțiali, actuatori, controler și un sistem portabil de calcul (smartphone, tabletă), astfel încât să poată fi permanent calculată poziția geometrică a sistemului locomotor. Informațiile obținute sunt apoi procesate de o aplicație dedicată, având o dublă utilitate:

- ✓ Măsurare în timp real a mobilității sistemului locomotor, urmat de o comparație cu modelul de referință stocat în bază de cunoștințe. Sistemul folosește o aplicație software instalată pe un calculator, având o interfață utilizator. Dacă postura prescrisă nu este respectată, pacientul primește un mesaj de avertizare pe smartphone.
- ✓ Înregistrare și salvare date privind derularea exercițiilor – sistemul este gestionat de către o aplicație software de pe smartphone, având funcții de monitorizare permanentă a poziției picioarelor și de comparare cu referința prescrisă. Datele sunt salvate sub formă de fișiere .txt și trimise spre server pentru stocare și / sau analiză.

Pe lângă aceste două principale funcții, sistemul folosește un echipament de urmărire a mișcării bazat pe camere RGB-D (tracking video) necesar pacienților cu nevoi speciale, în vederea stabilirii unei atmosfere plăcute în timpul desfășurării exercițiilor.

2 Definierea structurii sistemului și a standardelor de proiectare

2.1 Componentele și funcțiile sistemului

Obiectivul principal al dezvoltării acestui echipament este îmbunătățirea activității de recuperare medicală prin dezvoltarea de sisteme și aplicații bazate pe tehnologii de urmărire a mișcării (tracking) utilizate în cabinetul medical sau la domiciliul pacientului. În acest scop, se va dezvolta un echipament portabil, fixat pe corpul pacientului, care urmărește și măsoară permanent poziția membrilor pacientului, fiind astfel util în diagnosticarea și / sau efectuarea tratamentului prin kinetoterapie.

Echipamentul este compus, în esență, din două subsisteme: (1) subsistemul de reproducere a mișcării prin avatar și (2) subsistemul de înregistrare a mișcării cu senzori inerțiali și are capacitatea de a identifica în timp real postura membrilor corpului uman, prin intermediul a celor două subsisteme, cu două tehnologii diferite de tracking, având o utilitate dublă:

- Sesizarea mișcărilor pacientului și transferul caracteristicilor cinematice către un avatar în vederea creării unei animații cu ajutorul unei aplicații software dedicată, instalată pe un calculatorul fix.
- Terapie – sistemul este coordonat de o aplicație software de pe smartphone, având funcții de monitorizare permanentă a poziției membrilor pacientului și de comparare cu referința prescrisă în tratament. Dacă postura prescrisă nu este respectată, pacientul primește un semnal, avertizându-l să-și corecteze postura. În plus, aplicația instalată pe smartphone se va putea reconfigura și adapta în funcție de evoluția tratamentului.

Avantajul dezvoltării unui echipament ce se poate folosi la domiciliu constă în obținerea unui suport interactiv pentru pacient în ambulatoriu și corecția activă a afecțiunilor statice și dinamice ale sistemului locomotor.

Este bine cunoscut faptul că cele mai frecvente terapii prescrise pentru tratamentul afecțiunilor sistemului locomotor vizează corectarea poziției membrilor pentru perioade lungi de timp (luni sau chiar ani). Tratamentul acestor afecțiuni este, de obicei, realizat cu succes în timpul perioadei de spitalizare, deoarece pacienții sunt sub supraveghere medicală. Cu toate acestea, în cazul unui tratament ambulatoriu desfășurat pe o perioadă lungă de timp, atunci când pacienții își reiau activitățile profesionale, apar numeroase dificultăți în aplicarea terapiei. În realitate, foarte puține cazuri au ca rezultat o îmbunătățire a afecțiunilor, datorate în principiu nerespectării instrucțiunilor terapeutice.

Subsistemul de reproducere a mișcării prin avatar cuprinde un stand ce conține un calculator cu monitor de dimensiuni generoase și un senzor RGB-D (tip Kinect). Pe calculator rulează un software dedicat, capabil să preia înregistrările de la senzorul RGB-D și să le transfere către un avatar, ce va

avea același comportament cinematic cu pacientul. În plus, pachetul software permite personalizarea avatarului, în funcție de preferințele pacientului (personaje umane reale sau de desene animate etc).

Subsistemul de înregistrare a mișcării include un set de cinci senzori de tip inerțial (IMU: accelerometru, magnetometru și giroscop) atașați de corp cu benzi tip Velcro sau pe un obiect de îmbrăcăminte – pantalon, după o schemă controlată și conectați la un controller care poate comunica wireless cu o aplicație software pe smartphone sau tabletă. Totodată, în apropierea senzorilor se montează actuatoare / buzzere, ce pot genera mici vibrații. Sistemul astfel construit este complet determinat din punct de vedere mecanic, înclinațiile sesizate de senzori, împreună cu datele antropometrice ale pacientului fiind suficiente pentru definirea posturii sistemului locomotor. Prin intermediul unei rețele WiFi, smartphone-ul poate descărca datele pe un server, cu o anumită periodicitate.

Funcția terapeutică a dispozitivului constă în monitorizarea continuă a exercițiilor efectuate de pacient și alertarea utilizatorului atunci când este necesar printr-un semnal de avertizare (de exemplu: semnale acustice sau luminoase emise de smartphone). Pe de altă parte, un factor important este salvarea datelor pe un server, existând astfel posibilitatea accesării și studierii de către medic / kinezoterapeut de-a lungul întregii perioade de implementare a tratamentului.

Computerul portabil (smartphone / tabletă) recepționează informațiile sub formă de mărimi unghiulare în cele trei direcții, de la senzorii montați pe corpul uman și reconstruiește un model virtual parametric al posturii pacientului, la un anumit moment. Această postură este comparată cu postura de referință extrasă din bază de cunoștințe reprezentate de anumite caracteristici geometrice, respectiv exercițiile impuse de medic / kinezoterapeut. Dacă diferențele dintre posturi depășesc o toleranță prestabilită, sistemul avertizează utilizatorul pentru a-și corecta exercițiile.

Pentru a facilita măsurătorile prin intermediul senzorilor, aceștia se vor fixa atent pe membrele pacientului și se vor calibra la fiecare utilizare. Cinematica modelului virtual al sistemului locomotor este reprodusă pe baza datelor primite de la senzori, prin crearea de elemente virtuale care reprezintă segmentele sistemului locomotor legate între ele prin cuple cinematice. Postura pacientului nu va fi identificată punct cu punct, ci utilizând un model matematic, pe baza întregului set de puncte achiziționat de senzori. Acest algoritm va fi inclus în modulul de calibrare al sistemului.

2.2 Funcționarea echipamentului

Etapele utilizării echipamentului se desfășoară în următoarea succesiune:

- I. Măsurarea datelor antropometrice ale pacientului (înălțime totală, înălțime până la talie, lungime femur, lungime tibie) de către un specialist (medic sau kinezoterapeut), utilizând echipamente dedicate pentru lungimi.
- II. Parametrizarea modelului CAD generic în funcție de datele pacientului.

- III. Transferul datelor corespunzătoare tratamentului către echipamentul portabil (smartphone) și calibrarea senzorilor în funcție de caracteristicile antropometrice ale pacientului.
- IV. Crearea unui avatar pentru aplicația software instalată pe computerul staționar (ce permite o serie de personalizări ale avatarurilor), în funcție de preferințele pacientului.
- V. Instruirea pacientului și aparținătorilor.
- VI. Atașarea echipamentului cu senzori pe pacient și poziționarea în fața standului cu senzorul RGB-D.
- VII. Pornirea aplicațiilor pe PC și pe smartphone, selectarea unor anumite exerciții preinstalate, derularea acestora sub controlul automat al sistemului de senzori. Datele înregistrate în timpul exercițiilor sunt trimise pentru salvare pe server.
- VIII. Analiza înregistrărilor de pe server de către medicul specialist sau kinetoterapeut.

Echipamentul prezintă următoarele **avantaje**:

- portabil, calibrare în funcție de caracteristicile antropometrice ale utilizatorului, poate memora diverse metode de tratare / prevenire a disfuncționalităților cinematice ale sistemului locomotor;
- funcționare fără riscuri; pacientul este doar avertizat asupra unei poziții greșite a exercițiului (pe cale sonoră sau prin semnalul de vibrație al smartphone-ului aferent sau prin intermediul unor micro-actuatori de tip buzzer, montate în apropierea senzorilor);
- calitate ridicată (se utilizează materiale și componente de înaltă tehnologie existente pe piață, componentele adăugate sunt doar integrate în hardware-ul și software-ul aferent);
- dispozitivul va fi programat doar cu suportul medicilor specialiști sau kinetoterapeuților, prevenind astfel riscul unor utilizări greșite;
- preț competitiv;
- garanție ridicată și servicii post-vânzare.

În Fig. 3 este prezentat modul de funcționare a sistemului în timpul procedurii de tratament. Se face distincție între cele două subsisteme componente, care pot funcționa fie împreună, fie separat. Subsistemul de urmărire cu senzor RGB-D poate fi folosit doar ca instrument de vizualizare a posturilor și a mișcărilor, fără a controla și corectitudinea acestora. Subsistemul de urmărire cu senzori IMU poate fi utilizat în vederea înregistrării datelor privind corectitudinea posturilor și mișcărilor.

În Fig. 4 sunt prezentate componentele sistemului, ce presupune două seturi de echipamente: primul set, cel al pacientului (compus din elementul de îmbrăcăminte cu senzori inerțiali și calculator fix + senzor RGB-D) și al doilea set, corespunzător medicului (server și calculator medic specialist / kinetoterapeut), conectate între ele prin rețele wireless.

Pacientul se prezintă la medicul specialist pentru consult de specialitate, unde se vor determina dimensiunile antropometrice, respectiv caracteristicile geometrice ale sistemului locomotor. Cu aceste date, tehnicianul sau medicul vor parametriza modelul 3D al sistemului locomotor pe o

aplicație de tip CAD de pe un PC și vor calibra echipamentul portabil, personalizându-l pentru fiecare pacient în parte.

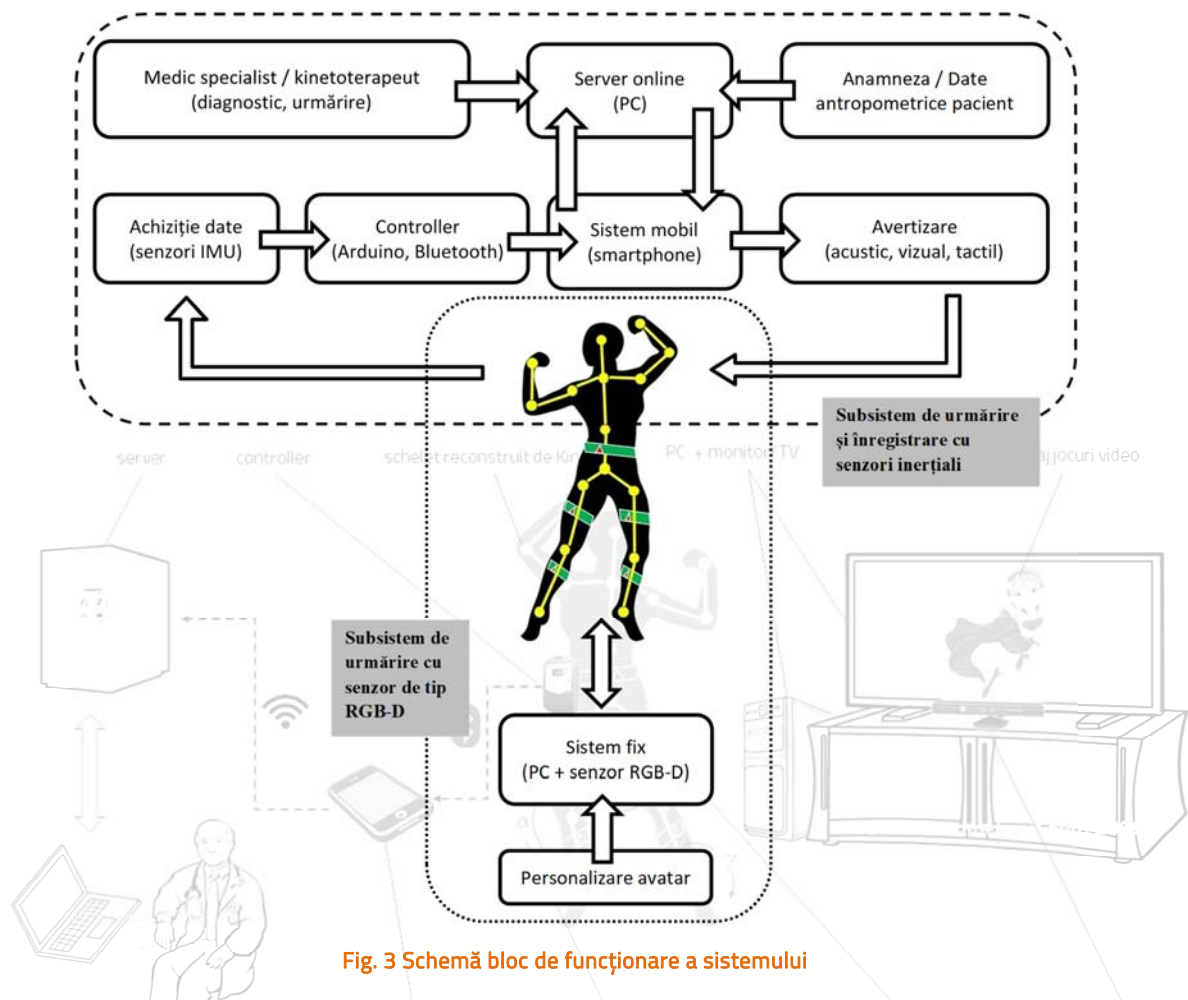


Fig. 3 Schemă bloc de funcționare a sistemului

Calibrarea constă în selectarea unui produs vestimentar pe măsură – pantalon (v. Fig. 4Fig. 8). ajustarea și poziționarea corectă a senzorilor, instalarea controllerului și a bateriei, urmărindu-se confortul pacientului și corectitudinea datelor înregistrate.

Echipamentul astfel calibrat va fi purtat de către pacient pe perioada derulării exercițiilor stabilite de medicul specialist / kinezoterapeut. Software-ul dedicat de pe dispozitivul mobil - smartphone aflat la pacient, se va conecta la server printr-o rețea wireless și va prelua datele introduse de medic. Sistemul va intra în faza de urmărire exerciții, astfel: senzorii inerțiali vor culege date și le vor transfera controller-ului, care le va prelucra și trimite către smartphone, unde acestea se vor compara cu datele impuse de medic în vederea tratamentului. În cazul în care se vor constata diferențe mari, pacientul va fi avertizat vizual prin intermediul smartphone-ului. Aceste date se vor salva pe server, cu ajutorul unei aplicații software dedicate, sub forma unor fișiere „txt” ce conțin date numerice reprezentând caracteristicile geometrice impuse pacientului.

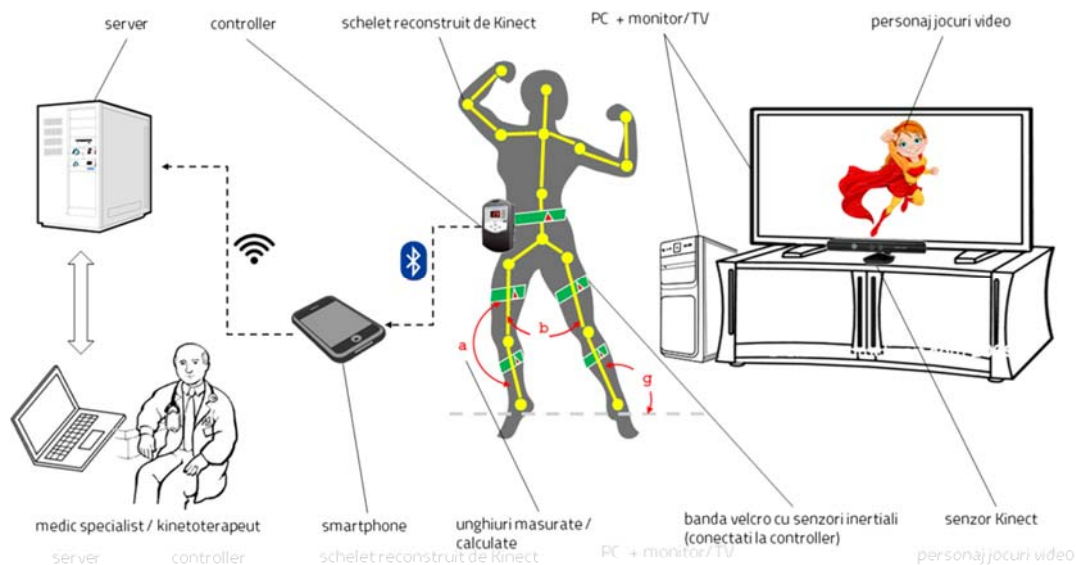


Fig. 4 Arhitectura sistemului de urmărirea a posturii

Funcționarea echipamentului este prezentată schematic în Fig. 4, ce conține următoarele elemente: pantalon, senzori IMU, controller, unitate de calcul mobilă, server și computer personal dotat cu senzor RGB-D (7).

2.3 Arhitectura sistemului

Sistemul poate funcționa în două moduri diferite: prima presupune conectarea echipamentului la un PC - utilizat pentru setare și calibrare (Fig. 5), iar al doilea (Fig. 6) - folosit pentru exerciții de recuperare medicală.

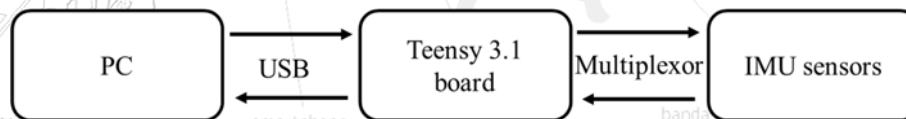


Fig. 5 Data flow of the communication for calibration

Folosind echipamentul arătat în Fig. 5, se efectuează testele. Sistemul de urmărirea a mișcării bazat pe senzorul Kinect servește doar pentru a furniza o imagine dinamică a unui avatar pe ecran. Senzorii inerțiali din al doilea sistem de urmărirea a mișcării detectează înclinațiile segmentelor corpului uman, iar datele returnate de ele sunt sub formă de unghiuri Euler.

Cel de-al doilea sistem de urmărirea a mișcării include cinci senzori inerțiali (IMU: accelometru, magnetometru și giroscop) atașați la corp prin benzi Velcro, în conformitate cu o schemă controlată și conectați la un controller care poate comunica fără fir cu o aplicație software pe smartphone sau tabletă. Lângă senzori pot fi montați actuatori (buzzere), care pot genera vibrații mici pentru avertizare. Sistemul astfel construit este determinat complet mecanic; înclinațiile percepute de senzori, împreună cu datele antropometrice ale pacientului, sunt suficiente pentru a defini poziția

sistemului locomotor. Utilizând o rețea WiFi, smartphone-ul poate încărca date într-un server cu o frecvență aleasă.

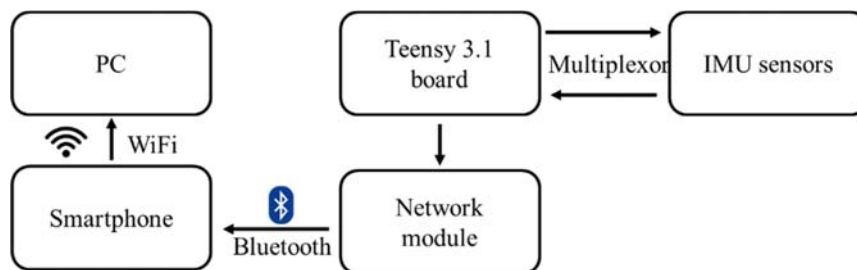


Fig. 6 Data flow of the communication for exercises

Procesul începe cu o poziție prescrisă de medicul specialist. Aplicația dezvoltată în sistemul de operare Android poate fi utilizată offline sau online și poate comunica cu un server. Datele de pe server sunt accesibile medicului și utilizatorului printr-o interfață bazată pe Web. Controllerul primește unghiuri de orientare de la cei cinci senzori inerțiali, care pot fi trimiși direct pe smartphone sau stocate local pe o cartelă microSD. Datele pot fi încărcate pe server ori de câte ori smartphone-ul este conectat la sistem.

2.4 Definierea cerințelor de proiectare

În ultimii ani au fost dezvoltate modele de analiză și instrumente software pentru diverse activități umane, cum ar fi reconstrucția de accidente, biomecanica corpului uman, aplicații în ergonomie, medicină, sport și arte. Cu toate acestea, testarea diverselor aplicații pe modele virtuale implică o muncă elaborată pentru dezvoltarea de modele și validarea lor.

Crearea modelelor utilizate pentru testarea organismului uman se bazează pe diferite principii: modelele multipunct (formate din corpuri rigide cu mase conectate prin arcuri și amortizoare - 1D sau 2D), modelele multicorp (MBS, elemente legate de diferite tipuri de articulații, prin care numărul de grade de libertate între elemente poate fi constrâns, 2D sau 3D) și modelele cu elemente finite (în care corpul este divizat într-o serie de volume finite, 3D). Notă: modelul multipunct poate fi considerat un caz particular al modelului multicorp.

Modelul multi-corp este o metodă foarte eficientă pentru conexiuni cinematice complexe, cum sunt cele din corpul uman.

Există mai multe abordări pentru modelarea corpului uman în literatura de specialitate. Astfel, există diferite modele identificabile ale corpului uman sau ale anumitor părți ale acestuia.

S-a definit un set de caracteristici tehnice (Tab. 2) pe care dispozitivul proiectat trebuie să le respecte, urmând ca, mai apoi, să fie făcută o ierarhizare a acestora în vederea stabilirii unei clasificări ale priorităților de proiectare a dispozitivului. Pentru a prioritiza caracteristicile tehnice ale dispozitivului a fost utilizată metoda ingineriei competitive - AHP (Analytic Hierarchy Process). Elementele de ierarhizare pot fi alese în funcție de orice aspect al factorului de decizie al problemei (tangibil sau nu, măsurat cu atenție sau aproximat, înțeles pe deplin sau neînțeles). În momentul

În care s-a definit ierarhia, s-au evaluat sistematic diferitele elemente prin compararea acestora două câte două, având în vedere impactul lor asupra elementului situat deasupra lui în ierarhie. În constituirea factorului de comparație se pot utiliza date concrete despre acestea, dar în același timp este implicată judecata factorului de decizie în ceea ce privește importanța și semnificația relativă a elementului.

Tab. 2 Caracteristicile tehnice ale dispozitivului (AHP)

Nr. crt	Caracteristică tehnică	Descriere
1	Sa nu afecteze postura naturală	Sistemul/dispozitivul dezvoltat nu trebuie să conțină elemente care, prin geometria și masa lor, să incomodeze sau să modifice poziția naturală a pacientului
3	Sa nu prezinte riscuri de electrocutare	În proiectarea dispozitivului de culegere a datelor nu trebuie să existe elemente electronice care înmagazinează curenți puternici și care prin descărcarea lor pot prezenta riscul de electrocutare. Dacă aceste elemente sunt absolut necesare sistemului acestea trebuie integrate în zona standard de protecție.
4	Sa nu conțină materiale care pot dauna pacientului	Dispozitivul nu trebuie să conțină materiale care, prin structura lor sau prin variabilitatea structurii lor, să dăuneze pacientului (componente din substanțe toxice, asimilabile de către corpul uman sau materiale care degajă o cantitate mare de căldură atunci când se află în funcțiune).
5	Sa fie modular	Componentele dispozitivului trebuie să fie astfel proiectate încât să asigure o portabilitate ușoară a acestuia și o asamblare facilă.
6	Ușor de echipat	Dispozitivul trebuie să fie astfel proiectat încât să fie ușor de integrat într-un obiect de îmbrăcăminte sau care să fie ușor de atașat pe obiectele de îmbrăcăminte
7	Ușor de întreținut	Dispozitivul nu trebuie să conțină elemente care necesită un timp îndelungat de mentenanță sau care să necesite intervenția unei persoane cu un grad mare de specializare.
8	Capabil sa funcționeze pentru cel puțin 2 h	Dat fiind că recoltarea datelor geometrice se va desfășura pe parcursul unei întregi ședințe de exerciții, dispozitivul trebuie să prezinte o autonomie de cel puțin 2 de ore.
9	Sa poată comunica cu un P.C./tabletă	La finalul exercițiului toate datele culese de către dispozitiv trebuie descărcate într-o bază de date, această descărcare se va face wireless sau prin cablu de date spre un calculator sau alt dispozitiv electronic de interfațare.
11	Sa fie adaptabila oricărei conformații a pacientului	Această caracteristică poate fi atinsă și prin modularitatea sistemului și trebuie luată în considerare pentru a putea folosi dispozitivul indiferent de sexul, greutatea sau vârsta subiectului.
13	Sa fie ușor de manipulat	Transportarea și depozitarea dispozitivului de colectare a datelor nu trebuie să ridice probleme.

14	Sa furnizeze date esențiale in timp util	Colectarea datelor din dispozitivul de stocare a dispozitivului trebuie să fie rapidă permițând în același timp acces mai rapid la metodele de urmărire și control a subiectului.
15	Sa comunice printr-o interfața prietenoasa	Comunicarea între dispozitivul de colectare a datelor și utilizator trebuie să fie făcută prin intermediul unei interfețe facile, ușor de înțeles și ușor de folosit de către orice operator.
16	Sa fie ușor de controlat	Controlul dispozitivului de colectare a datelor nu trebuie să ridice probleme semnificative subiectului uman care se folosește de acesta sau operatorului care descarcă și interpretează datele.
17	Să nu facă zgomot	Nivelul de zgomot produs de către elementele discrete ale dispozitivului sau de alte dispozitive aflate în mișcare (ventilatoare, mijloace de stocare) nu trebuie să interfereze cu activitatea zilnică a subiectului.
18	Să fie stabil în funcționare	Funcționarea dispozitivului nu trebuie să prezinte erori, nu trebuie să fie împiedicată de factori externi naturali.
19	Să aibă o baterie durabilă	Dispozitivul trebuie prevăzut cu o baterie care să reziste la încărcări multiple și să aibă o descărcare cât mai mică în timp.
20	Să nu creeze alergii	Dispozitivul nu trebuie să conțină materiale care în contact cu pielea pacientului sau în proximitatea acestuia să degajeze elemente care pot provoca disconfort.
21	Să semnalizeze descărcarea bateriei	Programarea dispozitivului trebuie astfel făcută încât să anunțe autonomia din punct de vedere electric a dispozitivului reducând riscul de a purta dispozitivul fără a recolta date.
22	Să detecteze erorile în funcționare	Dispozitivul poate fi conceput astfel încât să monitorizeze starea componentelor electronice și mecanice din care este alcătuit și să prevină ieșirea acestora din termenul de utilizare.
23	Să nu genereze radiații	Dispozitivul trebuie să fie astfel conceput încât componentele acestuia să nu emită radiații (cel mai probabil radiații termice) care să creeze disconfort subiectului uman.

3 Realizarea sistemului. Activități și rezultate în cadrul proiectului

Toate rezultatele preconizate au fost îndeplinite. În continuare sunt prezentate principalele elemente realizate în cadrul proiectului.

3.1 Arhitectura aplicației de diagnoză

În Fig. 7 este prezentată schema generală a sistemului de urmărire a posturii. Acest sistem are la bază un element vestimentar (pantaloni), care este dotat cu senzori. Datele sunt achiziționate prin intermediul unui controller, iar apoi sunt trimise mai departe pe un dispozitiv mobil (smartphone sau tabletă). De aici, datele sunt trimise prin intermediul rețelei de telefonie mobilă către un server,

de unde sunt preluate de medici pentru stabilirea unui diagnostic. De asemenea, informațiile recepționate de la senzori sunt folosite și de dispozitivul mobil pentru a calcula poziția geometrică a picioarelor și pentru a-l avertiza pe utilizator în cazul în care acesta nu execută corect exercițiile impuse de kinetoterapeut.

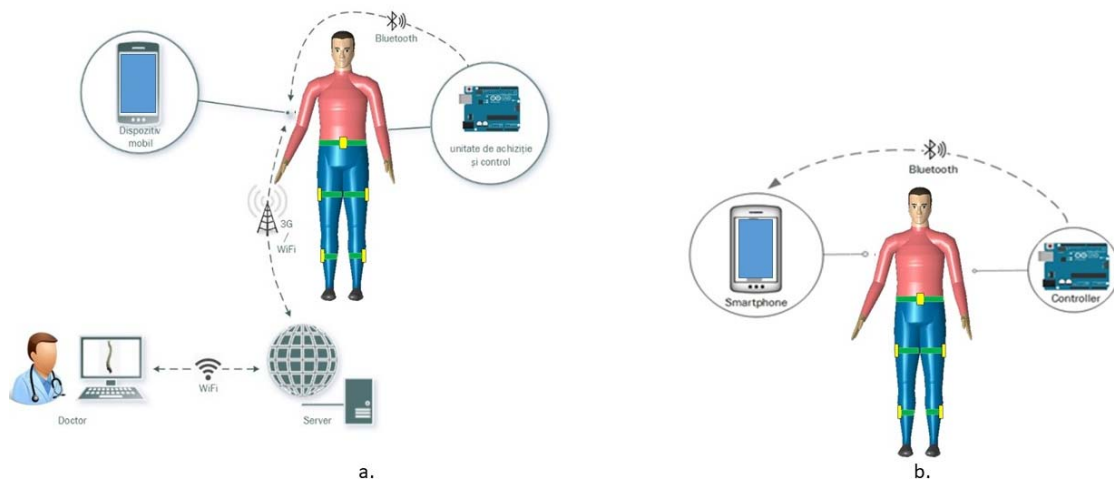


Fig. 7 Arhitectura hardware a sistemului de urmărire a mișcării

Unitatea de achiziție și control realizează următoarele funcții: culege datele, le stochează și trimite pachete de date prin tehnologia Bluetooth către dispozitivul mobil. Datele sunt stocate pe carduri de memorie MicroSD, sub formă de fișiere cu extensia .txt sau .csv. Pentru stabilirea unității de control s-au testat următoarele: Arduino Due, Teensy 3.1 și Intel Edison și s-a optat pentru Teensy 3.1. Modul de funcționare local, în care nu mai intervine medicul pentru diagnoză (Fig. 7, b), ci doar utilizatorul este implicat, fiind informat ori de câte ori postura sa nu este corespunzătoare cu cea de referință, prescrisă inițial de kinetoterapeut.

Există o aplicație instalată pe dispozitivul mobil care este utilizată de către pacient pentru a primi informații și feedback vizual. Această aplicație îndeplinește și funcția de stocare și transmitere a datelor primite de la senzori.

În acest caz, controllerul colectează și trimite prin Bluetooth doar niște unghiuri, măsurate de către senzori, iar aplicația care rulează pe smartphone simulează mișcarea coloanei, afișându-o în interfața grafică. După deschiderea aplicației, utilizatorul trebuie să se autentifice pe bază de user și parolă, urmând ca apoi interfața grafică să îi ofere informații cu privire la derularea exercițiilor. Autentificarea se va face o singură dată, la începutul utilizării. Aplicația oferă și funcția de comunicare cu un server aflat la distanță. Sunt trimise date la o anumită perioadă de timp prestabilită, și se primesc date de la server atunci când sunt disponibile (Fig. 7, a).

3.2 Definirea principiului de funcționare

Sistemul de monitorizare a posturii / urmărire a mișcării (Fig. 8) utilizează cinci senzori inerțiali poziționați pe sistemul locomotor al pacientului (4 senzori pe picioare și unul pe bazin) și un

controler pentru achiziția de date și pentru transmiterea fără fir a datelor către aplicația bazată pe limbajul de programare Android. Funcția de bază a aplicației este de a calcula postura pe baza valorilor unghiurilor de la senzorii IMU în timp real, utilizând un model matematic implementat. Sistemul este capabil să ofere feedback dacă utilizatorul menține o postură incorectă prin semnale auditive și vizuale prin intermediul aplicației Android.

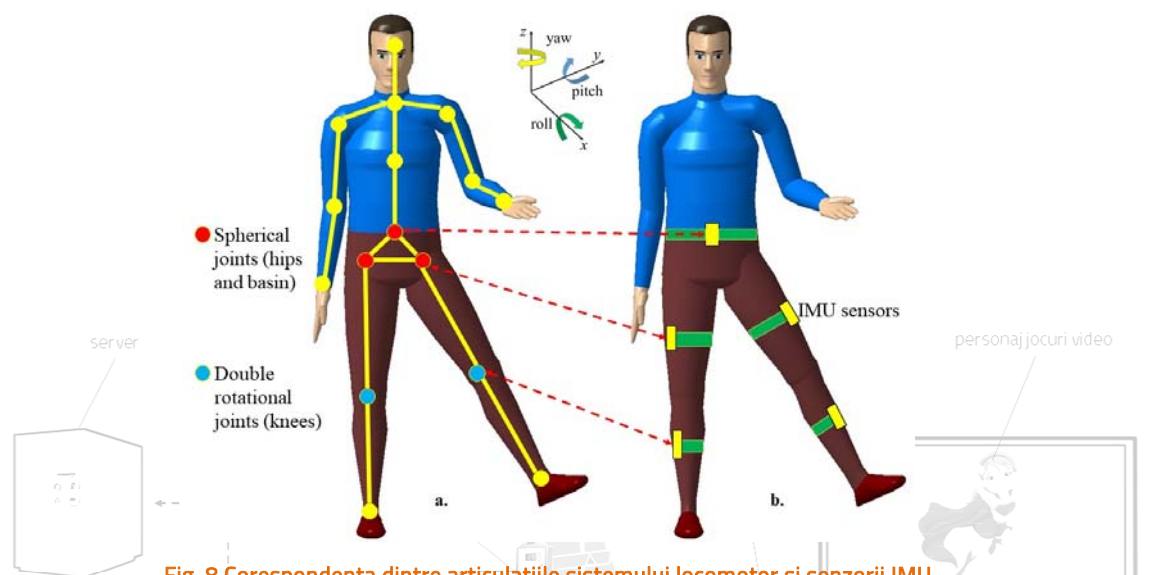


Fig. 8 Corespondența dintre articulațiile sistemului locomotor și senzorii IMU

Sistemele care au capacități de monitorizare și transmitere continuă a datelor permit o mai mare varietate a patologiilor ce pot fi urmărite de structurile de monitorizare la domiciliu, unde nu este suficientă o monitorizare intermitentă.

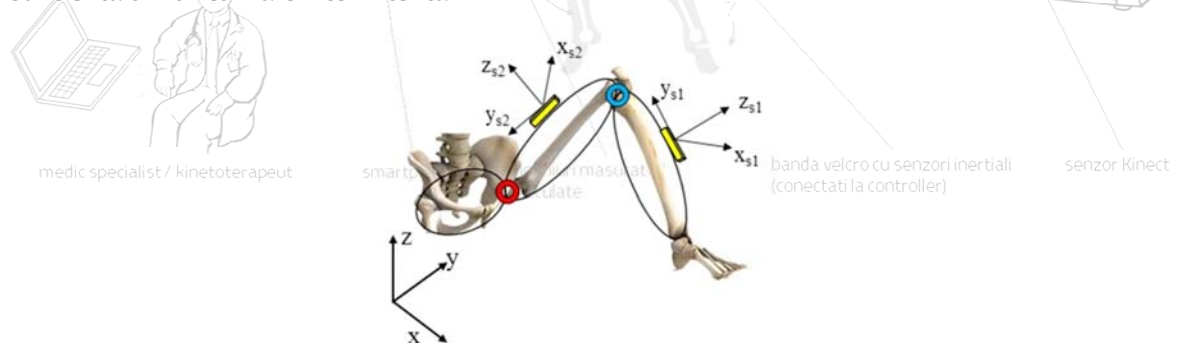
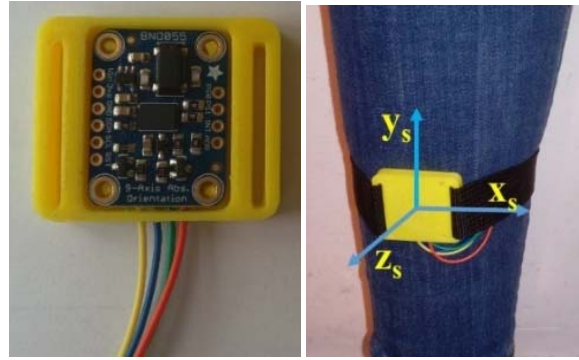


Fig. 9 Atașarea senzorilor pe corpul pacientului

Există un set de cinci senzori IMU (tip Bosch BNO055), poziționați pe subiect ca în Fig. 8, b. Senzorii IMU sunt montați într-o carcasă din plastic prevăzută cu urechi (Fig. 10, a), pentru fixare utilizând benzi Velcro (Fig. 10, b). Sistemul de coordonate local atașat la senzorul IMU este prezentat în figura Fig. 10, b, orientat conform datelor tehnice furnizate de producător [29]. În timpul procesului de urmărire se ia în considerare corelația dintre sistemul global de coordonate (prezentat în Fig. 8) și sistemele locale de coordonate (prezentate în Fig. 10, b) ale fiecărui senzor. Corespondența acestor sisteme de coordonate va fi stabilită în faza de etalonare a echipamentului.



a.

b.

Fig. 10 Senzor IMU Bosch BNO055

Conform [29], senzorul BNO055 returnează valorile absolute ale unghiurilor Euler. Fiecare dintre cei cinci senzori va măsura unghiul de înclinare în cele trei direcții. Deci, valorile de intrare pentru faza de evaluare vor fi valorile măsurate de senzori vor fi cele cinci seturi de valori unghiulare în trei planuri ortogonale. Pe de altă parte, în faza de calibrare vor fi efectuate măsurători antropometrice și se vor calcula anumite dimensiuni ale modelului.

Senzorii sunt plasați pe suprafața exterioară a corpului uman. Datele colectate de ele trebuie să fie transpuse pentru scheletul reconstruit virtual (Fig. 9). Acest lucru a fost de asemenea studiat în literatură [30], [31]. În studiul de caz, senzorii de inerție vor fi plasați pe membrele inferioare (2 x 2) și celalalt pe talia subiectului. Ele sunt conectate la un controler Arduino prin intermediul unui multiplexor I2C. Semnalele de semnal sunt colectate și transmise în pachete de date la intervale foarte scurte la un computer portabil (smartphone), bazat pe sistemul de operare Android.

3.3 Modelarea matematică a geometriei sistemului locomotor

Modelul cinematic al sistemului locomotor conține următoarele elemente:

- un sistem de referință global în care vor fi analizate pozițiile tuturor membrilor
- segmentele picioarelor și bazinul, având geometria din modelul 3D și cu un sistem de referință local atașat fiecărui senzor
- deoarece legăturile dintre segmentele picioarelor se realizează prin cuple cinematice complexe, pentru analiza pozițiilor relative ale acestor segmente se vor introduce serii de articulații simple.

Segmentele picioarelor sunt modelate ca elemente nedeformabile din modelul cinematic. Acest model cinematic poate fi personalizat, în funcție de caracteristicile geometrice ale coloanei vertebrale reconstituite precum și de datele obținute din activitățile de diagnosticare.

3.3.1 Model cinematic (Ver. 1)

Dispozitivul de înregistrare a posturii este construit sub formă de borsetă / centură și patru senzori ce se atașează pe picioarele subiectului, urmărind mișcările în tot timpul utilizării. Reprezentarea posturii se face prin calcularea poziției dispozitivului de urmărire folosind valorile unghiurilor de înclinare măsurate de senzorii de orientare. Postura utilizatorului este identificată cu un pseudoschelet reconstruit, într-un sistem de referință atașat la utilizator.

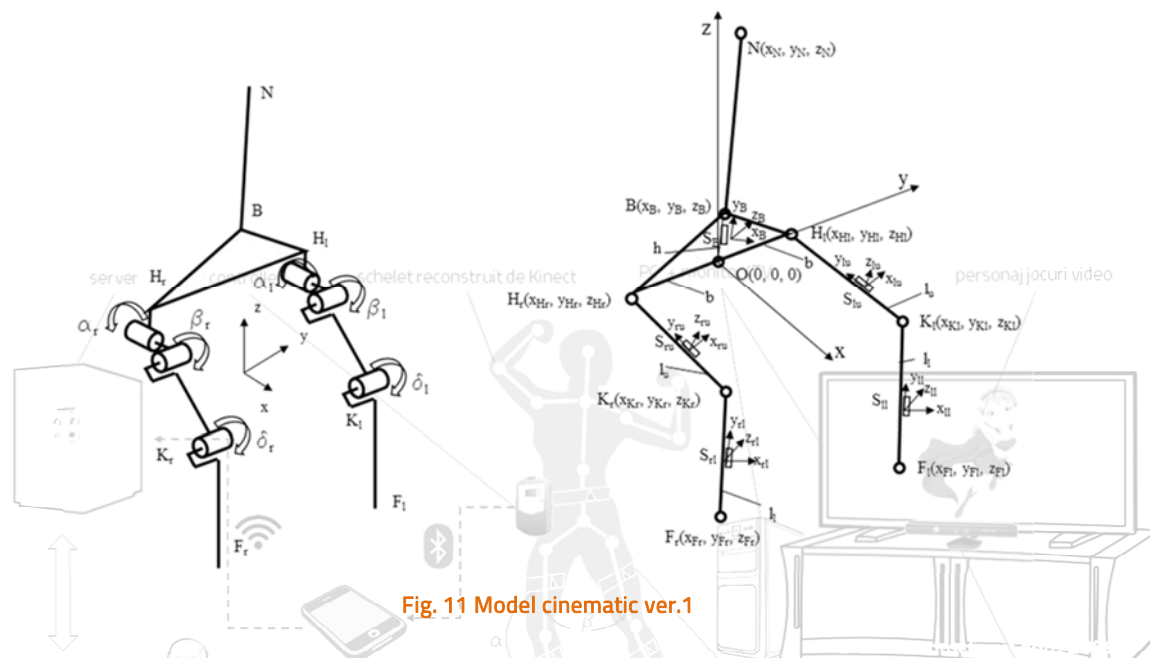


Fig. 11 Model cinematic ver.1

Scopul acestei cercetări este de a crea un model matematic capabil să utilizeze datele înregistrate de senzori (valori unghiulare), calibrate în funcție de caracteristicile antropometrice ale utilizatorului și apoi capabile să genereze un model geometric al posturii pacientului.

Suntem interesați de poziția articulațiilor genunchiului și șoldurilor. Șoldul este considerat ca fiind o articulație sferică iar genunchiul ca o articulație simplă de rotație. Dar, prin eliminarea mișcării de rotație a femurului în articulația șoldului în jurul axei longitudinale proprii, se poate simplifica și această articulație, reducând-o la două articulații rotative, una pe axa X și cealaltă pe axa Y (Fig. 11).

În faza de calibrare vor fi efectuate mai multe măsurători ale pacientului pentru a completa unele dintre caracteristicile sale geometrice. Astfel, vor fi salvate următoarele date: jumătatea lățimii bazinului (b), înălțimea bazinului (h), unghiul bazinului de la verticala (r), lungimea corpului (l_o), lungimea femurului (l_u), lungimea tibiei (l_i).

Pentru simbolizare s-au folosit notațiile: H -hip, N -neck, B- bazin; sensorul S și indicatorii folosiți la punctele H, K și F și la unghiurile α și β simbolizează următoarele: r - piciorul drept, l - piciorul stâng, u - partea superioară, l - partea inferioară.

Apoi, calculul coordonatelor punctelor va fi prezentat numai pentru partea dreaptă a schemei cinematice, cu observația că în partea stângă calculul este identic.

Au fost luate în considerare următoarele ipoteze: în punctul H_r există două cuple simple de rotație. Prima rotație se realizează în jurul axei X cu valoarea unghiulară α și a doua în jurul axei Y cu valoarea β . În același timp, punctul H_r se află la o distanță b de punctul O de pe axa Y, iar punctul K_r este la o distanță l_u de punctul H_r de pe axa X.

Calculul coordonatelor punctului K_r în sistemul coordonatelor globale implică utilizarea următoarelor matrice de transformare (vezi Fig. 11): $Trans(y, -b)$ - translație în direcția Y a punctului H_r față de centrul sistemului global de coordonare O; $Rot(x, \alpha_r)$ - rotirea în jurul axei X în punctul H_r ; $Rot(y, \beta_r)$ - rotirea în jurul axei Y în punctul H_r ; $Trans(x, l_u)$ - translație în direcția X a punctului H_r în punctul K_r (eq.1).

$$K = Trans(y, -b) + Rot(x, \alpha_r) \cdot Rot(y, \beta_r) \cdot Trans(x, l_u) \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x_{Kr} \\ y_{Kr} \\ z_{Kr} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -b \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_r & -\sin\alpha_r & 0 \\ 0 & \sin\alpha_r & \cos\alpha_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\beta_r & 0 & \sin\beta_r & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\beta_r & 0 & \cos\beta_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} l_u \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Pentru a calcula coordonatele punctului F_r , se va porni de la coordonatele punctului K_r , unde există o cuplă simplă de rotație în jurul axei Y, care ia în considerare distanța pe axa X între F_r și K_r (eq.2).

$$F = K + Rot(y, \delta_r) \cdot Trans(x, l_l) \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} x_{Fr} \\ y_{Fr} \\ z_{Fr} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{Kr} \\ y_{Kr} \\ z_{Kr} \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\delta_r & 0 & \sin\delta_r & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\delta_r & 0 & \cos\delta_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} l_l \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Din punctul de vedere al poziției superioare a corpului (torace), se presupune senzorul montat pe zona bazinului (S_B) va sesiza doar rotația în jurul axelor Y și X. Astfel, coordonatele punctelor N, corespunzătoare gâtului, vor fi calculate folosind următoarele matrice de rotații și translații: $Rot(x, \epsilon)$ - rotirea în jurul axei X în punctul B; $Rot(y, \omega)$ - rotirea în jurul axei Y în punctul B; $Trans(z, l_0)$ - translația în direcția Z a punctului B în punctul N (eq.3).

$$N = Rot(y, \rho) \cdot Trans(z, h) + Rot(x, \epsilon) \cdot Rot(y, \omega) \cdot Trans(z, l_0) \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} x_N \\ y_N \\ z_N \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\rho & 0 & \sin\rho & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\rho & 0 & \cos\rho & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ h \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\epsilon & -\sin\epsilon & 0 \\ 0 & \sin\epsilon & \cos\epsilon & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ l_0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\cdot \begin{bmatrix} \cos\omega & 0 & \sin\omega & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\omega & 0 & \cos\omega & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ l_0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Pe de altă parte, pentru calculul coordonatelor punctului B se va lua în considerare unghiul ρ (rotația în jurul axei Y în punctul O) și dimensiunea h a bazinului (distanța OB), caracteristicile geometrice măsurate prin fiecare pacient în etapa de calibrare. În tabelul de mai jos (Tab. 3) sunt prezentate coordonatele tuturor punctelor (v.Fig. 11) corespunzătoare posturii picioarelor șoferului, în funcție de poziția bazinului.

Tab. 3 Coordonatele punctelor modelului cinematic ver.1

	x	y	z
H _r	0	- b	0
H _l	0	b	0
B	$h \sin \alpha$	0	$h \cos \alpha$
N	$h \sin \alpha + l_0 \sin w$	$-l_0 \sin \varepsilon \cos w$	$h \cos \alpha + l_0 \sin^2 w$
K _r	$l_u \cos \beta_r$	$-b + l_u \sin \alpha_r \sin \beta_r$	$-l_u \cos \alpha_r \sin \beta_r$
K _l	$l_u \cos \beta_l$	$b + l_u \sin \alpha_l \sin \beta_l$	$-l_u \cos \alpha_l \sin \beta_l$
F _r	$l_u \cos \beta_r + l_1 \cos d_r$	$-b + l_u \sin \alpha_r \sin \beta_r$	$-l_u \cos \alpha_r \sin \beta_r - l_1 \sin d_r$
F _l	$l_u \cos \beta_l + l_1 \cos d_l$	$b + l_u \sin \alpha_l \sin \beta_l$	$-l_u \cos \alpha_l \sin \beta_l - l_1 \sin d_l$

3.3.2 Model cinematic (Ver. 2)

În continuare este prezentat un model cinematic și un algoritm matematic care vizează calcularea coordonatelor punctelor care reprezintă articulațiile sistemului locomotor uman, având unghiuri măsurate inițial cu ajutorul senzorilor IMU plasați pe picioare.

Acest model este o dezvoltare a unui modelului ver.1, care nu ia în considerare cuplele sferice la articulația bazin-coloană vertebrală și articulația șoldului, iar genunchiul era doar o articulație simplă de rotație. Pentru a determina matricele de transformare în articulațiile sistemului locomotor, trebuie să identificăm tipul acestor articulații (bazin la nivelul coloanei vertebrale, șolduri și genunchi). Luând în considerare modul în care senzorii IMU colectează datele, se pot alege următoarele articulații: conexiunea dintre bazin și coloană - cuplă sferică, șolduri - articulații sferice și genunchi - cuple duble de rotație (Fig. 12).

S-au folosit aceleași notații ca și la versiunea anterioară.

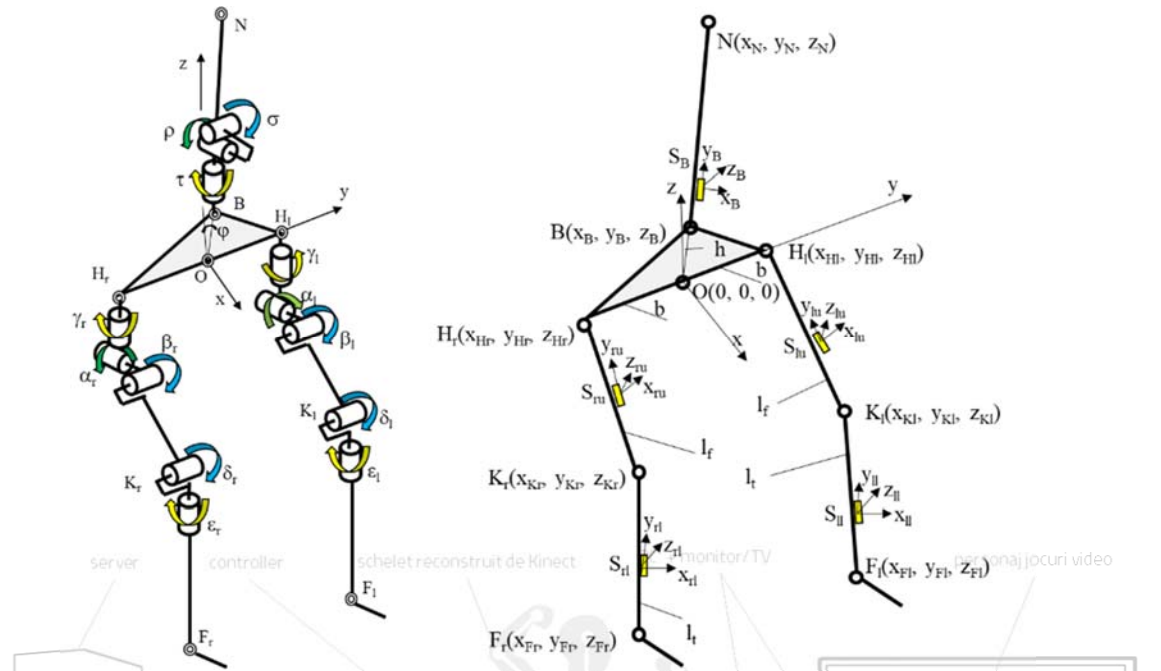


Fig. 12 Model cinematic ver.2

Calculul coordonatelor punctului K_r în sistemul de coordonate globale utilizează următoarele matrice de transformare (Fig. 12): translație în direcția Y a punctului H_r , față de centrul sistemului global de coordonate O - $Trans(y, -b)$; rotație în jurul axelor X , Y și Z în punctul H_r - $Rot(x, \alpha_r)$, $Rot(y, \beta_r)$, $Rot(z, \gamma_r)$; translație în direcția X a punctului H_r în punctul K_r - $Trans(x, l_f)$ (eq.4).

$$K_r = Trans(y, -b) + Rot(x, \alpha_r) \cdot Rot(y, \beta_r) \cdot Rot(z, \gamma_r) \cdot Trans(x, l_f) \quad (4)$$

Coordonatele punctului F_r se calculează pornind de la coordonatele punctului K_r , unde există două rotații în jurul axelor Y și Z , care iau în considerare distanța pe axa X între F_r și K_r (eq.5).

$$F_r = K_r + Rot(y, \delta_r) \cdot Rot(z, \epsilon_r) \cdot Trans(x, l_t) \quad (5)$$

Coordonatele punctului N vor fi calculate folosind următoarele matrice de rotații și translații: $Rot(x, \rho)$ - rotația în jurul axei X în punctul B ; $Rot(y, \sigma)$ - rotația în jurul axei Y în punctul B ; $Rot(z, \tau)$ - rotirea în jurul axei Z în punctul B ; $Trans(z, l_0)$ - translația în direcția Z a punctului B în punctul N (eq.6).

$$N = Rot(y, \varphi) \cdot Trans(z, h) + Rot(x, \rho) \cdot Rot(y, \sigma) \cdot Rot(z, \tau) \cdot Trans(z, l_0) \quad (6)$$

Coordonatele calculate ale tuturor punctelor corespunzătoare posturii picioarelor pacientului, în funcție de poziția bazinului, sunt prezentate mai jos (Tab. 4). Aceste coordonate au fost calculate prin rezolvarea ecuațiilor (3), (4) și (5) în formă de matrice.

Mai târziu, s-au folosit aceste coordonate în diverse aplicații software pentru vizualizarea și analiza mișcărilor (fie pe computer, fie pe smartphone). Toate aceste valori ale coordonatelor

conțin date cunoscute (dimensiunile scheletice măsurate înainte de teste) și date măsurate (unghiuri măsurate cu senzori inerțiali).

Tab. 4 Coordonatele punctelor modelului cinematic ver.2

	x	y	z
H _r	0	- b	0
H _l	0	b	0
B	h sinφ	0	h cosφ
N	h sinφ + l ₀ sinσ	-l ₀ sinρ cosσ	h cosφ + l ₀ cosρ cosσ
K _r	l _r cosβ _r cosγ _r	-b+l _r (sinα _r sinβ _r cosγ _r + cosα _r sinγ _r)	l _r (-cosα _r sinβ _r cosγ _r + sinα _r sinγ _r)
K _l	l _r cosβ _l cosγ _l	b+l _r (sinα _l sinβ _l cosγ _l + cosα _l sinγ _l)	l _r (-cosα _l sinβ _l cosγ _l + sinα _l sinγ _l)
F _r	l _r cosβ _r cosγ _r + l _t cosδ _r cosε _r	-b+l _r (sinα _r sinβ _r cosγ _r + cosα _r sinγ _r) + l _t sinε _r	l _r (-cosα _r sinβ _r cosγ _r + sinα _r sinγ _r) + l _t sinδ _r cosε _r
F _l	l _r cosβ _l cosγ _l + l _t cosδ _l cosε _l	b+l _r (sinα _l sinβ _l cosγ _l + cosα _l sinγ _l) + l _t sinε _l	l _r (-cosα _l sinβ _l cosγ _l + sinα _l sinγ _l) + l _t sinδ _l cosε _l

3.4 Modulul de achiziție a datelor de la senzori. Realizarea modelului funcțional

În Fig. 13 este prezentat echipamentul de testare, având senzorul inerțial Bosch BNO055 montat. Plăcile de achiziție utilizate sunt Arduino Due, Teensy 3.1 și Intel Edison. Pentru testarea simultană a unui număr mai mare de senzori inerțiali este necesară o placă de prototipare și un comutator / multiplexor I2C.

S-au realizat teste preliminare cu toate cele trei plăci, în special cu Arduino Due și Teensy 3.1. Avantajul plăcii Intel Edison este faptul că are Bluetooth integrat, deci nu necesită un modul separat. Din punct de vedere al dimensiunii fizice, Teensy este cel mai mic, urmat de Arduino și apoi Edison.

Pentru testarea și verificarea funcționalității modulului de stocare locală a datelor s-au folosit: placa de achiziție, Arduino Due; adaptorul de card microSD Sparkfun microSD Transflash Breakout; un laptop care este conectat la placa de achiziție printr-un cablu USB. Astfel, componenta care a fost testată este modulul pentru preluarea datelor în aplicația locală cu toate funcționalitățile aferente. S-au verificat următoarele: conectarea corectă a adaptorului de card microSD; afișarea conținutului cardului; înregistrarea în timp real a datelor provenite de la un senzor inerțial.

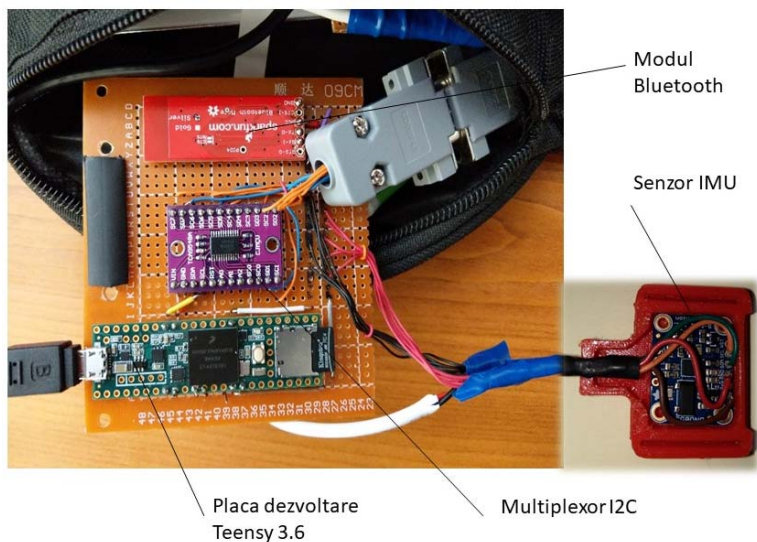


Fig. 13 Testarea modului de achiziție date

Transmiterea fără fir a datelor către aplicația mobilă se va face prin intermediul dispozitivului SparkFun Bluetooth Mate Silver; s-a demonstrat capabilitatea de comunicare bidirecțională între un smartphone și un laptop prin intermediul unei plăci de achiziții de date

În decursul activităților de cercetare a fost realizat un prototip pentru simularea urmăririi mișcărilor pacientului în vederea calculării posturii în timp real.



Fig. 14 Prototip cu senzori inerțiali

S-a optat pentru dezvoltarea sistemului cu cinci senzori inerțiali care sunt plasați pe o pseudo-schelet, construit astfel încât să reproducă scheletul uman, mai precis articulațiile sistemului locomotor, o condiție necesară pentru a permite reconstruirea acestuia folosind modelul matematic dezvoltat anterior. Motivele care au stat la baza alegerii numărului de senzori sunt următoarele: cei cinci senzori sunt suficienți pentru a putea detecta înclinațiile picioarelor, post procesarea datelor nu este foarte complexă și sistemul are costuri relativ scăzute.

Prototipul sistemului este prezentat în Fig. 14. Datele care descriu mișcările segmentelor sunt capturate de către senzorii inerțiali prin intermediul unei plăci de dezvoltare. Datele sunt stocate local pe un card microSD și pot fi trimise periodic către un dispozitiv mobil (smartphone sau tabletă) sau către serverul online pentru stocare și procesare. Interfața cu utilizatorul este bazată pe tehnologiile Web, având avantajul că poate fi accesată de la orice calculator conectat la Internet.

3.5 Plan de exerciții pentru testare de Kinect PC + monitor/TV personaj jocuri video

3.5.1 Cauzele frecvente ale paraparezei spastice [34]

Pacientul își pierde parțial funcția motorie de la nivelul picioarelor, mersul acestuia fiind dificil, cu pași mici, tarati. Membrul inferior este în extensie și adducție, ceea ce determină un mers 'cosit' bilateral, ce uneori se realizează doar pe vârful picioarelor. Afecțiunea poate fi spastică sau flasca. Spasticitatea fiind frecvent întâlnită în compresiuni medulare, traumatisme, leucoveaxite sau în afecțiuni ale coloanei la persoanele mai în vârstă. Cel mai frecvent apare ca urmare a unor leziuni intraspinale produse la nivelul sau sub nivelul coloanei vertebrale toracice superioare, în vreme ce paraplegiile se datorează lezării neuronului motor central sau periferic. Caracteristic este deficitul neuronului motor central, care este adesea însoțit de amorteala a membrului inferior, de absența reflexelor tendinoase, de incontinența urinară și fecală, de un tonus scăzut. Cauzele producerii paraparezei spastice pot fi: traumate, degenerative, de origine vasculară, datorate unor tumori centrale, cauzate de fenomene inflamatorii ori metabolice, generate de compresiune medulară. Apariția paraparezelor poate fi determinată de tromboza venoasă cerebrală, ischemia arterei cerebrale anterioare, tromboza sinusului sagital superior și de hidrocefalia acută. Mai rar, poate fi generată de polineuropatia acută demielinizantă sau de miopatie.

3.5.2 Obiectivele și metodele tratamentului paraparezei spastice [34]

Obiectivele tratamentului paraparezei spastice în funcție de stadiul pacientului sunt următoarele: Stadiul I are în vedere prevenirea escarelor, prevenirea tromboemboliei, asigurarea respirației diafragmatice corecte și asigurarea drenajului bronșic. Fiind ideale posturări periodice, exerciții specifice de respirație și diverse mișcări pasive; Stadiul II vizează în special reeducarea poziției șezând, reeducarea intestinului și a vezicii urinare; Stadiul III urmărește renunțarea treptată la scaunul cu roțile și pregătirea acestuia pentru poziția de ortostatism și mers; Stadiul IV reeducarea mersului, la început susținut, iar ulterior independent.

Programul de recuperare este constituit prin terapia combinata (kinetoterapie, electroterapie, masaj terapeutic). Kinetoterapia vizeaza exercitii de relaxare a musculaturii spastice, de decontracturare si de mentinere a amplitudinii normale de miscare in fiecare articulatie, reeducarea cat mai devreme a pozitiei de ortostatism. Electroterapia obtine efecte analgezice, relaxante, stimulante si trofice. Masajul este recunoscut pentru efectele benefice in tratamentul leziunilor de tip neuromuscular, respectiv efecte analgetice si trofice, dar si efecte de stimulare si de decontracturare. Folosirea terapie combinate in recuperarea paraparezei spastice creste si imbunatateste eficienta acesteia, reduce spasticitatea.

3.5.3 Exerciții implementate

În vederea demonstrării funcționabilității echipamentului, au fost selectate două tipuri de exerciții simple utilizate în tratamentul de bază kinetoterapeutic al paraparezei statice (vezi Anexele 1, 2): flexie genunchi în plan sagital (vedere laterală) și rotire în articulația șoldului în plan coronal (vedere frontală).

3.6 Aplicație pentru dispozitivul portabil (smartphone)

În vederea stocării datelor pacienților și accesării acestora de către medicul specialist, a fost proiectat și realizat un sistem mecatronic gestionat de o serie de aplicații software dedicate.



Tab. 5 Ferestre de avertizare aplicație software smartphone



Fig. 15 Echipament de înregistrare postură



Fig. 16 Ecranul secundar al aplicației Android

Aplicația de culegere și procesare a datelor dezvoltată permite conectarea prin Bluetooth a unui dispozitiv mobil Android cu sistemul de monitorizare a mișcărilor picioarelor pacientului. După ce s-a realizat conexiunea, utilizatorul poate să introducă codul de identificare al utilizatorului, să salveze datele de orientare, să aplice modelul matematic, să ofere feedback și să stabilească o legătură cu serverul online pentru descărcare sau încărcare de fișiere.

3.7 Aplicație pentru accesarea datelor pe dispozitivul fix (PC)

Sistemul dezvoltat conține un echipament IT fix (calculator personal) care poate accesa datele salvate pe un server și care poate fi utilizat pentru vizualizarea modificării posturii sistemului locomotor în vederea diagnosticării sau a verificării rezultatelor tratamentului.

Modelul matematic a fost verificat cu software-ul Maple (Fig. 17), capabil să facă calculele într-un timp foarte scurt și să reprezinte grafic o schemă simplificată a sistemului locomotor la un moment dat.

Pe de altă parte, a fost utilizat pachetul de proiectare mecanică CATIA în care se poate reprezenta sistemul locomotor într-o interfață grafică, sub formă de manechin uman, fie într-o poziție statică, fie într-o succesiune dinamică. Acesta are capacitatea de a salva imagini sub formă de fișiere grafice sau filme în vederea unei comparări ulterioare cu alte înregistrări. Are posibilitatea de a permite vizualizarea reprezentării 3D a sistemului locomotor din orice unghi (Fig. 18).

Acest program se instalează pe calculatorul medicului specialist / kinetoterapeutului sau a tutorilor pacienților.

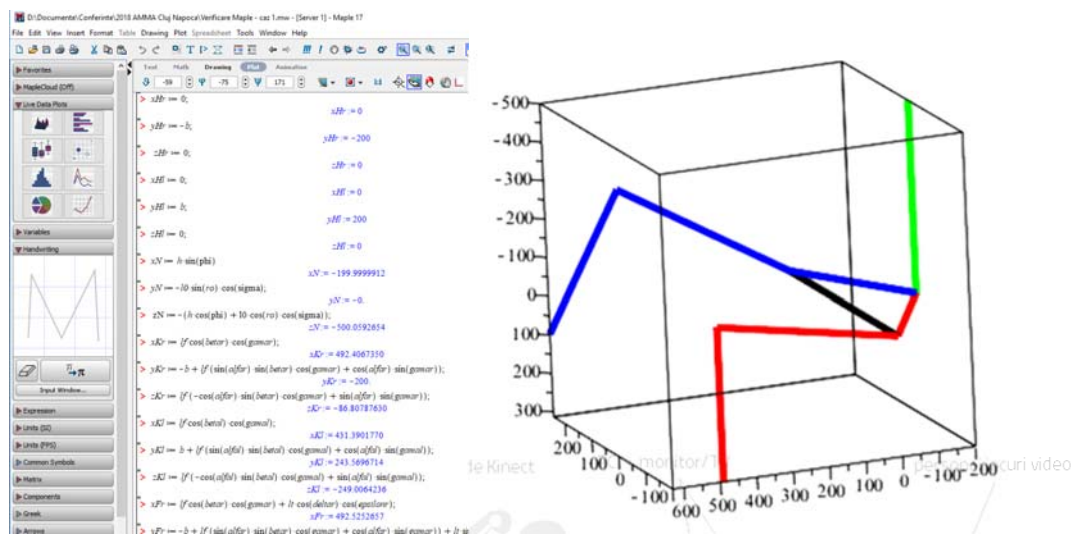


Fig. 17 Aplicația de verificare Maple

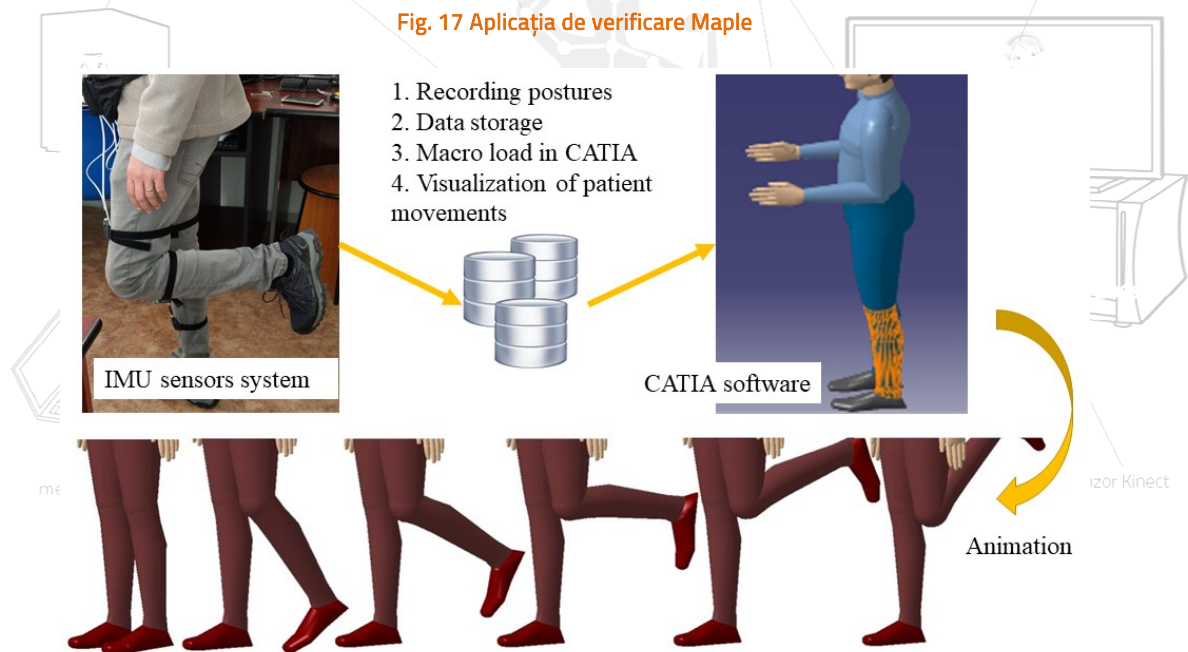


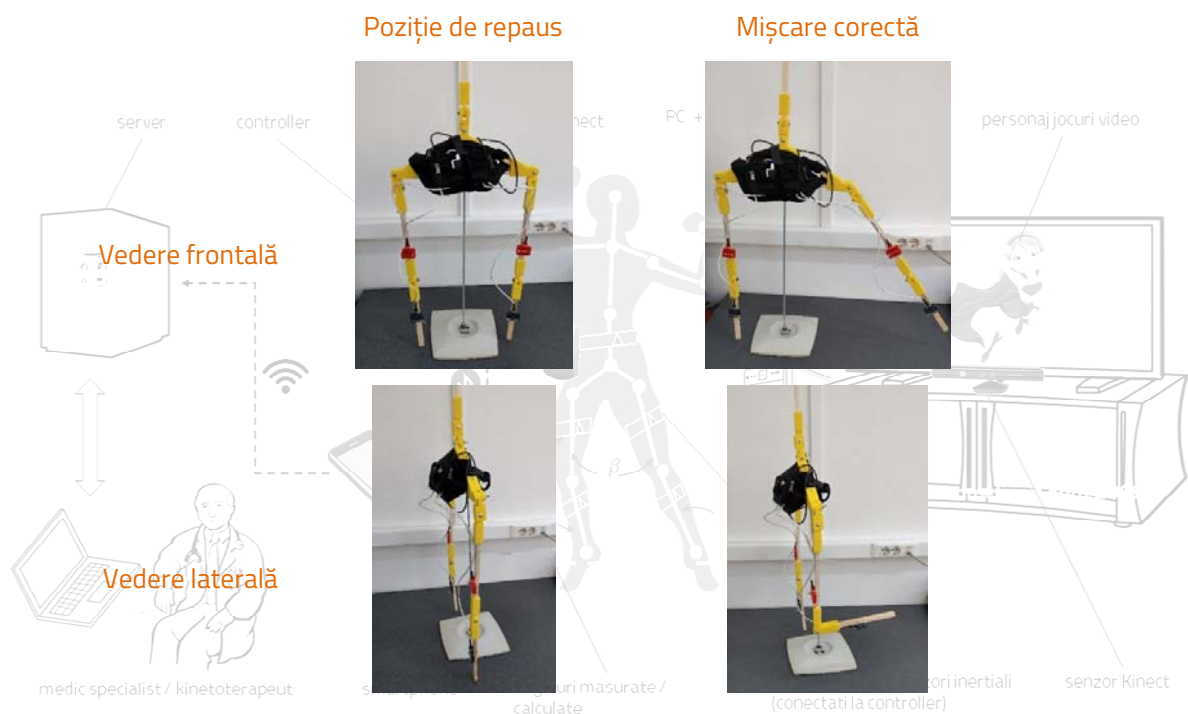
Fig. 18 Vizualizarea mișcărilor folosind aplicația CATIA

O secvență de imagini obținute în CATIA, în urma derulării unui program care conține înregistrările făcute cu echipamentul bazat pe senzori inerțiali, este prezentată în Fig. 18. Se observă o succesiune a unei mișcări de flexie a genunchiului. Înregistrarea în mișcare a aplicației macro CATIA este de tip film. Precizia sa depinde de frecvența cu care funcționează senzorii.

3.8 Verificarea și experimentarea modelului funcțional

Standul de testare este prezentat în Tab. 6. Măsurătorile sunt efectuate în poziții statice și au fost studiate și modelate mai multe cazuri. Calibrarea se repetă de fiecare dată când sistemul este deconectat de la sursa de alimentare, cu toate că datele de calibrare pot fi salvate și utilizate pentru măsurători viitoare. Verificarea constă în așezarea modelului funcțional într-o anumită poziție, rotind articulațiile corespunzătoare șoldurilor și genunchilor, după care se face comparația între valorile măsurate direct pe modelul funcțional (unghiuri măsurate cu raportorul) și valorile obținute cu senzorii și modelul matematic.

Tab. 6 Testarea modelului funcțional



Având în vedere că procentul maxim de erori este mai mic de 3%, putem concluziona că modelul matematic dezvoltat poate reproduce cu succes geometria sistemului locomotor și este potrivit pentru utilizarea în aplicații de rehabilitare medicală sau monitorizarea posturii.

3.9 Testarea prototipului pe subiecți umani

Scopul realizării unui raport de testare pentru sistemul de monitorizare a posturii este de a demonstra funcționarea echipamentului hardware și de a evalua gradul de confort resimțit de către participanții la teste.

Obiectivele specifice care trebuie îndeplinite la finalizarea raportului de încercări sunt următoarele:

- (i) Validarea funcționării echipamentului hardware utilizat pentru monitorizarea posturii;
- (ii) Testarea interfeței de culegere a datelor;

- (iii) Evaluarea gradului de confort resimțit de către participanți.

Echipamentul hardware utilizat pentru monitorizarea posturii (Fig. 19) a fost testat cu succes pe un număr mic de participanți, nefiind posibilă testarea pe persoane cu nevoi speciale, considerându-se că acest dispozitiv este echipament medical ce necesită omologare. Ansamblul alcătuit din senzori inerțiali, placă de dezvoltare și multiplexor I2C a fost conectat la un laptop printr-un cablu USB. Prin intermediul aplicației software de culegere a datelor s-au salvat datele de orientare provenite de la senzorii inerțiali.



Fig. 19 Testarea sistemului de monitorizare pe subiecți umani

De asemenea, o funcție importantă a aplicației este de a calcula diverși parametri prin aplicarea modelului matematic. Prin analiza răspunsurilor oferite de participanți referitor la gradul de confort se va perfecționa designul sistemului de monitorizare a posturii.

3.10 Utilizarea echipamentului și validarea

În utilizarea echipamentului vor fi executați următorii pași:

1. Măsurarea datelor antropometrice ale pacientului (înălțimea totală, înălțimea până la talie, lungimea femurului, lungimea tibiei) de către un specialist (medic sau terapeut fizic) folosind un dispozitiv de măsurare specializat.
2. Dimensionarea modelului CAD generic pe baza datelor măsurate de pacient.
3. Transferarea datelor de tratament către smartphone și calibrarea senzorilor în funcție de caracteristicile antropometrice ale pacientului.
4. Instruirea pacientului și montarea echipamentului pe pacient
5. Pornirea aplicațiilor pe PC și smartphone, selectarea unor exerciții preinstalate, executarea acestora sub controlul automat al sistemului de senzori. Datele înregistrate în timpul exercițiilor sunt trimise pentru salvare pe server.
6. Analiza înregistrărilor pe server de către medicul specialist sau fizioterapeut.

Sistemul cu senzori inerțiali va înregistra unghiurile Euler conform schemei din Fig. 20. Aceste date sunt preluate și procesate pentru a obține valorile alfa, beta ... pentru articulațiile șoldului, genunchiului și bazinului în toate cele trei direcții. Echipamentul necesită calibrare la pornire.

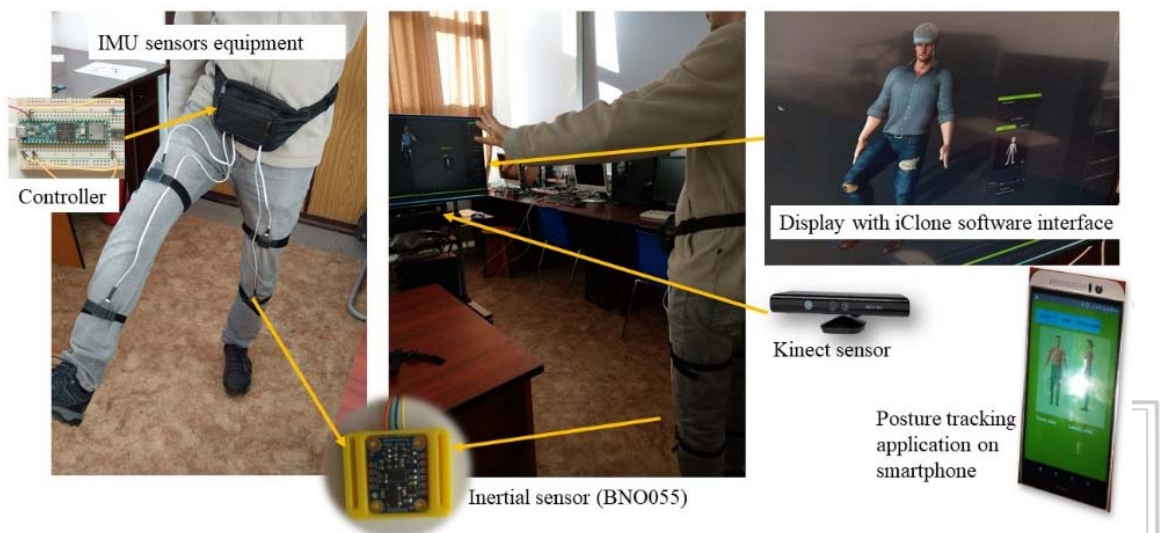


Fig. 20 Sistemul complet de urmărire a posturii

3.11 Concluzii

Two important achievements have been completed: (1) theoretically - the kinematic model and the algorithm for determining the posture of the human body and (II) experimental - a prototype of equipment consisting of two systems of human body motion tracking.

The kinematic model refers to the locomotor system, where the human skeleton was considered to be made up of rigid segments connected by spherical or rotating couplings. The calculation algorithm is based on matrices transformations and calculates the coordinates of the knee and ankle points, based on input data (patient anthropometric dimensions and measured angles).

The measured data by sensors are recorded in a txt file. In CATIA software a mannequin was configured based on the anthropometric measurements of the patient. A macro application has been created to view the movements of this mannequin, having input data the records with measured angle values.

We can say that this method of storing information about a patient's exercise is very cheap, being a simple txt file that can be analyzed as often as needed.

4 Impactul rezultatelor obtinute. Diseminare

Membrii echipei de proiect au participat la două conferințe internaționale ale căror lucrări sunt publicate în Editura Springer și indexate în baza de date Web of Science. În lucrările prezentate s-a menționat proiectul în care au fost dezvoltate cercetările, sub forma:

Acknowledgments: The publishing of this paper was supported by the project no. 1804/2018, entitled "SIM-TACK/Real-time motion tracking system for physiotherapy exercises for people with special educational needs" financed by Transilvania University of Brasov, programme "Grants for interdisciplinary teams", competition 2018.

Conform documentelor proiectului, a *Contractului de finanțare nr. 1804/15.02.2018*, s-a propus publicarea a 2...4 articole în baze de date recunoscute internațional.

4.1 Prezențe la conferințe de specialitate

1. S. Butnariu, G. Mogan, C. Antonya, *Using Inertial Sensors in Driver Posture Tracking Systems*, Proceedings of the 4th International Congress of Automotive and Transport Engineering (AMMA 2018, Cluj Napoca), https://doi.org/10.1007/978-3-319-94409-8_2
2. S. Butnariu, Cs Antonya, P. Ursu, *Medical Recovery System Based on Inertial Sensors*, The 8th World Congress on Information and Communication Technologies (WICT 2018), Kochi, India, 2018.
3. Cs Antonya, S. Butnariu, C. Pozna, *Haptic device with decoupled motion for rehabilitation and training of the upper limb*, The 8th World Congress on Information and Communication Technologies (WICT 2018), Kochi, India, 2018.

4.2 Brevete

1. S. Butnariu, *Sistem de urmărire a mișcării în timp real pentru exerciții de kinetoterapie și metoda de urmărire*, cerere de brevet depusă la OSIM, nr.intr. A100476/28.06.2018, publicat în martie 2019.

5 Bibliografie

- [1] Învățământ special, <https://www.edu.ro/invatamant-special>, Accesat 01.01.2018.
- [2] Ordin pentru aprobarea Metodologiei privind evaluarea, asistenta psihoeducationala, orientarea școlară și orientarea profesionala a copiilor, a elevilor și a tinerilor cu cerințe educaționale speciale, nr. 6552/2011, Ministerul Educației și Cercetării, M.Of.Nr.45 din 19.01.2012
- [3] Mijloacele Kinetoterapiei moderne, <https://kinetogym.wordpress.com/2011/02/18/mijloacele-kinetoterapiei-moderne/>, Accesat 01.01.2018.
- [4] Recuperarea medicală, <http://www.recuperaremedicala.com/Page-10.html>, Accesat 01.01.2018.
- [5] Kinetoterapie Robotică, <http://kinetopromedicalife.ro/servicii/kinetoterapie-robotica/>, Accesat 24.12.2017
- [6] FDA clears BioGaming's Microsoft Kinect-based physiotherapy software, <http://www.mobihealthnews.com/content/fda-clears-biogamings-microsoft-kinect-based-physiotherapy-software>, Accesat 24.12.2017
- [7] Aplicație de recuperare: MIRA Rehab, un proiect românesc revoluționează kinetoterapia, <https://ehealthromania.com/aplicatie-de-recuperare-mira-rehab-kinetoterapia/>, Accesat 24.12.2017
- [8] OAK, a Kinect-based active support system for the severely disabled, <http://robhub.org/oak-a-kinect-based-active-support-system-for-the-severely-disabled/>, Accesat 24.12.2017
- [9] Senior Design: Robotic Arm with Kinect Interface <https://benpyeh.com/2013/12/07/senior-design-robotic-arm-with-kinect-interface-detailed-report-long-post/>, Accesat 01.01.2018
- [10] Tratament parapareza spastica, <http://www.kinetikmed.ro/Lista-tratamente-de-recuperare/tratament-parapareza-spastica.html>, Accesat 24.12.2017
- [11] Program de recuperare - Studiu de caz, <http://viata-fara-limite.blogspot.ro/2013/03/program-de-recuperare-studiu-de-caz.html>, Accesat 24.12.2017
- [12] G. Ciuti, L. Ricotti, A. Menciasci, and P. Dario, "MEMS sensor technologies for human centred applications in healthcare, physical activities, safety and environmental sensing: a review on research activities in Italy," Sensors (Basel), vol. 15, pp. 6441-68, 2015.
- [13] J.-N. Kim, M.-H. Ryu, H.-R. Choi, Y.-S. Yang, and T.-K. Kim, "Development and Functional Evaluation of an Upper Extremity Rehabilitation System Based on Inertial Sensors and Virtual Reality," Intl. Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 2013, pp. 1-7, 2013.
- [14] A. Leardini, G. Lullini, S. Giannini, L. Berti, M. Ortolani, and P. Caravaggi, "Validation of the angular measurements of a new inertial-measurement-unit based rehabilitation system: comparison with state-of-the-art gait analysis," Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, vol. 11, pp. 2-7, 2014.
- [15] H. T. Li, J. J. Huang, C. W. Pan, H. I. Chi, and M. C. Pan, "Inertial Sensing Based Assessment Methods to Quantify the Effectiveness of Post-Stroke Rehabilitation," Sensors (Basel), vol. 15, pp. 196-209, 2015.
- [16] Mohamed, J. Baba, J. Beyea, J. Landry, A. Sexton, and C. A. McGibbon, "Comparison of strain-gage and fiber-optic goniometry for measuring knee kinematics during activities of daily living and exercise," J Biomech Eng, vol. 134, p. 084502, Aug 2012.
- [17] R. Nerino, L. Contin, A. Tirri, G. Massazza, A. Chimienti, G. Pettiti, et al., "An improved solution for knee rehabilitation at home," in 9th International Conference on Body Area Networks, London, UK, 2014, pp. 62-68.
- [18] Moncada-Torres, K. Leuenberger, R. Gonzenbach, A. Luft, and R. Gassert, "Activity classification based on inertial and barometric pressure sensors at different anatomical locations," Physiol Meas, vol. 35, pp. 1245-63, Jul 2014.
- [19] Y. Qi, C. B. Soh, E. Gunawan, K. S. Low, and R. Thomas, "Lower Extremity Joint Angle Tracking with Wireless Ultrasonic Sensors during a Squat Exercise," Sensors (Basel), vol. 15, pp. 9610-27, 2015.
- [20] F. Attal, S. Mohammed, M. Dedabrishvili, F. Chamroukhi, L. Oukhellou, and Y. Amirat, "Physical Human Activity Recognition Using Wearable Sensors," Sensors (Basel), vol. 15, pp. 31314-38, 2015.
- [21] E. Papi, D. Osei-Kuffour, Y. M. Chen, and A. H. McGregor, "Use of wearable technology for performance assessment: a validation study," Med Eng Phys, vol. 37, pp. 698-704, Jul 2015.

- [22] S. Patel, H. Park, P. Bonato, L. Chan, and M. Rodgers, "A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 9, pp. 2-17, 2012.
- [23] Activity Tracker Comparison Chart, <http://www.bestfitnesstrackerreviews.com/comparison-chart.html>, Accesat 01.01.2018.
- [24] Wearable Motivates Physical Activity, <http://healthtechinsider.com/tag/exercise/>, Accesat 01.01.2018.
- [25] Exosuit soft exoskeleton update, <http://nextbigfuture.com/2015/07/exosuit-soft-exoskeleton-update.html>, Accesat 01.01.2018.
- [26] Wearable sensors, <http://www.apdm.com/wearable-sensors/>, Accesat 01.01.2018.
- [27] Perception Neuron Sensor, <http://www.fitness-gaming.com/news/markets/home-fitness/perception-neuron-brings-motion-capture-technology-to-average-consumer.html>, Accesat 01.01.2018.
- [28] http://www.gamershell.com/xbox360/kinect_star_wars/screenshots.html?id=571610, Accesat 04.01.2018.
- [29] Bosch Sensortec, BNO055, Data Sheets, https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bno055, last accessed 2018/04/26
- [30] Roetenberg, D., Luinge, H., and Slycke, P.: Xsens MVN: Full 6DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors, XSENS TECHNOLOGIES – ver. April 3, (2013)
- [31] Yuan, Q., Chen, I-M.: Localization and velocity tracking of human via 3 IMU sensors, *Sensors and Actuators A 212*, pp. 25-33, (2014).
- [32] Exerciții pentru parapareza, <https://www.scribd.com/doc/61742258/Parapareza-exercitii>, Accesat 2019/02/10
- [33] Exerciții parapareză. Studiu de caz, <http://viata-fara-limite.blogspot.com/2013/03/program-de-recuperare-studiu-de-caz.html>, Accesat 2019/02/10.
- [34] Parapareza spastică, <http://www.kinetikmed.ro/Lista-tratamente-de-recuperare/tratament-parapareza-spastica.html>, Accesat 2019/02/10.

