

UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI  
FACULTATEA DE MATEMATICĂ ȘI INFORMATICĂ

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

# **Sisteme inteligente de recuperare medicală bazate pe interacțiunea cu senzori de mișcare**

*Student doctorand:*  
Alina D. CĂLIN

*Coordonator științific:*  
Prof. Dr. Horia F. POP

2018

**Cuvinte cheie:** recunoaștere de gesturi, analiza mișcării, senzor de mișcare, Kinect, exerjocuri personalizate, învățare automată, ajustarea dificultății jocurilor



# Rezumatul tezei

## 1.1 Sisteme inteligente de recuperare medicală cu senzori de mișcare

### 1.1.1 Introducere

Această lucrare urmărește să exploreze potențialul inteligenței artificiale pentru sistemele interactive de reabilitare bazate pe senzori de mișcare, utilizate curent în practica medicală. Cu o aplicație vastă în kinetoterapie și terapie cognitivă, aceste sisteme oferă un mijloc de recuperare mai personalizat și mai accesibil pacienților, revoluționând procesele de asistență medicală și îmbunătățind rezultatele clinice, promovând o mai bună calitate a vieții.

În această cercetare, ne-am concentrat atenția pe obținerea unei personalizări mai bune a experienței utilizatorilor, folosindu-ne de datele de mișcare oferite de camere 3D (în cazul nostru, senzorii Microsoft Kinect și Orbbec) în timpul exercițiilor fizice, inclusiv gesturile secundare care apar în timp ce se interacționează cu sistemul: limbajul corpului și alte stări și emoții ale utilizatorilor (bucurie, frustrare, dezinteres) care sunt exprimate prin gesturile lor.

Pornind de la aceste aspecte, ne-am concentrat atenția în jurul a două teme importante de cercetare: prima se referă la îmbunătățirea recunoașterii gesturilor, iar a doua la îmbunătățirea experienței utilizatorilor. Recunoașterea inteligentă a gesturilor a fost efectuată pe baza datelor din scheletul 3D captat de senzori de mișcare precum Microsoft Kinect. S-au folosit mai multe tehnici de învățare automată pentru a clasifica atât poziții statice cât și gesturi temporale. În plus, am propus o metodă de îmbunătățire a performanței acestor algoritmi, atunci când sunt utilizați cu anumite gesturi temporale multi-articulare. În ceea ce privește experiența utilizatorului, scopul nostru a fost de a aplica concepte de echilibrare dinamică a jocurilor care să fie adaptate vârstnicilor, ei constituind o categorie relevantă de utilizatori ai sistemelor interactive de recuperare.

Pe baza rezultatelor, un sistem poate analiza mișcările efectuate de un utilizator și poate genera un răspuns cu privire la corectitudinea exercițiului fizic și modul în care acesta poate fi îmbunătățit, acționând ca un asistent virtual inteligent. Mai mult decât atât, un sistem poate ajusta elementele vizuale și alte aspecte senzoriale ale mediului virtual al jocului-exercițiu, în funcție de semnificația gesturilor secundare ale utilizatorului, modificând setările de joc pentru a optimiza experiența.

Aceste rezultate au fost destinate folosirii de către sisteme pentru îmbătrânire activă, în special platforma MIRA - un program software de recuperare medicală care conține jocuri-exerciții fizice și cognitive destinate recuperării diferitelor grupe de pacienți, inclusiv copii și vârstnici [Can+17].

### 1.1.2 Clasificarea posturilor și a gesturilor

Am început cercetarea prin analiza mai multor tehnici de învățare automată pentru a clasifica posturi statice și gesturi temporale înregistrate cu senzorii Kinect 1 și Kinect 2, reprezentate ca schelet de încheieturi 3D. Am comparat modul în care performanțele clasificatorilor (precizia, acuratețea, timpul computațional) sunt influențate de factori precum acuratețea senzorului, modul de interpretare a datelor ca număr de clase) și dimensiunea eșantionului de date (referindu-se la numărul de instanțe dintr-o clasă).

Prin urmare, ne-am propus să folosim aceste rezultate ca suport decizional pentru a selecta cel mai potrivit senzor, mod de interpretare a datelor și algoritmi de clasificare pentru un anumit tip de sistem de recunoaștere a gesturilor. În plus, am abordat în cercetarea noastră mai multe metode de îmbunătățire a analizei mișcărilor și a acurateții de clasificare a gesturilor prin selecția atributelor relevante. S-au folosit algoritmi implementați de bibliotecile Weka [Hal+09] și GRT [GKO11].

Contribuția originală în acest domeniu constă în crearea mai multor baze de date conținând posturi și gesturi semnificative, utilizând senzorii Kinect 1 și Kinect 2 și în compararea rezultatelor și a eficienței mai multor clasificatori. Dintre acestea, se acordă o atenție deosebită comparării algoritmilor HMM și DTW pentru recunoașterea gesturilor temporale.

### 1.1.3 Analiza mișcării

O altă contribuție importantă este propunerea unei noi metode de analiză a mișcării care separă diferitele componente ale mișcării (postura, amplitudinea și traiectoria principală), separând atributele corespunzătoare articulațiilor active și pasive. Testată pe baza noastră de date și baze de date existente conținând gesturi Kinect, această metodă îmbunătățește acuratețea obținută de algoritmi folosiți anterior (DTW, HMM), cât și modelul nostru de analiză a mișcării.

### 1.1.4 Echilibrarea dinamică a dificultății jocurilor

În domeniul ajustării dinamice a dificultății jocurilor, propunem un nou model de echilibrare a jocurilor, adaptat pentru jocurile specifice sistemelor de îmbătrânire activă, utilizând informații derivate din gesturile utilizatorului în timpul interacțiunii. Acest model se concentrează pe ajustarea caracteristicilor interfeței utilizator sau a dificultății jocurilor în funcție de performanța utilizatorului, având în vedere particularitățile jucătorilor din grupul de vârstnici.

## 1.2 Cuprinsul tezei și rezultatele principale

Această lucrare este structurată pe șapte capitole, după cum urmează:

- **Capitolul 1:** Introducem domeniul tezei și principalele moduri de aplicabilitate pentru sisteme de recuperare digitală [Mol+14; Mol+17], în special MIRA [Can+17].
- **Capitolul 2:** Prezentăm stagiul actual al cercetării în domeniul recunoașterii gesturilor și a analizei mișcărilor pentru terapia fizică, folosind senzori de mișcare, în special Microsoft Kinect [Mic17].
- **Capitolul 3:** Acest capitol prezintă contribuția noastră originală în recunoașterea posturilor corporale, pentru care am obținut mai multe rezultate promițătoare publicate în [Căl16a; Căl16d; CC18]. Am constatat că senzorul Kinect 2 are un potențial mare de a îmbunătăți acuratețea și precizia clasificatorilor pe care i-am luat în considerare, în comparație cu Kinect 1. Pe de altă parte, aceasta implică și un timp computațional mărit.

Astfel, Kinect 2 este de preferat, dar nu este încă o opțiune universală, deoarece există clasificatori care dau rezultate cu Kinect 1 apropiate celor mai bune obținute cu Kinect 2, și un timpul de calcul redus. De exemplu, cea mai bună precizie este cu Simple Logistic (98.20 %) pe Kinect 1, o valoare apropiată de cea mai bună precizie pe Kinect 2 cu Multilayer Perceptron de 99.08 % (cu 5.54s, respectiv 65.93s timpul computațional).

De asemenea, am constatat că unii clasificatori (de exemplu Hoeffding Tree, Bagging, Naive Bayes sau Naive Bayes Updateable) își îmbunătățesc precizia atunci când specificitatea clasei și numărul de clase sunt mărite. Rezultate similare s-au obținut la comparația senzorilor Kinect 2 și Orbbec.

- **Capitolul 4:** În acest capitol, contribuția principală în cercetare este în abordarea clasificării gesturilor temporale. Rezultatele publicate în [Că116c] (până la 97,85 % acuratete), arată că există un bun potențial pentru clasificarea gesturilor temporale complexe cu o mână, cum ar fi forme de litere sau cifre. La compararea performanței celor doi algoritmi, DTW și HMM, am descoperit că DTW funcționează mai bine cu mai puține instanțe per clasă (o scădere a preciziei de la 97.80% la 66.6%, când am crescut numărul de instanțe per clasă). În ceea ce privește HMM, algoritmul a obținut o precizie similară sau mai mare atunci când am crescut numărul de instanțe pe fiecare clasă.

Cel mai bun rezultat general a fost obținut de DTW (97,80% pe Kinect 1), în timp ce cea mai mare valoare pentru HMM a fost puțin mai mică (96,35% pe Kinect 2). Totuși, acuratetea algoritmului DTW depinde de dimensiunea bazei de date, care, dacă este prea mare, îi va afecta performanța în mod negativ. Acest lucru face ca HMM să fie preferabil pentru recunoașterea gesturilor în sistemele dinamice (care își ajustează modelul pe parcurs), în timp ce DTW ar putea fi o opțiune mai bună pentru sistemele statice, în care numărul de instanțe este stabilit anterior, conținând un număr optim de instanțe care nu se modifică.

- **Capitolul 5:** În continuare, acest capitol prezintă o contribuție originală în analiza mișcării, propunând o metodă de îmbunătățire a preciziei pentru clasificarea gesturilor complexe formate din mai multe încheieturi. O precizie mai bună a clasificării a fost obținută după aplicarea metodei noastre, îmbunătățirile fiind cu până la 56% pentru HMM și cu până la 32% pentru DTW. Mai mult, s-a observat o corelație pozitivă între amplitudinea mișcării și caracteristica EF ( $r = 0.92$ ).

Acest rezultat poate fi folosit de sisteme de recuperare pentru a furniza utilizatorilor informații pentru a-i ajuta să-și îmbunătățească performanța fizică a unui exercițiu. Modelul propus și rezultatele obținute au fost prezentate în [CPB17].

- **Capitolul 6:** Acest capitol prezintă contribuția noastră inițială în ceea ce privește echilibrarea dinamică a jocurilor și modul în care putem utiliza gesturile indirecte ale utilizatorilor pentru a personaliza interacțiunea acestora cu sistemul. Pe baza rezultatelor anterioare, propunem un model adaptat pentru echilibrarea dificultăților jocului în sistemele de îmbătrânire activă pentru persoanele în vârstă, publicat în [Că116b]. A doua parte a acestui capitol prezintă implicațiile clinice și rezultatele medicale obținute pe diferite grupuri de pacienți de către cercetători independenți din domeniul medical și de recuperare [STS15; Sta+16; Mol+17].
- **Capitolul 7:** În acest capitol iterăm concluziile principale ale cercetării noastre și specificăm cele mai relevante direcții și îmbunătățiri ale acestei cercetări, pe care le propunem spre abordare în continuare.

## 1.2.1 Cuprinsul tezei

Conținutul detaliat al tezei este, după cum urmează:

<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>Acknowledgements</b>	<b>ix</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>
1.1 Telerehabilitation and eHealth exergaming systems . . . . .	1
1.2 Thesis overview . . . . .	4
1.3 Original research contributions with applications in industry . . . . .	6
1.4 The importance of this research . . . . .	7
<b>2 Background information and theory</b>	<b>11</b>
2.1 Artificial intelligence in eHealth systems for rehabilitation . . . . .	11
2.2 Motion cameras for rehabilitation . . . . .	12
2.3 The Microsoft Kinect sensor . . . . .	14
2.3.1 Comparison between Kinect 1 and Kinect 2 . . . . .	14
2.3.2 Gesture recognition with Kinect . . . . .	16
2.3.3 Time-series gesture classification . . . . .	18
2.4 Algorithms for times-series data classification . . . . .	20
2.4.1 Dynamic Time Warping (DTW) . . . . .	20
2.4.2 Hidden Markov Models (HMM) . . . . .	22
2.5 Related work on motion analysis . . . . .	23
<b>3 Posture recognition</b>	<b>25</b>
3.1 Data collection . . . . .	25
3.2 Experiments . . . . .	28
3.3 Weka . . . . .	29
3.4 Results . . . . .	31
3.4.1 Results with Kinect 1 data . . . . .	31
3.4.2 Results with Kinect 2 data . . . . .	36
3.4.3 Comparison between Kinect 1 and Kinect 2 . . . . .	43
3.4.4 Feasibility of replacing Kinect 2 with Orbbec . . . . .	49
3.5 The importance of these results among related work . . . . .	50
<b>4 Time Series Gesture Recognition</b>	<b>53</b>
4.1 Single-joint time series gesture classification . . . . .	53
4.1.1 Data collection . . . . .	53
4.1.2 Experiments . . . . .	56
4.1.3 Gesture Recognition Toolkit (GRT) . . . . .	56
4.1.4 Results . . . . .	57
4.1.5 Comparison between Kinect 1 and Kinect 2 . . . . .	59
4.1.6 Comparison between DTW and HMM . . . . .	60
4.2 Multi-joint time series gesture classification . . . . .	61
4.2.1 Methods . . . . .	61
4.2.2 Preliminary results . . . . .	62
4.3 The importance of these results among related work . . . . .	64
<b>5 Advanced motion analysis</b>	<b>67</b>
5.1 Research objectives and rationale . . . . .	68
5.2 Database creation . . . . .	68
5.3 Other databases used . . . . .	69
5.4 A new motion analysis method . . . . .	70
5.5 Experiments and Results . . . . .	73

5.5.1 Analysing Movement Amplitude . . . . .	75
5.6 The importance of these research findings . . . . .	77
<b>6 Personalisation of active ageing systems and clinical implications</b>	<b>79</b>
6.1 Dynamic Game Difficulty Balancing (DGDB) . . . . .	79
6.2 DGDB in games designed for active ageing . . . . .	80
6.2.1 Analysing older people users group . . . . .	82
6.2.2 An adapted DGDB action model . . . . .	83
6.3 Case Study on Three Active Ageing Exergames . . . . .	85
6.4 Clinical implications . . . . .	86
6.4.1 User experience feedback . . . . .	87
6.4.2 Clinical validation studies . . . . .	90
6.5 The importance of these research findings . . . . .	92
<b>7 Conclusions and future directions</b>	<b>93</b>
7.1 Research findings and conclusions . . . . .	93
7.2 Future directions . . . . .	95
<b>Bibliography</b>	<b>99</b>

### 1.3 Importanța acestei cercetării și concluziile principale

În această lucrare am explorat utilizarea senzorului Kinect și a metodelor de învățare automată pentru recunoașterea gesturilor și analiza mișcării, obținând rezultate viabile pentru a fi explorate în continuare pentru a fi utilizate în practică (peste 90% acuratețe pentru recunoașterea posturii și a gesturilor). În cele din urmă, ne propunem să construim un asistent virtual inteligent, capabil să ofere pacienților care utilizează sisteme de reabilitare la domiciliu instrucțiuni cu privire la îmbunătățirea modului de a efectua exercițiile fizice.

Toate aceste constatări ale cercetării au vizat susținerea și îmbunătățirea sistemelor comerciale de reabilitare existente, cum ar fi platforma MIRA, care este utilizată în peste 70 de instituții clinice din 7 țări. Impactul său asupra îmbunătățirii terapiei de recuperare, a rezultatelor acesteia și a altor beneficii a fost cuantificat de către parteneri colaboratori din domeniul recuperării și cercetători clinicieni independenți [STS15; Sta+16; Mol+17].

Există și alte direcții potențiale pentru a utiliza rezultatele cercetărilor noastre, care se extind la alte sisteme care folosesc senzori de mișcare pentru interacțiune. Mai mult, recunoașterea stărilor utilizatorilor sau a emoțiilor, predicția gesturilor sau generarea de gesturi sunt unele dintre celelalte subiecte de interes și direcții posibile pentru a continua această cercetare.





# Bibliografie

- [Căl16a] Alina Delia Călin. "A comparative study of artificial intelligence methods for Kinect gesture recognition". In: *Studia Universitatis Babes-Bolyai, Informatica* 61.1 (2016), pp. 67–77.
- [Căl16b] Alina Delia Călin. "Dynamic game difficulty balancing in active ageing systems". In: (May 2016).
- [Căl16c] Alina Delia Călin. "Gesture Recognition on Kinect Time Series Data Using Dynamic Time Warping and Hidden Markov Models". In: *Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC), 2016 18th International Symposium on*. IEEE. 2016, pp. 264–271.
- [Căl16d] Alina Delia Călin. "Variation of pose and gesture recognition accuracy using two kinect versions". In: *INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), 2016 International Symposium on*. IEEE. 2016, pp. 1–7.
- [Can+17] Andrei C. Cantea, Cosmin A. Mihaiu, L. Andrei Dascălu, and Alina D. Călin. "MIRA". In: *International British Computer Society Conference on Human Computer Interaction* (2017), pp. 1–2.
- [CC18] A. D. Călin and A. Coroiu. "Interchangeability of Kinect and Orbbec Sensors for Gesture Recognition". In: *Submitted to the IEEE 14th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP 2018)* (2018).
- [CPB17] Alina D. Călin, Horia F. Pop, and Rareș F. Boian. "Improving Movement Analysis in Physical Therapy Systems Based on Kinect Interaction". In: (July 2017).
- [GKO11] Nicholas Gillian, Benjamin Knapp, and Sile O'Modhrain. "Recognition Of Multivariate Temporal Musical Gestures Using N-Dimensional Dynamic Time Warping." In: *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME)*. May 2011, pp. 337–342.
- [Hal+09] Mark Hall, Eibe Frank, Geoffrey Holmes, Bernhard Pfahringer, Peter Reutemann, and Ian H. Witten. "The WEKA Data Mining Software: An Update". In: *SIGKDD Explorations* 11.1 (2009), pp. 10–18.
- [Mic17] Corp. Microsoft. *The Kinect*. Last accessed 18 September 2017. 2017. URL: <https://www.xbox.com/en-US/xbox-one/accessories/kinect>.
- [Mol+14] I. M. Moldovan et al. "Development of a new scoring system for bilateral upper limb function and performance in children with cerebral palsy using the MIRA interactive video games and the Kinect sensor". In: *Annals of 10th International Conference on Disability, Virtual Reality & Associated Technologies, Gothenburg*. Vol. 7. 2014, pp. 189–196.
- [Mol+17] I. M. Moldovan, L. Tric, R. Ursu, A. Podar, A. D. Călin, A. C. Cantea, L. A. Dascălu, and C. A. Mihaiu. "Virtual rehabilitation programme using the MIRA platform, Kinect and Leap Motion sensors in an 81 years old patient with ischemic stroke". In: *E-Health and Bioengineering Conference (EHB), 2017*. IEEE. 2017, pp. 325–328.

- [Sta+16] Emma K Stanmore, Wytske Meekes, Vicky Bell<sup>1</sup>, Kelly Hagan, Debra Maloney, Angela Easdon, Jay Chillala, Bibhas Roy, and Chris Todd. "The development and clinical testing of remotely monitored MIRA Exergames to improve function and prevent falls". In: *6th Annual Games For Health Europe* (2016).
- [STS15] E. K. Stanmore, C. Todd, and D. A. Skelton. "Acceptability and Usability of Evidence Based Exergames Designed to Improve Function in Older People". In: *Gerontologist*. Vol. 55. Oxford Univ Press Inc Journals Dept, 2001 EVANS RD, CARY, NC 27513 USA. 2015, pp. 772–773.