

## **Contribuții la procesul de vizualizare și manipulare al imaginilor pseudo-holografice**

### **Teză de doctorat – Rezumat**

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnică Timișoara

în domeniul de doctorat Calculatoare și Tehnologia Informației

**autor inf. Ioan Virag**

conducător științific **Prof.univ.dr.ing. Lăcrămioara Stoicu-Tivadar**

luna 10 anul 2017

Teza aduce contribuții la dezvoltarea noilor sisteme medicale de vizualizare bazate pe ultima generație de dispozitive periferice de intrare și ieșire, prin introducerea unor noi algoritmi, modele și componente software. Soluțiile prezentate permit utilizatorilor să interacționeze prin intermediul gesturilor cu modelele tridimensionale afișate, care pot fi vizualizate alternativ cu ajutorul unui monitor pseudo-holografic. Teza furnizează o analiză detaliată a tehnologiilor software și hardware curente folosite în imagistica pseudo-holografică 3D, facilitând astfel dezvoltarea noilor proiecte de cercetare de către grupurile interesate de acest domeniu. Datorită limitărilor impuse de arhitectura aplicațiilor orientată spre navigatoare web, a fost necesară dezvoltarea și implementarea unui nou algoritm de segmentare care să permită execuția mai rapidă a acestora. Aplicațiile rezultate au fost testate cu ajutorul unor seturi publice de imagini 3D medicale și modele moleculare 3D reale, care au permis validarea rezultatelor pe baza metodologiei și a scenariilor de testare dezvoltate pentru grupurile țintă vizate (studenți ai facultăților de medicină și chimie).

Introducerea sistemelor PACS (Picture Archiving and Communication Systems) [1] și a standardului DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) [2] au rolul de a îmbunătăți tehnologiile imagistice medicale și de creștere a interoperabilității între diferitele instituții și echipamente medicale (puse la dispoziție de diverși producători). Problema majoră cu care se confruntă utilizatorii la instalarea aplicațiilor asociate ale acestor echipamente este dependența acestora de alte componente software sau sisteme de operare cu surse închise. Aceste probleme sunt eliminate cu ajutorul noilor soluții bazate pe web [3], care permit vizualizarea imaginilor extrase din fișierele DICOM în cadrul navigatorului.

Accesarea imaginilor cu ajutorul dispozitivelor de intrare convenționale (mouse sau tastatură) în timpul intervențiilor medicale, reprezintă un factor de risc major în sălile de operație. Pentru împiedicarea astfel de complicații, au fost propuse mai multe sisteme bazate pe detecția gesturilor descrise în [4], [5], și [6]. Aceste soluții permit interacțiunea cu imaginile pacientului fără contact fizic și ajută la menținerea unui mediu steril în timpul operațiilor medicale.

Datele imagistice din fișierele DICOM ale pacientului sunt stocate sub forma unui grup de felii paralele 2D, reprezentând zona anatomică scanată și pot fi folosite pentru reconstrucția volumului 3D în cazul MPR (reconstrucției multiplanare) [7]. Imaginile 3D rezultate pot fi vizualizate alternativ de către un grup mai mare de utilizatori pe un dispozitiv pseudo-holografic (fără ajutorul unor ochelari 3D speciali) îmbunătățind colaborarea dintre specialiștii din diverse domenii medicale [8].

Principalul obiectiv al tezei este consolidarea teoretică și practică a domeniului aplicațiilor de vizualizare medicală folosind ultima generație de dispozitive de urmărire a

gesturilor și a monitoarelor 3D pseudo-holografice într-o manieră modulară și personalizată pentru grupuri țintă specifice. Provocările la nivel tehnologic pornesc atât de la noutatea componentelor software și hardware folosite în timpul dezvoltării, cât și de la definirea noilor metrici și parametri care să susțină soluțiile propuse. Următoarele activități au fost definite cu scopul de a duce la bun sfârșit aceste sarcini:

- O analiză extensivă a tehnologiilor software și hardware curente folosite în imagistica pseudo-holografică.
- Dezvoltarea unui nou algoritm de segmentare destul de rapid pentru a fi aplicat unui sistem de vizualizare medicală bazat pe un navigator web.
- Implementarea unui algoritm de colorare interactiv pe partea de client cu scopul de a izola detaliile anatomice studiate prin evidențierea zonelor de interes din cadrul imaginilor medicale afișate.
- Modelarea și extinderea funcționalităților unei aplicații web 3D de vizualizare a moleculelor prin adăugarea posibilității de urmărire a gesturilor.
- Evaluarea uneltelor software dezvoltate cu ajutorul grupurilor țintă folosind seturi reale de imagini 3D și modele moleculare 3D obținute din surse publice pentru validarea rezultatelor în baza unor cazuri de testare specifice.

Teza este compusă din următoarele capitole menite să descrie starea tehnologică de ultimă oră, metodele folosite la dezvoltarea aplicațiilor, rezultatele și concluziile cuprinzând oportunitățile de dezvoltare viitoare identificate:

- Capitolul 1 descrie subiectul cercetării.
- Capitolul 2 prezintă tehnologiile folosite de noua generație de dispozitive periferice de intrare, interfețele creier-calculator și dispozitivele pseudo-holografice potrivite dezvoltării unei noi generații de interfețe utilizator naturale.
- Capitolul 3 descrie modulele software cu surse deschise folosite în timpul cercetării, subliniind rolul lor în dezvoltarea aplicațiilor de Realitate Augmentată bazată pe JavaScript. Acestea pun bazele dezvoltării unei aplicații de vizualizare a imaginilor din cadrul fișierelor DICOM care permite interacțiunea cu ajutorul gesturilor în cadrul unui navigator web.
- Capitolul 4 prezintă arhitectura, avantajele, problemele întâmpinate și soluțiile găsite în timpul dezvoltării unei aplicații de vizualizare a imaginilor din cadrul fișierelor DICOM bazate pe tehnologiile software descrise în capitolul 3.
- Capitolul 5 descrie în detaliu bibliotecile cu surse deschise folosite la dezvoltarea și extinderea funcționalităților oferite de către o aplicație de vizualizare 3D a modelelor moleculare prin adăugarea interacțiunii bazate pe gesturi.
- Capitolul 6 prezintă procedura de evaluare a aplicațiilor descrise în capitolele 4 și 5, respectiv rezultatele evaluării acestora.
- Capitolul 7 prezintă concluziile și descrie direcțiile viitoare de dezvoltare propuse de autorul tezei.

**Capitolul 2** are scopul de a prezenta ultimele inovații de natură tehnologică care ar trebui luate în calcul de către fiecare cercetător pus în fața problemei de a construi o interfață utilizator de ultimă oră. Modulele hardware prezentate sunt grupate în trei categorii principale: dispozitive periferice de intrare bazate pe recunoașterea gesturilor, interfețe creier-calculator și noile tehnologii 3D de afișare. Autorul tezei prezintă de asemenea unele soluții pentru cazurile care necesită un răspuns tactil.

Din totalitatea dispozitivelor de urmărire a gesturilor, controlerul LEAP Motion

prezintă o mare acuratețe și viteză în detecția fiecărui deget, întrecut doar de către dispozitivul Soli produs de compania Google potrivit pentru întrefețele portabile. Tehnologiile alternative de urmărire a gesturilor destinate dispozitivelor mobile cum ar fi SideSwipe și SoundWave oferă de asemenea o soluție în cazurile în care componentele folosite trebuie adaptate la mărimea dispozitivelor.

Dispozitivul MYO are ca scop principal detectarea gesturilor prin analizarea activității electrice la nivel muscular, dar poate fi folosit și la controlarea protezelor, caz în care devine o interfață creier-calculator. Principalul avantaj oferit de MYO este că montarea acestuia nu necesită o intervenție chirurgicală ca în cazul OHMG, astfel eliminând riscurile din timpul operației. Cu toate acestea OHMG este recomandat pentru obținerea unui semnal electric mai bun.

Casca EPOC oferă o alternativă noninvazivă față de tehnologia BrainGate unde matricea de microelectrozi trebuie implantată pe cale chirurgicală pentru obținerea unui semnal mai bun de la creierul pacientului. În timp ce aceste tehnologii sunt folosite pentru citirea semnalelor electrice, tehnologia FES este folosită pentru stimularea mușchilor cu scopul prevenirii atrofiei acestora și cel de a asigura un stil de viață mai activ pentru pacienți.

Monitoarele stereoscopice asigură senzația de adâncime a câmpului cu ajutorul diferitelor tipuri de ochelari 3D. În timp ce această tehnologie asigură o singură perspectivă, monitoarele autostereoscopice pot asigura mai multe perspective diferite, unui număr mai mare de utilizatori fără a necesita purtarea echipamentelor speciale adiționale. Unele versiuni îmbunătățite de dispozitive autostereoscopice asigură date 3D volumetrice sub forma unor voxelii sau hogeli individuali în funcție de poziționarea elementelor imaginii. În unele cazuri speciale se poate folosi aerul (sau vapori de apă) ca suprafață de proiecție (de exemplu în cazul Heliodyisplay).

În scopul furnizării unui răspuns tactil pentru persoanele nevăzătoare, au fost create mai multe modele de terminale Braille, care utilizează un model de știfturi rotunjite pentru a simula răspunsul vizual. Această tehnologie a evoluat în continuare în dispozitive haptice (de exemplu, Geomagic Touch) pentru a asigura răspunsul tactil care nu este disponibil altfel în timpul vizualizării conținutului 3D.

Pe baza nevoilor specifice ale cercetătorilor, aceste tehnologii pot fi utilizate separat sau combinate pentru a oferi o imagine mai detaliată a modelelor 3D studiate și pentru a configura scenarii specifice de interacțiune cu utilizatorul.

Una dintre contribuțiile majore ale capitolului 2 este includerea unui studiu comparativ care grupează dispozitivele prezentate pe categorii, explică caracteristicile lor principale și utilizarea recomandată pentru dezvoltarea ulterioară, ajutând comunitatea de cercetare să identifice rapid soluțiile optime necesare pentru un anumit proiect.

**Capitolul 3** propune mai multe arhitecturi software pentru a sprijini activitatea zilnică a profesioniștilor din domeniul medical, pentru a facilita procesul de învățare a studenților din cadrul facultăților de medicină și pot fi generalizate în alte domenii, cum ar fi bioinformatica sau chimia.

Al treilea capitol descrie, de asemenea, un set de tehnologii software cu surse deschise utilizate de autorul tezei în diferite etape ale cercetării. Scopul și contribuția majoră adusă de aplicațiile dezvoltate pe baza acestor biblioteci este de a demonstra că cercetătorii pot realiza alternative viabile de software care nu depind de sistemele de operare pre-instalate sau de componentele software proprietare. Acest aspect este considerat unul important, care poate afecta bugetul și vizibilitatea multor proiecte de cercetare, astfel cum au fost discutate în [9] și [10].

În timpul cercetării, au fost propuse, proiectate, implementate și testate mai multe abordări pentru construirea unui sistem de vizualizare bazat pe navigatoare web, detaliate în cadrul tezei:

- Într-o primă abordare (mai mult teoretică) prezentată de autor în [11] și [12], a fost propus un sistem de asistență pentru diagnosticarea pacienților în timpul recuperării traumelor utilizând standarde cum ar fi WebRTC (Web Real-Time Communication) și biblioteci cu surse deschise cum ar fi JSARToolKit (JavaScript Augmented Reality Toolkit), ThreeJS și NanoDICOM. Ideea din spatele acestei aplicații a fost folosirea imaginilor DICOM ale pacienților pentru a crea un model 3D care poate fi suprapus peste zona anatomică studiată și să utilizeze WebRTC pentru a partaja imaginea augmentată cu un navigator web de la distanță. Prin atașarea virtuală a modelului 3D la imaginea în timp real a pacientului, modelul se poate roti în același mod ca și pacientul, oferind medicului o vedere rafinată digital. Principalul avantaj în timpul diagnosticării sau monitorizării pacienților este acela că alți colegi pot vedea aceeași imagine dintr-un navigator web aflat în altă locație fără a instala componente suplimentare de software în sistemul de operare local.
- A doua abordare a fost aceea de a utiliza și implementa rezultatele modulului teoretic, prin adaptarea sistemului la dispozitivele de urmărire a gesturilor și de a vizualiza modelul 3D cu ajutorul unui dispozitiv pseudo-holografic care oferă o interfață naturală cu utilizatorul. Controlerul Leap Motion a fost utilizat pentru interacțiunea cu aplicația prin gesturi și un dispozitiv autostereoscopic construit de autorul tezei pentru vizualizarea imaginilor pseudo-holografice. Rezultatele au fost prezentate de autor în [13] și [14].
- A treia abordare, care demonstrează posibilitățile de generalizare a modelelor și soluțiilor propuse, acestea au fost utilizate pentru construirea unui laborator virtual pentru studenții facultăților de medicină și chimie. În acest caz, aplicația GLmol (o aplicație de vizualizare a moleculelor scrisă în JavaScript) a fost extinsă prin adăugarea codului de urmărire a gesturilor folosind LeapJS și ThreeLeapControls ca interfață între cele două module care permit interacțiunea cu datele moleculare 3D redată. Rezultatele au fost publicate de autor în [15].

Capitolul 3 prezintă, de asemenea, un studiu comparativ al tehnologiilor software utilizate în timpul cercetării, a caracteristicilor acestora și a utilizării recomandate pentru diverse proiecte de cercetare.

Setul de instrumente NanoDICOM permite extragerea datelor imagistice relevante din fișierele DICOM, dar trebuie să fie instalat pe partea de server crescând timpul de execuție al aplicației, deoarece datele extrase trebuie trimise înapoi în navigator pentru vizualizare. O alternativă mai bună este oferită de CornerstoneJS (scris în JavaScript) care rulează în cadrul unui navigator web și are o componentă de încărcare a imaginii care permite manipularea imaginilor extrase. Ambele soluții pot beneficia de caracteristicile oferite de WebRTC care permite comunicarea directă între doi parteneri (navigatoare web) fără a instala plug-in-uri suplimentare sau componente software din surse terțe, reducând astfel costurile aplicației și simplificând arhitectura acesteia.

În timp ce JSARToolKit are nevoie de un marker fizic care să fie atașat la un obiect din lumea reală care trebuie urmărit în cadrul cadrelor video, ThreeLeapControls poate oferi o funcționalitate similară fără un marker prin legarea poziției mâinilor extrase cu LeapJS la obiectul virtual 3D(folosind ThreeJS ) într-o scenă 3D furnizată de WebGL afișată pe un element de canvas disponibil în HTML5.

Utilizarea bibliotecii LeapJS elimină în totalitate eventualele etape de calibrare suplimentare care sunt de obicei necesare în alte medii în care sunt folosite mai multe camere



pentru a extrage informații legate de adâncimea 3D provenind de la mai mulți utilizatori ai aplicației. Aceasta este o îmbunătățire majoră, deoarece mai mulți utilizatori pot interacționa cu aplicația în același timp fără a trebui să treacă printr-o fază de antrenament separată, care este necesară în aplicațiile mai vechi, pentru a face diferența între formele mâinilor fiecărui individ.

Cel de-al treilea capitol se încheie cu un studiu comparativ, bibliotecile open source și API-urile prezentate fiind o resursă valoroasă pentru fiecare echipă de dezvoltare care se confruntă cu provocarea de a construi o aplicație medicală bazată pe un navigator web. Aceste soluții software au o mare aplicabilitate în alte domenii în care interacțiunea bazată pe gest facilitează interacțiunea cu modele complexe 3D, după cum se demonstrează în cadrul tezei.

**Capitolul 4** al tezei descrie dezvoltarea unei aplicații de vizualizare DICOM bazate pe navigator care oferă posibilitatea de interacțiune bazată pe gesturi cu modelul 3D afișat al zonei anatomice studiate, fără a utiliza extensii de browser suplimentare sau plug-in-uri terțe. Chiar dacă există o mulțime de biblioteci cu surse deschise disponibile, aceasta nu este o sarcină trivială din cauza limitărilor privind timpul de execuție a scripturilor de pe partea client a unei aplicații software orientate spre web. Autorul tezei a dezvoltat în acest sens un algoritm de segmentare simplificată [12] care să poată extrage datele imagistice asociate din fișierele DICOM în timp util, înainte ca navigatorul să oprească execuția scriptului.

Aplicația numită simplu JSDV (JavaScript DICOM Viewer) se bazează pe bibliotecile cu surse deschise descrise în capitolul 3. Pentru a extrage datele imagistice din fișierele DICOM, autorul a folosit biblioteca CornerstoneJS. Aplicația JSDV obținută are următoarele funcționalități suplimentare:

- segmentarea imaginii cu prag variabil;
- colorare;
- salvarea secțiunilor individuale în sistemul de fișiere local în format PNG;
- reconstrucție multiplanară 3D bazată pe felii salvate;
- încărcarea unui set de felii salvate dintr-o sesiune anterioară;
- interacțiunea cu modelul 3D afișat fie cu mouse-ul, fie cu un controler LEAP Motion.

Capitolul 4 al tezei demonstrează că utilizatorii pot interacționa cu imaginile 3D afișate folosind simple gesturi, fapt care oferă o experiență îmbunătățită a utilizatorului în timpul interpretării imaginilor. Aplicația poate fi ușor adaptată pentru a fi utilizată împreună cu un dispozitiv pseudo-holografic prin redarea imaginii 3D într-o fereastră modală (disponibilă în Bootstrap). Abordarea bazată pe navigator permite implementarea codului pe orice sistem de operare fără a fi necesară instalarea unei mașini virtuale sau a oricăror extensii terțe în navigator.

Avantajele algoritmului de segmentare simplificat elaborat de autorul tezei se datorează faptului că trebuie să verifice numai un singur pixel învecinat, rezultând scăderea timpilor de execuție a script-urilor, un factor cheie care trebuie luat în considerare în timpul dezvoltării oricărei aplicații bazate pe navigator. Chiar dacă această abordare poate avea ca rezultat un contur brut al marginilor obținute acest neajuns poate fi depășit prin utilizarea unui prag variabil, așa cum este implementat în aplicație.

Noul algoritm de segmentare nu se limitează doar la imagini statice și ar putea fi utilizat și în alte domenii în care extragerea rapidă a caracteristicilor specifice din imagini ar putea fi esențială (de exemplu, supraveghere, industria auto și aerospațială). Viteza de execuție a unei aplicații care analizează mai degrabă cadrele video decât imaginile specifice ar crește considerabil, deoarece, în loc să verifice până la opt pixeli suplimentari pentru a stabili dacă un anumit pixel aparține zonei de interes, algoritmul curent trebuie să verifice doar unul singur.

Alte aplicații cu sursă deschisă, cum ar fi OsiriX [16] sau VolView [17], sunt de asemenea disponibile pentru vizualizarea fișierelor DICOM ale pacientului, totuși aceste aplicații depind de un sistem de operare instalat anterior, care, în unele situații, le-ar limita portabilitatea (de exemplu OsiriX rulează numai pe Mac OS X) și impune alte restricții financiare (de exemplu datorită licenței sistemului de operare). Nici unul dintre ele nu implementează interacțiunea bazată pe gesturi și nici nu oferă o interfață potrivită pentru vizualizare pe un dispozitiv pseudo-holografic.

Aplicația JSDV a fost testată în timpul cercetării de către numeroși voluntari, iar rezultatele au fost prezentate de autor în capitolul 6 al tezei.

**Capitolul 5** al tezei subliniază versatilitatea oferită de orice arhitectură de aplicații orientată spre surse deschise. Pentru a demonstra acest lucru, autorul tezei a extins aplicația web GLmol adăugând funcționalități suplimentare pentru mecanismul de interacțiune cu utilizatorul și le-a prezentat în [15]. Noile caracteristici de manipulare bazate pe gesturi sunt posibile datorită bibliotecii LeapJS disponibilă în mod deschis care poate fi interfațată cu GLmol utilizând ThreeLeapControls. În acest fel, aplicația funcționează atât cu un mouse clasic, cât și cu un controler LEAP Motion, dacă este disponibil, facilitând astfel manipularea de către utilizatori a structurilor moleculare 3D afișate.

GLmol este o aplicație de vizualizare 3D a moleculelor bazat pe client, care facilitează vizualizarea structurilor chimice stocate în baze de date disponibile în mod deschis (de exemplu, RCSB PDB, PubChem) în diferite formate de fișiere. GLmol are o licență dublă LGPL3 și MIT. Modelele chimice 3D redactate pot fi încorporate direct în paginile web, rezultând o experiență interactivă, care este foarte potrivită pentru laboratoarele virtuale.

După ce structura chimică 3D este afișată de aplicația GLmol, utilizatorul o poate roti, panorama și scala cu ajutorul unui mouse 2D. Această metodă de interacțiune poate fi îmbunătățită, prin adăugarea de funcții de urmărire a gesturilor în cadrul aplicației. Avantajul adăugării acestor extensii la GLmol este că aplicația va permite interacțiunea utilizatorului atât cu un mouse clasic, cât și cu un dispozitiv LEAP Motion, facilitând manipularea structurilor moleculare 3D redactate, care pot fi de asemenea vizualizate pe un dispozitiv pseudo-holografic

După cum arată capitolul 5, tehnologiile software descrise anterior reprezintă o soluție adecvată pentru dezvoltatori în orice alte domenii în care utilizatorii trebuie să interacționeze cu modele 3D complexe. Domenii asemănătoare ar putea include arhitectura, ingineria aeronautică sau simulatoare.

Contribuțiile originale ale autorului tezei, descrise în capitolul prezent, provin din adaptarea aplicației GLmol la interacțiunea bazată pe gesturi, care adaugă o nouă dimensiune interfeței utilizator.

În ultima parte a cercetării, prezentată în **capitolul 6**, ambele aplicații JSDV și GLmol LEAP au fost testate cu ajutorul unor anumite grupuri de utilizatori. Autorul tezei a început cu planuri separate de testare pentru fiecare aplicație. Aceste planuri de testare au inclus obiectivele testului de utilizabilitate, metodologia (echipamentele, caracteristicile participanților și procedurile folosite), descrierea sarcinilor, măsurătorile utilizabilității și obiectivele utilizabilității, așa cum ar trebui să fie organizate în conformitate cu [18]. Pentru planurile de testare, autorul tezei a utilizat un șablon [19] furnizat de Usability.gov un site administrat de divizia de comunicații digitale din cadrul Biroului Departamentului de Sănătate și Servicii Umane (HHS) al secretarului adjunct pentru afaceri publice al S.U.A.. Aceste șabloane servesc ca un model pentru un plan de testare, sunt disponibile în domeniul public și au fost adaptate de autorul tezei pentru ambele aplicații, deoarece au un caracter general. Fiecare plan de testare are 7 anexe care includ următoarele:

- Anexa 1 - un formular de consimțământ pe care fiecare participant la completat înainte

de testarea efectivă, în care a confirmat că participarea este voluntară și că a acceptat să participe la test. Pentru această anexă, autorul tezei a adaptat modelul furnizat de Usability.gov [20] pentru fiecare aplicație;

- Anexa 2 - un chestionar demografic privind vârsta, sexul, statutul profesional, experiența anterioară cu echipamentul și software-ul folosit pentru testare;
- Anexa 3 - un tabel care conține scenariile de activitate (descrierea sarcinii, ce trebuie să facă utilizatorul, criteriile de finalizare cu succes și timpul maxim de finalizare) utilizate de moderatorul testului în timpul testării;
- Anexa 4 - un tabel cu timpii de execuție a sarcinilor, utilizat de moderator pentru a înregistra timpul necesar pentru finalizarea fiecărei sarcini completate de participanți;
- Anexa 5 - un chestionar de utilizabilitate, care folosește scara Likert, inspirat de întrebările din chestionarul de măsurare a utilizabilității software-ului (SUMI) [21] adaptat separat pentru fiecare aplicație testată. Acest chestionar oferă răspunsuri privind metricile cantitative specifice fiecărei aplicații;
- Anexa 6 - un chestionar de evaluare a confortului în timpul folosirii mouse-ului, care folosește scara Likert, bazat pe ISO 9241-9 [22] și prezentarea standardului din [23]. Acest chestionar oferă răspunsuri privind unele metrici subiective privind ușurința utilizării mouse-ului în cadrul aplicației.
- Anexa 7 - un chestionar de evaluare a confortului în timpul folosirii dispozitivului Leap Motion, care folosește scara Likert, bazat pe ISO 9241-9 [22] și prezentarea standardului din [23]. Acest chestionar oferă răspunsuri privind unele metrici subiective privind ușurința utilizării dispozitivului Leap Motion în cadrul aplicației .

Pentru ambele aplicații, autorul tezei a folosit un dispozitiv 3D pseudo-holografic propriu, care a permis utilizatorului să aibă o reprezentare mai vie a modelului 3D afișat, rezultând o mai bună înțelegere a imaginilor studiate.

Testarea a urmat aceleași modele pentru ambele aplicații JSDV și GLmol LEAP. Autorul tezei a împărțit în ambele cazuri întreaga populație în eșantioane mai mici pentru comparație.

În ambele cazuri, rezultatele au arătat că interfața utilizator naturală a fost bine recepționată și a ajutat participanții să obțină rezultate mai bune chiar și atunci când utilizau un nou dispozitiv de urmărire a gesturilor, cum ar fi LEAP Motion.

Rezultatele testării aplicației GLmol LEAP au fost, de asemenea, încurajatoare și au oferit o opțiune viabilă pentru viitoarele laboratoare virtuale în care interacțiunea multimodală poate acționa ca o componentă cheie pentru diseminarea cunoștințelor legate de chimie..

Principalele contribuții identificate de autorul lucrării în **capitolul 7** sunt următoarele:

- Un studiu comparativ al ultimelor tehnologii hardware foarte util pentru diverse grupuri de cercetare în dezvoltarea unor interfețe multimedia noi.
- O analiză cuprinzătoare a tehnologiilor software actuale utilizate în diverse faze ale cercetării. Bibliotecile cu surse deschise și API-urile prezentate reprezintă un instrument valoros pentru fiecare cercetător care se confruntă cu dezvoltarea de alternative software viabile (așa cum demonstrează teza), care nu depind de sisteme de operare pre-instalate sau de componente software proprietare.
- Implementarea modulelor hardware și software studiate, care au dus la dezvoltarea unei aplicații de vizualizare a imaginilor asociate fișierelor DICOM. Această aplicație medicală bazată pe navigator furnizează o interfață obișnuită de utilizator 2D și o interfață 3D nouă, care permite utilizatorilor să interacționeze cu modele 3D obținute pe baza fișierelor DICOM ale pacienților, cu ajutorul gesturilor.

- Dezvoltarea unui nou algoritm de segmentare cu un prag variabil care îmbunătățește viteza de execuție și reduce în mod semnificativ zgomotul (care este de obicei prezent pe marginile imaginii), rezultând un contur neted, reglabil, al imaginilor extrase.
- Implementarea unui algoritm interactiv de colorare pe partea de client web care a fost utilizat pentru evidențierea tipurilor specifice de țesut în interiorul imaginilor 2D redade care au oferit o bază pentru reconstrucția 3D multiplanară a zonei anatomice studiate a pacientului.
- Actualizarea bibliotecii JavaScript ThreeLeapControls la cele mai noi funcționalități oferite de LeapJS v 0.6.4 și ThreeJS rev. 79. Noua versiune detectează numărul de degete individuale care sunt extinse și oferă interacțiunea bazată pe gesturi cu modelele 3D afișate în cadrul aplicațiilor JSDV și GLmol LEAP.
- Adaptarea unei aplicații de vizualizare a modelelor 3D moleculare la interacțiunea bazată pe gesturi. Noua versiune denumită de autorul tezei GLmol LEAP permite utilizatorilor să interacționeze cu structurile chimice 3D redade în modul său standard (cu mouse-ul 2D) și cu ajutorul unui dispozitiv LEAP Motion, dacă este disponibil, oferind posibilități extinse de interacțiune.
- Propunerea unei metodologii adecvate și testarea aplicației JSDV cu ajutorul unor grupuri specifice de utilizatori. Autorul lucrării a folosit fișiere DICOM disponibile public pentru evaluarea sistemului de vizualizare 3D dezvoltat. Rezultatele au fost analizate în capitolul 6 pentru a oferi detalii asupra performanței utilizatorului și a punctului de vedere al utilizatorilor privind ușurința de utilizare. Formularele utilizate în timpul testelor și datele colectate sunt disponibile în Anexa 1 a tezei.
- Evaluarea aplicației GLmol extinsă (GLmol LEAP) a fost făcută și cu ajutorul unor grupuri specifice de utilizatori prin utilizarea modelelor macromoleculare 3D disponibile în mod public. Metricile evaluate au furnizat răspunsuri privind performanța utilizatorilor și a punctului de vedere al utilizatorilor privind ușurința de utilizare. Rezultatele testelor sunt expuse și analizate în capitolul 6 al tezei. Formularele utilizate în timpul evaluării și datele colectate sunt disponibile în Anexa 2 a tezei.

Autorul consideră că rezultatele tezei adaugă cunoștințe formale și practice în ceea ce privește metodologia, algoritmi, implementarea și evaluarea diferitelor tehnologii hardware și software care reprezintă o componentă cheie în dezvoltarea aplicațiilor folosite pentru manipularea imaginilor pseudo-holografice folosind gesturi.

## BIBLIOGRAFIE

[1] R. H. Choplin, J. M. Boehme, 2nd, and C. D. Maynard, "Picture archiving and communication systems: an overview," *Radiographics*, vol. 12, no.1, 1992, pp. 127–129

[2] Digital Imaging and Communications in Medicine, available online at <http://dicom.nema.org/>, last accessed on 09.07.2016.



- [3] E. J. M. Monteiro, C. Costa, and J. L. Oliveira, "A DICOM Viewer based on Web Technology," IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), 2013, pp. 167-171
- [4] L.C. Ebert, G. Hatch, M.J. Thali, and S. Ross, "Invisible touch—Control of a DICOM viewer with finger gestures using the Kinect depth camera", Journal of Forensic Radiology and Imaging, vol. 1, issue 1, 2013, pp. 10-14
- [5] N. Rossol, I. Cheng, R. Shen and A. Basu, "Touchfree medical interfaces," 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), August 2014, pp. 6597 - 6600
- [6] C. Kirmizibayrak et al., "Evaluation of gesture based interfaces for medical volume visualization tasks," In Proceedings of the 10th International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry (VRCAI '11), 2011, pp. 69-74.
- [7] J. Congote et al., "Volume Ray Casting in WebGL," Computer Graphics, N. Mukai, ed., InTech, 2012, pp. 157-178
- [8] F. Steinicke, G. Bruder, K. Hinrichs, T. Ropinski, and M. Lopes, "3D User Interfaces for Collaborative Work," Human Computer Interaction, I. Pavlidis, ed., InTech, 2008, pp. 279-294.
- [9] L. Lopez Fernandez, M. Paris Diaz, R. Benitez Mejias, F. J. Lopez, J. A. Santos, "Kurento: a media server technology for convergent WWW/mobile real-time multimedia communications supporting WebRTC", IEEE 14th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM), 2013, pp. 1-6, doi:10.1109/WoWMoM.2013.6583507
- [10] K. R. Saikaew et al., "CT Image Management and Communication Services," Service Research and Innovation Institute Global Conference (SRII 12), 2012, pp. 660-666
- [11] I. Virag, L. Stoicu-Tivadar, E. Amaricai, "Browser-based medical visualization system," IEEE 9th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI, 2014), pp. 355-359, DOI: 10.1109/SACI.2014.6840092.
- [12] I. Virag, L. Stoicu-Tivadar, M. Crisan-Vida, E. Amaricai, "Server-side Image Segmentation and Patient Related Data Storage," Proceedings of the 6th International Workshop on Soft Computing Applications (SOFA, 2014), pp. 259-266, DOI: 10.1007/978-3-319-18296-4\_22
- [13] I. Virag, L. Stoicu-Tivadar, M. Crisan-Vida, "Gesture-Based Interaction in Medical Interfaces," IEEE 11th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI, 2016), pp. 519 - 523, DOI: 10.1109/SACI.2016.7507339
- [14] I. Virag, L. Stoicu-Tivadar, M. Crisan-Vida, "Client-side Medical Image Colorization in

a Collaborative Environment," *Studies in Health Technology and Informatics*, vol. 210: *Digital Healthcare Empowering Europeans*, R. Cornet et al. (Eds.), IOS Press, May 2015, pp. 904 – 908, DOI 10.3233/978-1-61499-512-8-904

[15] I. Virag, L. Stoicu-Tivadar, M. Crisan-Vida, "Gesture Interaction Browser-Based 3D Molecular Viewer," in *Unifying the Applications and Foundations of Biomedical and Health Informatics*, J. Mantas et al. (Eds.), series of *Studies in Health Technology and Informatics*, vol. 226, IOS Press, 2016, pp. 17 - 20, DOI 10.3233/978-1-61499-664-4-17

[16] OsiriX homepage, available online at <http://www.osirix-viewer.com/>, last accessed on 09.04.2017.

[17] VolView homepage, available online at <http://www.kitware.com/opensource/volview.html>, last accessed on 09.04.2017.

[18] J. Rubin, D. Chisnell, "Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests, 2nd Edition," Wiley Publishing Inc., 2008, ISBN: 978-0-470-18548-3

[19] Usability Test Plan Template, available online at <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/resources/templates/usability-test-plan-template.html>, last accessed on 10.04.2017

[20] Consent Form (Adult) Template, available online at <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/resources/templates/consent-form-adult.html>, last accessed on 10.04.2017

[21] J. Kirakowski, M. Corbett, "SUMI - The Software Usability Measurement Inventory," *British Journal of Educational Technology*, (1993) Volume 24, Issue 3, pp. 210-212, DOI: 10.1111/j.1467-8535.1993.tb00076.x

[22] ISO 9241-9:2000, "Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) -- Part 9: Requirements for non-keyboard input devices," available online at <https://www.iso.org/standard/30030.html>, last accessed on 11.04.2017

[23] I. Scott MacKenzie, "What is ISO 9241-9," presentation, available online at <https://pdfs.semanticscholar.org/f13f/1e47f528759fd992336ca2b08cca3072268f.pdf>, last accessed on 11.04.2017