

RAPORT ȘTIINȚIFIC

privind implementarea proiectului

MOTORSKILL: INTERACȚIUNI EFICIENTE CU ECRANE TACTILE ÎN CONDIȚII DE DIZABILITATE MOTORIE

în perioada august – decembrie 2017

Cod proiect	PN-III-P2-2.1-PED-2016-0688
Nr. contract	209PED/2017
Acronim	MotorSkill
Director proiect	Radu-Daniel VATAVU
Contractor	Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava str. Universității nr. 13 Suceava 720229 România
Site web	http://www.eed.usv.ro/mintviz/projects/MotorSkill/

Cuprins

INTRODUCERE ÎN TEMATICA PROIECTULUI	3
1. ANALIZA STADIULUI ACTUAL ÎN INTERACȚIUNEA GESTUALĂ, URMĂRIREA PRIVIRII, RECUNOAȘTEREA VORBIRII ȘI INTERFEȚELE BRAIN-COMPUTER CU INVESTIGAREA OPORTUNITĂȚII APLICATIVE PENTRU PERSOANELE CU DIZABILITĂȚI MOTORII	5
1.1 Aspecte privind nivelurile de încadrare și incidența dizabilităților motorii	5
1.2 Stadiul curent în interacțiunea cu calculatorul folosind interfețe gestuale, comenzi verbale, privire și interfețe BCI	8
2. IMPLEMENTARE APLICAȚII SOFTWARE DE ACHIZIȚIE A GESTURILOR DE ATINGERE, DATE PRIVIRE, COMENZI VERBALE ȘI ELECTROENCEFALOGRAFIE (EEG) ÎN VEDEREA DERULĂRII DE EXPERIMENTE ȘI COLECTĂRII DE DATE EXPERIMENTALE	12
3. ACHIZIȚIA DATELOR EXPERIMENTALE	14
4. ALTE ACTIVITĂȚI DESFĂȘURATE ÎN CADRUL PROIECTULUI	18
REFERINȚE	20



INTRODUCERE ÎN TEMATICA PROIECTULUI

Prezentul proiect de cercetare-dezvoltare își fixează următoarele obiective generale care reflectă multiplele fațete ale investigației noastre științifice, și anume *înțelegerea, proiectarea, implementarea și integrarea TRL-4* a unei noi tehnologii de asistare a persoanelor cu dizabilități motorii în vederea operării eficiente a dispozitivelor cu ecrane și interfețe bazate pe gesturi de atingere (en.: *touch gestures*):

- O1. Înțelegerea modului în care persoanele cu dizabilități motorii realizează gesturi pe dispozitive cu ecrane tactile, precum și înțelegerea legăturii dintre modul de realizare a gesturilor de atingere și coordonarea privirii, rostirea comenzilor verbale, respectiv forma electroencefalogramei (EEG) din timpul execuției gestuale.
- O2. Dezvoltarea de algoritmi eficienți pentru recunoașterea gesturilor efectuate pe dispozitive cu ecrane tactile de către persoanele cu dizabilități motorii prin folosirea informațiilor obținute din urmărirea privirii, recunoașterea comenzilor verbale și analiza electroencefalogramei (EEG).
- O3. Integrare software TRL-4 și validarea în laborator a tehnologiei dezvoltate pentru persoanele cu dizabilități motorii.

Proiectul pornește de la nivelul tehnologic TRL-2 (*i.e.*, un nou concept și o nouă aplicație au fost formulate privind îmbunătățirea interacțiunii prin gesturi pentru dispozitive cu ecrane tactile pentru persoanele cu dizabilități motorii folosind modalități adiționale de introducere a comenzilor) și își propune atingerea nivelului tehnologic TRL-4, *i.e.*, dezvoltarea de componente, integrarea acestora și validarea în condiții de laborator.

Membrii echipei de cercetare

Echipa proiectului este alcătuită din 7 membri:

1. Radu-Daniel Vatavu (Prof. univ. dr. ing.), Director de proiect
2. Ștefan-Gheorghe Pentiuc (Prof. univ. dr. ing.)
3. Ovidiu-Andrei Schipor (Conf. univ. dr. ing.)
4. Maria-Doina Schipor (Conf. univ. dr.)
5. Ovidiu-Ionuț Gherman (Asistent univ. dr. ing.)
6. Ovidiu-Ciprian Ungurean (dr. ing.)
7. Bogdan-Florin Gheran (drd. ing.)

Activitățile proiectului în perioada august – decembrie 2017

Activitățile de cercetare-dezvoltare ale proiectului (de tip A2 – Cercetare industrială) desfășurate în perioada august – decembrie 2017 fac parte din cadrul Etapei 1 având drept scop *“Înțelegerea execuției gesturilor de atingere pe ecrane tactile și a coordonării dintre gesturile de atingere, privire, comenzi verbale și electroencefalogramă (EEG) cu aplicații în interfețele gestuale destinate persoanelor cu dizabilități motorii”*, după cum urmează (vezi figura 1):

- Activitatea 1.1. Analiza stadiului actual în interacțiunea gestuală, urmărirea privirii, recunoașterea vorbirii și interfețele brain-computer cu investigarea oportunității aplicative pentru persoanele cu dizabilități motorii
- Activitatea 1.2. Implementare aplicații software de achiziție a gesturilor de atingere, date privire, comenzi verbale și electroencefalografie (EEG) în vederea derulării de experimente și colectării de date experimentale
- Activitatea 1.3. Achiziția datelor experimentale privind gesturile de atingere efectuate de persoane cu dizabilități motorii
- Activitatea 1.4. Achiziția datelor experimentale privind urmărirea privirii pentru persoanele cu dizabilități motorii
- Activitatea 1.5. Achiziția datelor experimentale privind comenzile verbale pentru persoanele cu dizabilități motorii
- Activitatea 1.6. Achiziția datelor experimentale privind electroencefalograma (EEG) persoanelor cu dizabilități motorii
- Activitatea 1.7. Adnotarea și analiza datelor experimentale

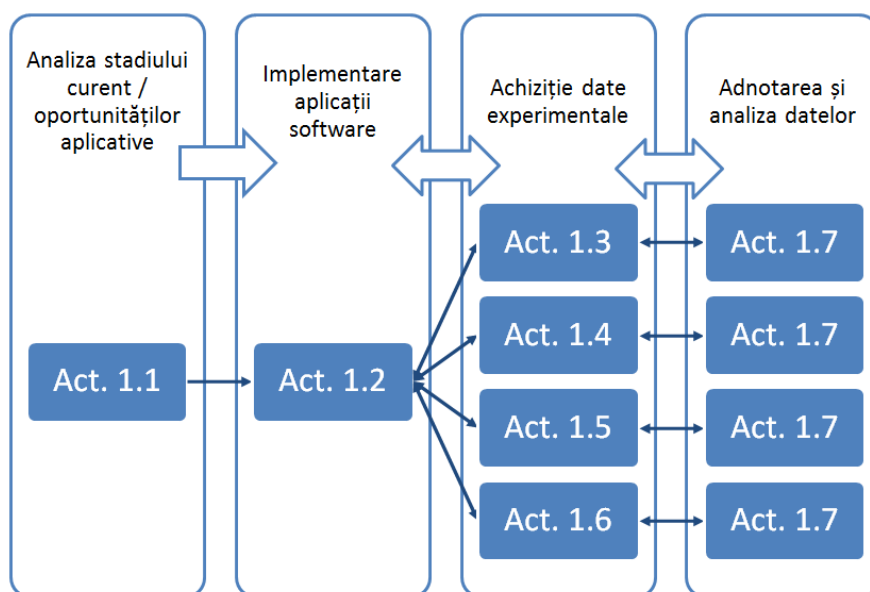


Figura 1. Diagrama înălțurii și interdependențelor dintre activitățile de cercetare-dezvoltare din cadrul etapei nr. 1 de implementare a proiectului.

Rezultate așteptate pentru perioada august – decembrie 2017

- Raport de cercetare
- Aplicație software pentru achiziția gesturilor de atingere, date privire, comenzi verbale și electroencefalogramă (EEG) în cadru experimental
- Pagina web a proiectului de cercetare-dezvoltare



1. ANALIZA STADIULUI ACTUAL ÎN INTERACȚIUNEA GESTUALĂ, URMĂRIREA PRIVIRII, RECUNOAȘTEREA VORBIRII ȘI INTERFEȚELE BRAIN-COMPUTER CU INVESTIGAREA OPORTUNITĂȚII APLICATIVE PENTRU PERSOANELE CU DIZABILITĂȚI MOTORII

1.1 Aspecte privind nivelurile de încadrare și incidența dizabilităților motorii

Dizabilitatea reprezintă imposibilitatea unei persoane de a întreprinde unele acțiuni în anumite circumstanțe, respectiv restricția sau pierderea, temporară sau permanentă, a capacității unei persoane de a realiza o anumită activitate. În prefața raportului World Health Organization privind dizabilitatea (WHO, 2011), Prof. Stephen W. Hawking subliniază importanța decisivă a experților în știința calculatoarelor în proiectarea și dezvoltarea de sisteme care i-au permis să trăiască și să muncească cu demnitate. La nivel mondial, dizabilitățile afectează aproximativ 1 miliard de oameni, dintre care 200 de milioane au dificultăți considerabile în întreprinderea diferitelor activități (WHO, 2011). Clasificarea internațională a funcționării, dizabilității și sănătății (International Classification of Functioning, Disability and Health) (ICF, 2001), operaționalizată prin intermediul WHO Disability Assessment Schedule (WHODAS, 2017), precizează trei aspecte care conduc la probleme de funcționare normală a individului: (a) *dizabilități de ordin fizic* care afectează funcțiile sau structura organismului uman, cum ar fi paralizia unor membre, (b) *limitări ale activității* reprezentând dificultăți în execuția anumitor activități, cum ar fi mersul, mâncatul, etc. și (c) *restricții de participare* constând în probleme legate de implicarea în aspectele vieții curente, cum ar fi discriminarea la angajare, accesul la facilitățile și serviciile de ordin public, etc. Din această perspectivă, dizabilitatea se referă la dificultățile întâlnite în ce privește aspectele menționate mai sus ca urmare a interacțiunii dintre condiția de sănătate și factorii conextuali legați de mediu (e.g., tehnologii, atitudini, servicii, suport, etc.) și personali (e.g., nivelul de motivare, gradul de stimă de sine). Astfel, dizabilitatea cade și sub incidența drepturilor omului (Quinn & Degener, 2002) datorită posibilității de apariție a inegalităților, afectarea demnității sau îngrădirea autonomiei.

Dizabilitatea motorie reprezintă a abilitate diminuată a unei persoane cu implicații directe asupra staticii, mobilității, gestualității, coordonării și echilibrului, capacității neurocognitive, comunicării și orientării, datorate afectării sistemului nervos central sau/și periferic. Dizabilitățile motorii pot fi clasificate ca având natură traumatică sau reprezentând un efect al unei condiții congenitale:

- *Dizabilitățile motorii provocate de traumatisme vertebro-medulare* (en.: *spinal cord injury*, SPI) pot avea drept efect paralizarea anumitor membre, cum ar fi cele inferioare (i.e., paraplegia) sau a tuturor membrelor (i.e., tetraplegia). Din punct de vedere statistic, media vârstei la care au loc leziunile medulare este de 32.4 ani, iar cauzele principale sunt accidente rutiere (44.5%), acte de violență (16.6%), căderile de la înălțime (19.4%) și incidentele sportive (10.9%) (DeVivo, 2012). În Statele Unite, incidența acestora este de 40 de cazuri la 1 milion de persoane, o estimare din 2012 evaluând numărul persoanelor afectate de SPI la 270.000 (Sci.facts, 2012). Din această categorie, doar persoanele afectate de pareze și plegii la nivelul membrelor superioare pot întâmpina dificultăți în utilizarea dispozitivelor cu ecrane tactile.

- Dintre *afecțiunile și condițiile congenitale* care duc la dizabilități motorii sau de vorbire asociate pot fi enumerate paralizia cerebrală, distrofia musculară, scleroza multiplă, scleroza laterală amiotrofică și artrita. *Paralizia cerebrală* se caracterizează printr-o leziune la nivel cerebral suferită în timpul sarcinii, la naștere, sau la scurt timp după naștere și se manifestă printr-o slabă coordonare a mișcărilor, o musculatură spastică sau rigidă, probleme de glutiție și vorbire. Prin urmare, mișcările reflexe involuntare și contracțiile musculare cauzate de paralizia cerebrală afectează operarea dispozitivelor mobile. Incidența acestei boli este de 2,11 cazuri la 1.000 de nașteri normale (Oskoui *et al.*, 2013). *Distrofia musculară* este o boală caracterizată prin degradarea progresivă a mușchilor determinată de o deficiență genetică a unei proteine numite distrofina. Distrofia musculară poate debuta la orice vârstă, dar apare cel mai adesea în timpul copilăriei, cu manifestări caracterizate prin contracții involutare ale musculaturii, scăderea forței musculare și afectarea aptitudinilor verbale. Incidența este scăzută, afectând doar 0,02% dintre nou-născuții vii de tip masculin (Romitti *et al.*, 2015). *Scleroza multiplă* se manifestă prin degradarea mielinei (stratul înconjurător al fibrelor nervoase), ceea ce duce la pierderea semnalelor trimise de sistemul nervos central către musculatură. Persoanele afectate de scleroză multiplă prezintă diverse simptome, cum ar fi amorțeală resimțită în membre, mișcări tremurate sau rigide, vorbire nedeșlușibilă, precum și tulburări de memorie, care pot varia sau alterna în timp. Răspândirea sclerozei multiple este de 400.000 de persoane doar în Statele Unite (Dilokthornsakul *et al.*, 2016) și de 2.1 milioane pe întreaga planetă. *Scleroza laterală amiotrofică* (en.: *Amyotrophic Lateral Sclerosis*, ALS, sau boala Lou Gehrig) este o boală degenerativă ce împiedică trimiterea impulsurilor nervoase de la neuroni către musculatură, care determină în timp slăbirea forței musculare, putând afecta chiar și mușchii care susțin procesul de respirație. Simptomatologia este caracterizată de încetinirea mișcărilor și a vorbirii. Scleroza laterală amiotrofică are o incidență de 1,89% în Europa și de 1,75% la nivel global (Marin *et al.*, 2016). *Artrita* reprezintă principala dizabilitate motorie în Statele Unite și afectează în principal persoanele de vârstă a III-a, cu toate că poate să apară și la persoane tinere, cu manifestări caracterizate prin pierderea acurateții mișcărilor membrelor, precum și dureri și deformări ale încheieturilor. Incidența este de 22,7% în Statele Unite, estimarea pentru anul 2040 prognozând o creștere cu 49% (Hootman *et al.*, 2016).

Manifestările clinice ale dizabilităților motorii sunt reprezentate de *pareze* (pierderea ușoară-medie a forței musculare), *plegii* (afectare severă a forței musculare cu pierderea contractilității), tulburări de coordonare, de limbaj (*afazii*) și/sau de vorbire, tulburări senzoriale majore sau tulburări neurocognitive de diferite intensități. În funcție de tipul și numărul membrelor afectate, se disting:

- Deficit motor al unui membru (*monoplegie* brahială sau crurală) cauzat de leziuni atât ale sistemului nervos central cât și periferic.
- Deficit motor al unui membru superior și al unuia inferior, de regulă de aceeași parte a corpului (*hemiplegie*) cauzat de leziuni localizate de regulă în sistemul nervos central.
- Deficit motor al membrelor inferioare (*paraplegie*) cauzat de leziuni ale sistemului nervos central, cel mai frecvent leziuni la nivelul măduvei spinării, dar și de leziuni ale sistemului periferic, cu deficit simetric sau asimetric.



- Deficit motor al tuturor membrelor (*tetraplegie*) determinat de leziuni de neuron motor periferic sau central.
- Deficit motor doar al membrelor superioare (*diplegia*), respectiv a trei membre (*tripareza*), forme mai rare decât precedentele.

În România, încadrarea în grad de handicap este stabilită conform prevederilor Ordinului nr. 762 din 31 august 2007 publicat în Monitorul Oficial nr. 885 bis din data de 27 decembrie 2007, conform Secțiunii III, *“Evaluarea persoanelor cu afectarea funcțiilor motorii (a staticii și mobilității - locomoției sau/și gestualității) în vederea încadrării în grad de handicap”* (vezi tabelul 1), cuprinzând afectarea funcțiilor motorii cu etiologie diversă: sechelele bolilor cerebrovasculare (în special accidente vasculare cerebrale), afecțiuni neurodegenerative (în special boala Alzheimer), posttraumatice, postinfecțioase sau postumorale, malformații congenitale, sechele după meningoencefalopatii infantile (paralizia cerebrală), tulburările de dezvoltare ale sistemului nervos, bolile metabolice genetice ale sistemului nervos central și periferic, sau neuropatiile motorii cronice severe periferice.

Tabel 1. Caracteristici ale categoriilor de dizabilități (MO 885/27.12.2007) conform cu afecțiunile sistemului nervos central și periferic.

Nivel de handicap	Caracteristici ale nivelului de handicap cf. MO 885/27.12.2007
Mediu	Deficit motor la un membru superior care afectează moderat mobilitatea, gestualitatea și prehensiunea. Dificultăți de coordonare și de manipulație neinfluențate de deficitul motor. Se pot asocia tulburări de limbaj de tip afazic predominant expresive (motorii) care permit o comunicare parțială și/sau tulburări neurocognitive ușoare/medii constante. Deficit motor care nu afectează desfășurarea activităților vieții cotidiene sau profesionale.
Accentuat	Persoanele din această categorie prezintă deficit motor total al unui membru superior care afectează activitatea profesională și cotidiană, asociat cu afectare funcțională a celuilalt membru toracic sau deficit motor bilateral moderat. Se pot asocia tulburări accentuate de coordonare, tulburări de limbaj de tip afazic care permit o comunicare parțială și/sau tulburări neurocognitive severe constante. Deficiență locomotorie accentuată (nu poate fi realizat mersul normal, nici chiar pe distanțe scurte).
Grav	Deficit grav de locomoție. Persoana nu se poate deplasa nici cu, nici fără sprijin, fiind dependentă de un mijloc de transport adecvat sau este imobilizată la pat. Persoanele din această categorie nu își pot îndeplini activitățile vieții cotidiene, necesită adaptări și accesibilizări importante pentru îndeplinirea activităților profesionale, nu se pot autoservi decât cu sprijin total sau parțial din partea unei alte persoane. Se pot asocia tulburări neurocognitive.

1.2 Stadiul curent în interacțiunea cu calculatorul folosind interfețe gestuale, comenzi verbale, privire și interfețe BCI

Specificul interacțiunii cu calculatorul presupune, în majoritatea covârșitoare a cazurilor, folosirea de mișcări ale mâinii (sau mâinilor) pentru a acționa diverse tipuri de dispozitive de intrare, *e.g.*, tastatură, mouse, ecran tactil, joystick, etc. Activitatea motorie a interacțiunii presupune efectuarea unei mișcări al cărei scop îl constituie, de regulă, atingerea unei ținte, care poate fi o tastă sau un buton, alegerea unei opțiuni dintr-un meniu, controlul unui scrollbar, selectarea unei porțiuni de text, etc. Mișcarea are loc fie într-un plan 2D (*e.g.*, la nivelul ecranului, prin intermediul cursorului de mouse), fie în plan 3D (de exemplu, în folosirea tastaturii, atingerea directă a unui ecran tactil, sau manipularea unui joystick). Conform modelului cibernetic descris de Flash și Hogan (1985), mișcarea orientată către o țintă presupune coordonarea traiectoriei mâinii astfel încât aceasta să poată atinge ținta eficient sau, în cazul țintelor mobile, să intersecteze traiectoria țintei (Helsen *et al.*, 2000; Gribble & Scott, 2002). În plus, întrucât țintele au suprafețe finite, de regulă de dimensiuni reduse, este nevoie de ajustări și reajustări repetate ale traiectoriei mâinii și poziției degetelor pentru a ghida și încadra mișcarea pe ținta vizată. Utilizarea unui dispozitiv intermediar de intrare, cum este mouse-ul sau tastatura, presupune o etapă suplimentară constând în apăsarea tastei specifice pentru a marca ținta sau, în cazul mișcărilor de tip drag & drop, menținerea apăsată a unui buton pe durata efectuării mișcării și eliberarea acestuia în momentul în care cursorul se află deasupra suprafeței de selecție a țintei (Sears *et al.*, 2002).

În cazul persoanelor cu dizabilități motorii, ambele componente ale mișcării, atât deplasarea mâinii cât și finalizarea acțiunii, pot prezenta provocări de diverse niveluri de dificultate. Studiile efectuate pentru înțelegerea acestora au arătat faptul că, în cazul persoanelor cu dizabilități motorii, apar frecvent depășiri ale suprafeței țintei sau alunecarea peste aceasta (Hwang *et al.*, 2004), iar 28% din click-urile de mouse conțin încă mișcări de deplasare (Trewin & Keates, 2006). Un studiu efectuat de Travin și Pain (1999) a identificat erorile care apar în cazul persoanelor cu paralizie cerebrală în trei sarcini specifice de interacțiune cu calculatorul: utilizarea tastaturii, a mouse-ului, respectiv a ambelor dispozitive concomitent. În cazul tastaturii, au fost observate șase tipuri de erori specifice, pe care le enumerăm în continuare în ordinea descrescătoare a frecvenței lor de apariției: (1) apăsări prelungi, (2) atingerea tastelor adiacente tastei țintă, (3) taste ratate, de exemplu prin apăsarea tastelor adiacente sau prin aplicarea unei forțe insuficiente de apăsare, (4) dificultăți de apăsare a tastelor multiple, cum ar fi combinațiile ce folosesc tasta „Shift”, (5) repetarea apăsării tastelor prin apăsarea accidentală de mai multe ori a tastei țintă, (6) apăsarea unor taste adiționale activate de părți ale corpului care ating de obicei partea de jos a tastaturii. În cazul mouse-ului, atingerea țintei se dovedește a fi o sarcină foarte dificilă, participanții cu dizabilități motorii având nevoie de un timp în medie de trei ori mai lung pentru a atinge țintele decât participanții fără dizabilități, iar 70% dintre aceștia au înregistrat erori mai mari de 10%, din care 40% cu erori de peste 20% (Travin & Pain, 1999). De asemenea, a fost observat faptul că 28% din click-urile de mouse conțin mișcări, precum și o tendință de a apăsa mai mult de o singură dată butonul mouse-ului (39% din cazuri pentru persoanele cu dizabilități motorii față de 8% în cazul grupului de control), în timp ce sarcinile de tip drag & drop solicită un timp de execuție semnificativ mai lung (40% dintre erori au implicat greșirea țintei în momentul eliberării butonului mouse-ului, 34% au



presupus eliberarea butonului de mouse înainte de atingerea țintei, 14% dintre erori s-au manifestat prin blocaje și renunțări, iar 11% au fost situații în care mișcarea a activat accidental funcția de scroll a ferestrei și a determinat scoaterea obiectului în afara acesteia).

Datorită versatilității și posibilităților de adaptare, dispozitivele cu ecrane tactile au devenit din ce în ce mai frecvent utilizate în diverse medii, interfețele gestuale înlocuind paradigmele anterioare de interacțiune cu calculatorul. Sarcina de bază o constituie atingerea sau deplasarea unei ținte iar modalitatea tactilă de interacțiune cu această țintă necesită o schimbare a modelului motor amintit anterior. Atingerea țintei presupune acum înlocuirea unei mișcări 2D (e.g., efectuată cu mouse-ul) cu o mișcare 3D, în cadrul căreia mâna utilizatorului se deplasează în aer în spațiul dintre utilizator și ecranul tactil. Degetul este extins pentru a atinge ținta, pentru a intersecta traiectoria acesteia, sau pentru a produce un gest cu o semnificație predeterminată (en.: *stroke-gesture*). Mișcarea finală specifică click-ului de mouse sau apăsării unei taste este înlocuită cu mișcări de tip *land-on* și *land-off* care solicită o coordonare motorie specifică. Prin raportarea la această particularitate a interacțiunii tactile, modelul cibernetic al coordonării ochi-mână surprinde diverse mecanisme neurocognitive (Flash & Hogan 1985, Helsen *et al.*, 2000; Gribble & Scott, 2002). Acest model poate evidenția totodată și strategiile de ajustare și reajustare a mișcării adoptate pentru a obține rezultatul dorit (Archambault *et al.*, 2015).

Deși utilizarea ecranelor tactile poate oferi mai multe grade de libertate persoanelor cu dizabilități motorii (Bajaj *et al.*, 2006) iar ecranele tactile sunt frecvent utilizate de persoanele din această categorie (Anthony, 2013; Kane *et al.* 2009; Montague *et al.* 2014; Naftali & Findlater, 2014), numeroase studii au evidențiat existența unor provocări ce necesită design corespunzător. Jin *et al.* (2007) au evidențiat efectul mărimii țintei și al spațierii dintre ținte asupra performanței persoanelor cu diverse grade de afectare a dexterității manuale. Duff *et al.* (2010) au adăugat acestor variabile și unghiul de poziționare a ecranului față de subiect, arătând diferențe semnificative în ce privește performanța de atingere în funcție de poziționarea paralelă sau frontală a ecranului tactil. Mott *et al.* (2016) au evidențiat existența în cazul persoanelor cu dizabilități motorii a unor erori medii în atingerea țintelor de peste 97 mm, față de eroarea de 4 mm în cazul persoanelor fără dizabilități raportată de Holz și Baudisch (2011). Această magnitudine a erorii este explicată prin două comportamente motorii observate în cazul persoanelor cu dizabilități: (1) atingerea prematură și accidentală a ecranului cu palma sau cu celelalte degete înainte de atingerea efectivă a țintei sau ridicarea prematură a degetelor sau palmei de pe ecran, respectiv (2) utilizarea ecranului ca suport pentru atingerea țintei sau părăsirea acesteia. Astfel, dacă Guerreiro *et al.* (2010) recomandă ținte care ar trebui să depășească 12 mm pentru a putea fi atinse eficient, Mott *et al.* (2016) sugerează dimensiuni care ar trebui să se situeze peste 2,31 cm. De asemenea, observațiile realizate de către Mott *et al.* (2016) au permis introducerea tehnicii SmartTouch, bazată pe algoritmul de recunoaștere a gesturilor ȘP (Vatavu *et al.*, 2012), pentru creșterea acurateții atingerii țintelor touch (e.g., butoane implementate soft la nivelul interfeței utilizator) de către persoanele cu dizabilități motorii. Un alt comportament specific utilizatorilor cu dizabilități motorii constă în atingerea ecranului în mai multe puncte în același timp (Trewin *et al.*, 2013, Mott *et al.*, 2016) datorită dificultăților întâmpinate la nivelul extensiei degetelor și coordonării mișcării în direcția țintei, ceea ce generează mai

multe evenimente de atingere detectate de ecranul tactil. De exemplu, o simplă atingere a unei ținte poate avea un tipar *multi-touch*, iar un gest ce poate fi efectuat doar dintr-o singură mișcare, va avea drept rezultat producerea unei mulțimi de puncte, ceea ce implică nevoia de a implementa algoritmi de analiză și recunoaștere a gesturilor dintr-o perspectivă *multi-touch* (Rekik *et al.*, 2014a, 2014b).

Pe lângă interacțiunea prin gesturi, o serie de alte modalități suplimentare pot fi utilizate pentru a introduce date și comenzi și interacționa cu sistemele informatice, cum ar fi limbajul natural (Cunha *et al.*, 2017; Norte & Lobo, 2007; Norte & Lobo, 2008), privirea (Majaranta & Răihä, 2002; Goldberg *et al.*, 2010; Vrzakova *et al.*, 2012; Velloso *et al.*, 2016), respectiv activitatea cerebrală (Hamadicharef *et al.*, 2010; Marchesi, 2012; Folgieri & Zampolini, 2015). În ce privește recunoașterea vorbirii, o serie de API (Application Programming Interface) cu performanțe foarte bune sunt disponibile astăzi, cum ar fi Google Speech API¹ cu acoperire a 110 limbi și dialecte, incluzând limba română, Microsoft Azure Bing Speech API², Mozilla Web Speech API³, sau soluții deja integrate în dispozitive interactive centrate pe detecția și recunoașterea gesturilor, cum ar fi Speech pentru senzorul Microsoft Kinect⁴ sau Voice Input pentru aplicațiile de realitate mixtă oferite prin intermediul dispozitivului Microsoft HoloLens⁵.

Într-o definiție simplă, tehnologia *eye tracking* presupune măsurarea mișcărilor ochilor utilizatorului în timpul interacțiunii cu un sistem informatic. Dispozitivele actuale bazate pe urmărirea privirii colectează date de la un senzor fix atașat de un ecran sau de la dispozitive mobile purtate de utilizatori sub forma de căști sau ochelari (Pupil Headset, 2017). Majoritatea dispozitivelor *eye tracker* disponibile astăzi includ două componente: o sursă de lumină, de regulă în domeniul infraroșu, și o cameră video care urmărește reflexia sursei de lumină împreună cu caracteristicile vizibile ale ochilor, cum ar fi pupilele. Aceste date sunt utilizate pentru obținerea de informații privind direcția privirii, frecvența clipitului, sau schimbările în diametru ale pupilelor utilizatorilor (Riche *et al.*, 2013). Analiza datelor, cu scopul de a cuantifica și caracteriza atenția vizuală a privitorului, presupune corelarea valorilor (x, y) ale privirii exprimate în coordonate ecran cu conținutul afișat de o interfață utilizator. De exemplu, direcționarea privirii către anumite zone ale ecranului poate fi examinată pentru identificarea elementelor interfeței care atrag atenția într-un mod predominant.

Aplicațiile analizei *eye tracking* sunt multiple, de la studii privind îmbunătățirea proiectării anumitor produse sau interfețe (Goldberg *et al.*, 2010; Vrzakova *et al.*, 2012), folosirea în jocuri (Velloso *et al.*, 2016), facilitarea lucrului în comun (Jermann *et al.*, 2012), controlul aplicațiilor de realitate augmentată și mixtă (HoloLens, 2017), inclusiv aplicații pentru persoane cu dizabilități cu design centrat pe particularitățile fiecărei aplicații în parte (Cerroloza *et al.*, 2012). Vatavu & Mancas (2014, 2015) au definit o serie de mărimi generale pentru aprecierea atenției vizuale a privitorului în contexte cu mai multe surse de conținut vizual care se află în competiție, cum ar fi timpul de descoperire a tuturor

¹ <https://cloud.google.com/speech/>

² <https://azure.microsoft.com/en-us/services/cognitive-services/speech/>

³ https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Speech_API

⁴ <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131034.aspx>

⁵ https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/voice_input



surselor, distanța totală parcursă de privire exprimată în unități fizice (e.g., metri), sau numărul de treceri prin anumite regiuni de interes. Întrucât în majoritatea cazurilor persoanele cu dizabilități motorii severe pot să își controleze privirea, dispozitivele și tehnicile eye tracking deschid noi posibilități interactive. Exemple de aplicații dezvoltate și investigate în cadrul comunității științifice sunt EyeDraw (Hornof *et al.*, 2005) pentru realizarea desenelor sau (Craig *et al.*, 2007) pentru controlul cursorului pe ecran. Pe piață sunt la acest moment disponibile comercial diverse produse și aplicații, cum ar fi EyeWorks și FX3⁶, Unmoove⁷, Tobii⁸, IMotions⁹, MyGaze¹⁰, sau Pupil Headset¹¹, propuse pentru diverse contexte de utilizare și scenarii aplicative.

Interfețele BCI (en.: *Brain-Computer Interface*) au fost pentru mult timp inaccesibile publicului larg deoarece necesitau echipamente costisitoare, greu de operat, de tip medical (Moore & Kennedy, 2000). În ultimii ani însă, miniaturizarea electronică și dezvoltarea tehnicilor de procesare și analiză a semnalelor au permis apariția de echipamente comerciale portabile, accesibile și non-invasive care oferă SDK/API necesare implementării de aplicații bazate pe analiza EEG. Astfel de dispozitive (e.g., Emotiv Insight sau EPOC+, NeuroSky MindWave, sau inițiativa OpenBCI¹²) permit analiza undelor EEG pentru a detecta diverse fenomene de interes (Hassib & Schneegass, 2015). În ultimul deceniu s-a observat un continuu progres (Wolpaw, 2012) în utilizarea interfețelor BCI în studii privind controlul dispozitivelor externe (atât pentru persoane cu și fără dizabilități), reabilitatea pacienților, comunicare și control (Hamadicharef *et al.*, 2010; Marchesi, 2012; Folgieri & Zampolini, 2015), noi paradigme de interacțiune cu calculatorul (Dollman *et al.*, 2015), etc. Tehnologia BCI oferă de asemenea unelte necesare pentru evaluarea stărilor mentale și emoționale ale utilizatorilor (Gonzalez-Sanchez *et al.*, 2011; Khushaba *et al.*, 2012; Dutta *et al.*, 2013; Taylor & Schmidt, 2016). Deși numeroase provocări încă există la nivelul acestei tehnologii (e.g., fiabilitatea și precizia sistemelor de achiziție sau dificultatea interpretării undelor EEG), potențialul este unul extrem de promițător (Swetha & Muneeswari, 2016). O aplicație de interes a interfețelor BCI vizează asistarea persoanelor cu dizabilități și augmentarea capabilităților acestora în vederea realizării diverselor acțiuni (Krishnaswamy & Kuber, 2012), cum ar fi exprimarea sau interacțiunea cu mediul (Caroll *et al.*, 2002; Goo *et al.*, 2005; Schuh *et al.*, 2014; Regina *et al.*, 2015) sau vizează restaurarea parțială a capabilităților pierdute (El-Shehaly *et al.*, 2013; Perego *et al.*, 2015). În plus, tehnologia BCI oferă unelte necesare pentru detecția stărilor mentale și emoționale ale persoanelor pentru a fi utilizate ca referință sau feedback pentru diverse cercetări și aplicații ce înglobează aspecte legate de controlul mental (Gonzalez-Sanchez *et al.*, 2011; Khushaba *et al.*, 2012; Dutta *et al.*, 2013; Taylor & Schmidt, 2016).

⁶ <http://www.eyetracking.com/>

⁷ <http://www.umoove.me/>

⁸ <https://tobiigaming.com/>

⁹ <https://imotions.com/eye-tracking/>

¹⁰ <http://www.mygaze.com/>

¹¹ <https://pupil-labs.com/pupil/>

¹² <http://openbci.com/>

2. IMPLEMENTARE APLICAȚII SOFTWARE DE ACHIZIȚIE A GESTURILOR DE ATINGERE, DATE PRIVIRE, COMENZI VERBALE ȘI ELECTROENCEFALOGRAFIE (EEG) ÎN VEDEREA DERULĂRII DE EXPERIMENTE ȘI COLECTĂRII DE DATE EXPERIMENTALE

În vederea achiziționării de date experimentale privind gesturile efectuate de către persoane cu și fără dizabilități motorii pe suprafețe tactile cu asistență din partea modalităților suplimentare (voce, privire, EEG), au fost proiectate și dezvoltate următoarele module software folosind limbajul C# și platforma .NET, Windows Presentation Foundation (WPF) pentru sistemul de operare Windows 8+:

- 1) Modul de achiziție a gesturilor de atingere efectuate pe ecrane *multi-touch*. Un gest de atingere este reprezentat sub forma unei mulțimi de puncte 2D ordonate cronologic, fiecare punct conținând informații privind coordonatele ecran ale atingerii (x, y), identificarea sa (id -ul segmentului (en.: *stroke*) din care face parte), respectiv momentul atingerii (T). Datele sunt salvate în fișiere XML în formatul ilustrat în figura 2.

```
1 <Gesture>
2   <Stroke id="26">
3     <Point T="63646856741171" X="269.50000" Y="312.70000" W="0.00000" H="0.00000" A="0.00000" />
4     <Point T="63646856741171" X="269.44000" Y="312.56000" W="0.00000" H="0.00000" A="0.00000" />
5     ...
6     <Point T="63646856741938" X="814.82000" Y="237.66000" W="0.00000" H="0.00000" A="0.00000" />
7     <Point T="63646856741940" X="815.10000" Y="237.50000" W="0.00000" H="0.00000" A="0.00000" />
8   </Stroke>
9 </Gesture>
```

Figura 2. Exemplu de fișier XML pentru stocarea gesturilor de atingere.

- 2) Modul de achiziție a comenzilor verbale articulate de utilizatori concomitent cu execuția gestuală. Comenzile verbale constau în secvențe de tip Acțiune (Verb) – Obiect (Complement), e.g., "deschide meniu" sau "confirmă acțiune" și sunt salvate sub forma de fișiere audio de tip WAV. Un exemplu este ilustrat în figura 3.

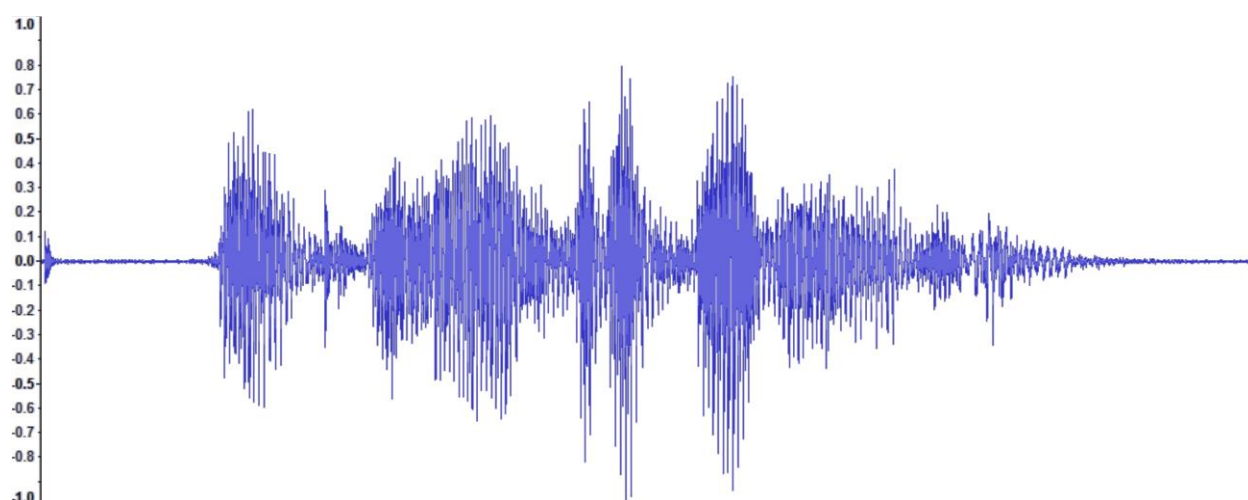


Figura 3. Forma de undă (aproximativ 2 secunde) pentru înregistrarea audio asociată comenzii verbale "Confirmă preferință".

- 3) Modul software de achiziție a datelor legate de privirea utilizatorului în timpul execuției gestuale, constând în coordonatele ecran x, y pentru fiecare ochi în parte, respectiv momentul achiziției (*timestamp*) necesar sincronizării datelor capturate de la diverse dispozitive. Datele de privire sunt salvate în fișiere XML în formatul ilustrat în figura 4.

```
1 <EyeTrackerData>
2   <EyeTrackerDataFrame timestamp="63646856740560"
3     left_gaze_x="265.17360" left_gaze_y="545.75440" right_gaze_x="265.17360" right_gaze_y="545.75440"
4     diam_left_eye="0.00000" diam_right_eye="0.00000"
5     left_eyePosition_X="-5.23500" left_eyePosition_Y="-18.87600" left_eyePosition_Z="570.36100"
6     right_eyePosition_X="53.49700" right_eyePosition_Y="-28.12700" right_eyePosition_Z="561.26800" />
7   <EyeTrackerDataFrame timestamp="63646856740623"
8     left_gaze_x="265.17360" left_gaze_y="333.18560" right_gaze_x="265.17360" right_gaze_y="333.18560"
9     diam_left_eye="0.00000" diam_right_eye="0.00000"
10    left_eyePosition_X="-5.97000" left_eyePosition_Y="-19.18900" left_eyePosition_Z="569.19100"
11    right_eyePosition_X="53.49700" right_eyePosition_Y="-28.12700" right_eyePosition_Z="561.26800" />
12   ...
13   <EyeTrackerDataFrame timestamp="63646856742792"
14     left_gaze_x="251.85987" left_gaze_y="543.52227" right_gaze_x="251.85987" right_gaze_y="543.52227"
15     diam_left_eye="0.00000" diam_right_eye="0.00000"
16     left_eyePosition_X="-10.09400" left_eyePosition_Y="-19.07700" left_eyePosition_Z="570.92500"
17     right_eyePosition_X="48.72300" right_eyePosition_Y="-30.31700" right_eyePosition_Z="559.25500" />
18   <EyeTrackerDataFrame timestamp="63646856742826"
19     left_gaze_x="97.64240" left_gaze_y="555.77600" right_gaze_x="97.64240" right_gaze_y="555.77600"
20     diam_left_eye="0.00000" diam_right_eye="0.00000"
21     left_eyePosition_X="-9.28600" left_eyePosition_Y="-18.85000" left_eyePosition_Z="570.25200"
22     right_eyePosition_X="49.43700" right_eyePosition_Y="-29.90300" right_eyePosition_Z="558.71500" />
23 </EyeTrackerData>
```

Figura 4. Exemplu de fișier XML pentru stocarea datelor legate de urmărirea privirii.

- 4) Modul software de achiziție a datelor privind electroencefalograma utilizatorului în timpul execuției gestuale, constând în informațiile furnizate de 14 canale EEG (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4) și momentul achiziției (*timestamp*) necesar sincronizării datelor capturate de la diverse dispozitive. Datele EEG sunt salvate în fișiere de tip XML în formatul ilustrat în figura 5.

```
1 <EEGData>
2   <EEGRawDataFrame timestamp="63646856740667" raw_cq="842.00000"
3     af3="4178.46154" f7="4126.66667" f3="4140.51282" fc5="4128.71795" t7="4114.87179" p7="4134.35897"
4     o1="4128.71795" o2="4127.17949" p8="4114.87179" t8="4132.82051" fc6="4148.20513" f4="4152.82051"
5     f8="4181.02564" af4="4156.41026" gyro="2020.00000" gyroy="2041.00000" />
6   <EEGRawDataFrame timestamp="63646856740675" raw_cq="892.00000"
7     af3="4174.87179" f7="4127.69231" f3="4141.53846" fc5="4130.76923" t7="4123.07692" p7="4123.07692"
8     o1="4133.84615" o2="4137.43590" p8="4133.33333" t8="4145.12821" fc6="4154.87179" f4="4154.35897"
9     f8="4185.12821" af4="4158.46154" gyro="2025.00000" gyroy="2035.00000" />
10   ...
11   <EEGRawDataFrame timestamp="63646856742831" raw_cq="807.00000"
12     af3="4212.30769" f7="4241.53846" f3="4213.33333" fc5="4244.61538" t7="4222.56410" p7="4221.02564"
13     o1="4227.69231" o2="4212.82051" p8="4177.43590" t8="4182.05128" fc6="4208.20513" f4="4192.30769"
14     f8="4154.35897" af4="4184.10256" gyro="2069.00000" gyroy="2051.00000" />
15   <EEGRawDataFrame timestamp="63646856742817" raw_cq="837.00000"
16     af3="4213.84615" f7="4241.53846" f3="4212.30769" fc5="4245.64103" t7="4226.66667" p7="4213.84615"
17     o1="4227.17949" o2="4217.94872" p8="4182.05128" t8="4188.20513" fc6="4216.92308" f4="4205.12821"
18     f8="4159.48718" af4="4190.76923" gyro="2068.00000" gyroy="2051.00000" />
19 </EEGData>
```

Figura 5. Exemplu de fișier XML pentru stocarea datelor EEG.

Cele patru module (gesturi, comenzi verbale, privire, EEG) au fost integrate în cadrul unei aplicații software Windows 8+ denumită MotorSkillExperiment, pentru care o diagramă a modulelor componente și funcționalității implementate este ilustrată vizual în figura 6.

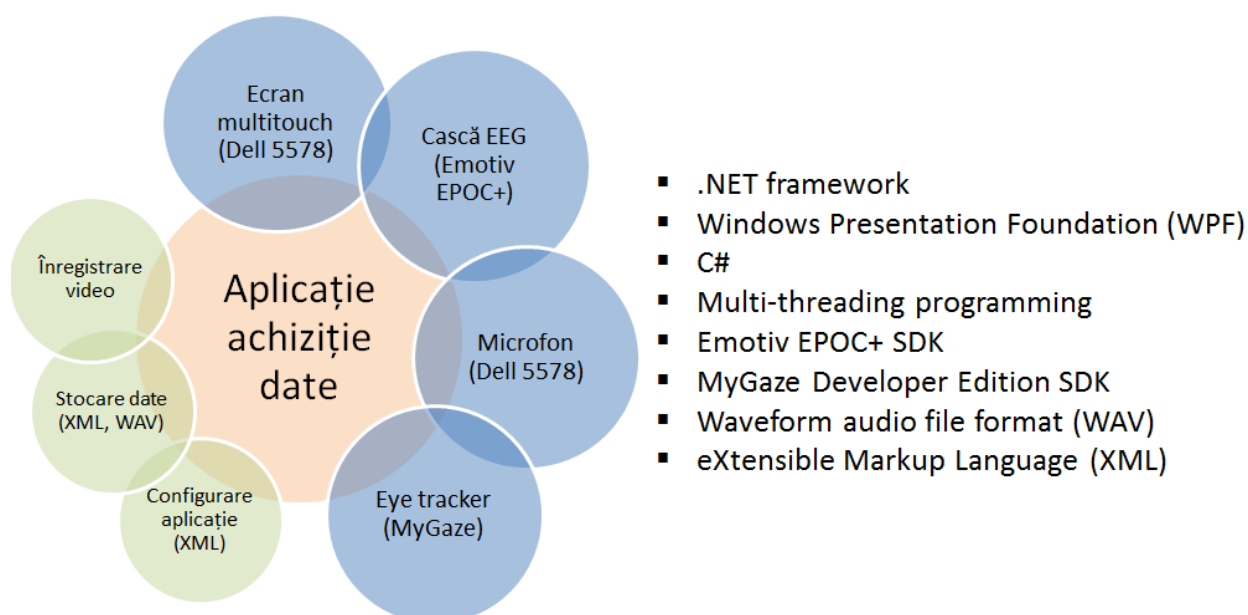


Figura 6. Diagrama modulelor software și funcționalității implementate de aplicația de achiziție a datelor experimentale (stânga) împreună cu principalele tehnologii folosite pentru implementare (dreapta).

3. ACHIZIȚIA DATELOR EXPERIMENTALE

Derularea experimentului privind achiziția datelor gestuale, comenzilor verbale, urmărirea privirii și a activității EEG s-a făcut cu respectarea procedurii Universității “Ștefan cel Mare” din Suceava privind etica în cercetarea științifică (procedura USV PO-04), respectiv cu obținerea acordului favorabil al Comisiei de Etică a universității privind organizarea și derularea de experimente și studii care implică subiecți umani. Următorii pași au fost realizați premergător derulării experimentului:

1. Obținerea acordului favorabil al Comisiei de Etică a universității.
2. Recrutarea participanților reprezentând atât persoane cu dizabilități motorii cât și persoane fără dizabilități (pentru constituirea unui grup de control).
3. Planificarea calendarului experimentului; validarea protocolului experimental și a aplicației software, precum și a conformității datelor înregistrate de diversele echipamente și dispozitive implicate în cadrul experimentului; prezentarea obiectivelor, tehnologiei și procedurii experimentale fiecărui participant și obținerea acordului de consimțământ al acestora privind participarea voluntară în cadrul experimentului.

Derularea propriu-zisă a experimentului de colectare a datelor constă în:

1. Completarea de către fiecare participant a unui formular pentru operaționalizarea variabilelor independente ale experimentului. Prin întrebări de tip alegere simplă sunt solicitate vârsta, genul, mediul de apartenență și nivelul de educație absolvit de către participanți. Experiența în folosirea anterioară a interfețelor gestuale și ecranelor tactile este stabilită prin intermediul unor întrebări cu răspunsuri furnizate folosind scale de tip Likert cu extensii de 5 puncte. De asemenea, sunt investigate percepția ușurinței utilizării dispozitivelor cu ecran tactil, confortul resimțit, plăcerea și eficiența autopercepută în timpul utilizării acestora. La finalul formularului se regăsesc itemii scalei de apreciere a autoeficienței percepute în utilizarea dispozitivelor cu ecrane tactile ca formă adaptată a scalei autoeficienței în utilizarea calculatorului (Christensen & Knezek, 1997), utilizând răspunsuri în 4 puncte.
2. Completarea de către fiecare participant a chestionarului de apreciere a afectelor pozitive și negative PANAS - Positive and Negative Affect Schedule (Watson *et al.*, 1988), constând în aprecierea nivelului de pozitivitate sau negativitate al stării emoționale resimțite în momentul administrării. Scala este alcătuită din două subscale diferite, una adresând afectele pozitive (cu 10 atribute) și o a doua vizând afectele negative (în număr egal, 10 atribute). Scala PANAS este aplicată atât în etapa premergătoare cât și în cea ulterioară desfășurării experimentului implicând efectuarea de gesturi pe ecrane tactile în scopul identificării stărilor emoționale ale participanților în aceste două etape și corelării acestora cu datele electroencefalogramei (EEG) colectate în cadrul experimentului propriu-zis.
3. Efectuarea de gesturi pe un ecran tactil *multi-touch* și colectarea simultană a datelor gestuale, înregistrarea audio a vorbirii, a datelor privind privirea și a semnalelor EEG.
4. Completarea de către fiecare participant a chestionarului de personalitate Eysenck (Eysenck & Eysenck, 1975, Barrett *et al.* 1998) pentru a investiga trăsături de personalitate care ar putea corela cu măsurătorile privind gesturile efectuate pe ecrane tactile. Personalitatea este investigată prin intermediul a 64 de întrebări bipolare vizând două coordonate temperamentale ale personalității: extroversiunea și nevrozismul.
5. Completarea unui formular cu 42 de itemi a Scalei stării de bine Ryff (Ryff & Keyes, 1995) care măsoară starea de bine individuală pe 6 dimensiuni: autonomie, gestionarea mediului, creștere personală, relații pozitive cu ceilalți, scopuri ale vieții și autoacceptare. Scopul aplicării acestei scale îl constituie relaționarea nivelului stării de bine individuale a fiecărui participant la nivelul celor 6 dimensiuni cu rezultatele măsurătorilor privind gesturile efectuate pe ecrane tactile.
6. Completarea Scalei de satisfacție a vieții (Diener, 1995) care investighează aprecierea nivelului stării de bine *globale* prin raportare la întreaga viață. Chestionarul este alcătuit din 5 itemi care evaluează această variabilă prin scale de 7 puncte.
7. Completarea Scalei de reziliență Connor-Davidson (2003) pentru a evidenția posibilele relații dintre performanțele obținute în timpul interacțiunii cu ecrane tactile și abilitatea de a face față situațiilor dificile prin diverse forme de adaptare la situațiile întâlnite.



8. Efectuarea unui test de evaluare a funcțiilor senzoriale a mâinii sub forma atingerii ritmice a degetelor (Yokoe *et. al.*, 2009). Testul evaluează dexteritatea degetelor prin două subteste – mișcarea simplă (*i.e.*, lovirea arătătorului de degetul mare) și mișcarea complexă (*i.e.*, degetul mare este lovit de fiecare deget în parte) în timpul cel mai scurt posibil.
9. Pentru participanții cu dizabilități motorii, investigația este completată de trei instrumente:
 - i. Un interviu structurat cu următoarele scopuri: (a) obținerea de informații generale despre diagnostic și percepția diagnosticului, (b) informații despre activitatea de recuperare, (c) preocuparea participantului pentru recuperare, (d) informații cu privire la ușurința, satisfacția și plăcerea utilizării tehnologiei, (e) principalele dificultăți întâmpinate în utilizarea tehnologiei, (f) strategiile de coping adoptate, (g) posibilități de ameliorare considerate de participanți, respectiv (h) motivele posibile ale preferințelor pentru dispozitivele cu ecrane tactile față de alte tehnologii.
 - ii. Completarea chestionarului de investigare a abilității manuale (Vandervelde, 2010). Instrumentul cuprinde 23 de itemi care măsoară capacitatea participanților de a executa diverse activități bimanuale.
 - iii. Testul Action Research Arm Test - ARAT măsoară gradul de funcționare motorie a mâinii în situație de afectare neuromusculară (Yozbatiran *et al.*, 2007). Testarea presupune efectuarea de către participanți a unor mișcări încadrate în următoarele categorii de funcționalitate: (a) apucare digito-palmară, (b) prindere digito-palmară, (c) apucare interdigitală, respectiv (d) coordonare motorie grosieră a mâinii.

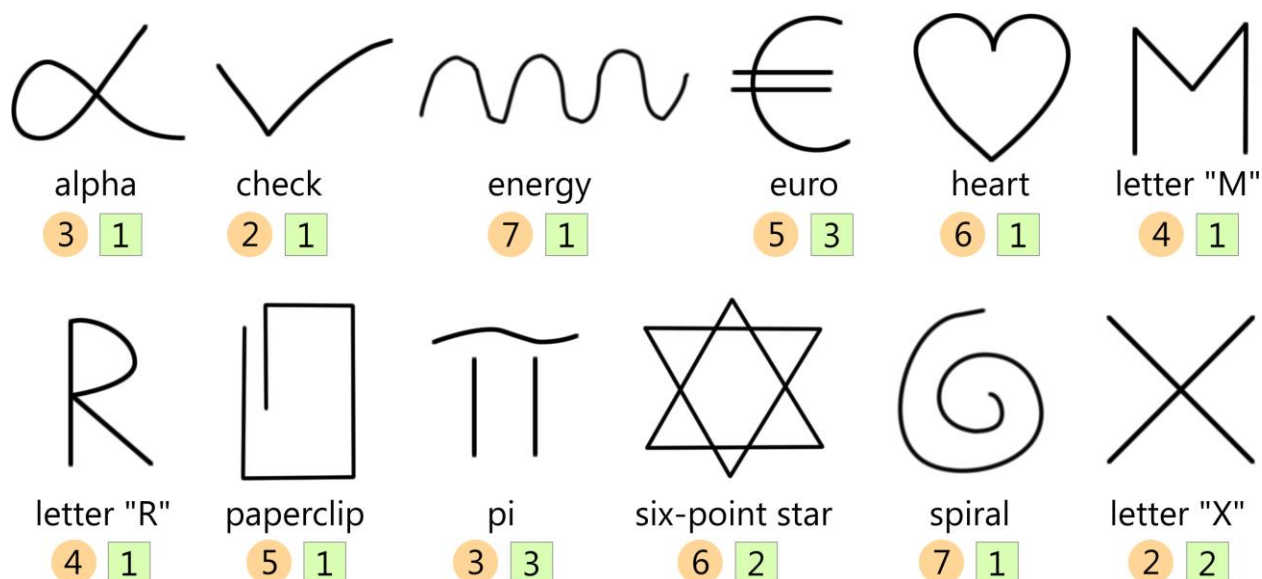


Figura 7. Setul de gesturi folosite pentru experimentul de achiziție a datelor. Numerele în cerc indică complexitatea geometrică a fiecărui gest. Numerele în dreptunghi indică numărul minim de componente (en.: *strokes*) necesare pentru efectuarea gestului, ca indicator al complexității de execuție.

Scopul principal al experimentului este de a colecta exemple de gesturi de atingere efectuate pe ecrane tactile. Prin urmare, alegerea tipurilor de gesturi din setul folosit pentru experimentul de achiziție a datelor (vezi figura 7) a fost realizată atent, considerând următoarele criterii:

1. *Complexitatea execuției*. Setul de gesturi conține atât gesturi care pot fi realizate dintr-o singură atingere (en.: *unistrokes*), cum ar fi simbolul “alpha” sau forma geometrică “spirală”, dar și gesturi care necesită cel puțin două componente ce presupun ridicarea/revenirea degetului de pe/pe suprafața tactilă pe durata execuției (en.: *multi-strokes*), cum ar fi simbolul “euro” sau forma geometrică “six-point star”. Numărul minim de atingeri (*strokes*) necesare realizării gesturilor variază între 1 și 3 ($M = 1.50$, $SD = 0.80$).
2. *Complexitatea geometrică*. Setul conține gesturi având complexități geometrice diferite. În acest sens, am folosit definiția (Isokoski, 2001) pentru a aprecia complexitatea formei geometrice a unui gest ca fiind numărul minim de linii drepte care permit realizarea formei respective astfel încât aceasta să poată fi recunoscută de către un observator uman. Complexitatea gesturilor alese pentru experiment variază între 1 și 7 ($M = 4.50$, $SD = 1.78$).
3. *Diversitatea tipurilor de gesturi*. Setul conține diverse categorii de simboluri grafice (4 gesturi), matematice (2), forme geometrice (3), respectiv litere ale alfabetului latin (3). Literele au fost alese pentru asocieri potențiale cu comenzi folosite frecvent în cadrul sistemelor informatice (e.g., M – meniu, R – repetă, X – închide, etc.) pentru a oferi suport, spre exemplu, conceptului de litere augmentate pentru implementarea de comenzi gestuale mnemonice (Roy *et al.*, 2013).

O modalitate complementară execuției gestuale investigată în cadrul prezentului proiect de cercetare-dezvoltare o constituie comenzile verbale enunțate de către utilizatori în corespondență cu gesturile de atingere efectuate pe dispozitivele cu ecrane tactile. Setul de comenzi verbale alese pentru experiment este alcătuit din propoziții scurte și simple de tip Acțiune (Verb) – Obiect (Complement), care pot fi rostite ușor și repede, dar care oferă totuși o paletă largă de acțiuni referite frecvent în interacțiunea cu sistemele informatice (vezi tabelul 1).

Tabelul 1. Setul de comenzi verbale folosite în timpul experimentului.

Navighează document	Repetă comandă	Verifică sănătate	Deplasează sus
Confirmă preferință	Finalizează plată	Configurează sistem	Mută jos
Deschide meniu	Calculează rezultat	Derulează conținut	Mergi dreapta
Închide aplicație	Grupează obiecte	Anulează acțiune	Sari stânga

Echipamentele folosite pentru achiziția datelor:

- Laptop/tabletă (de tip 2 în 1) Dell Inspiron 5578 cu ecran *multi-touch* (10 puncte de atingere detectate simultan) de dimensiune 15.6 inch, rezoluție 1920×1080 și 141 ppi.
- Eye tracker MyGaze Developer Edition cu o frecvență a cadrelor de 30Hz, acuratețe în estimarea poziției privirii (gaze position accuracy) de 0.5°, respectiv rezoluție spațială (RMS) 0.1°.

- Cască neuronală Emotiv EPOC+ cu 14 canale EEG (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4), rezoluție de 14 biți pentru fiecare canal, frecvență a cadrelor de 128 pe secundă, lățime de bandă 0.2-43Hz, comunicație wireless.

Figura 8 ilustrează două fotografii capturate în timpul derulării experimentului.

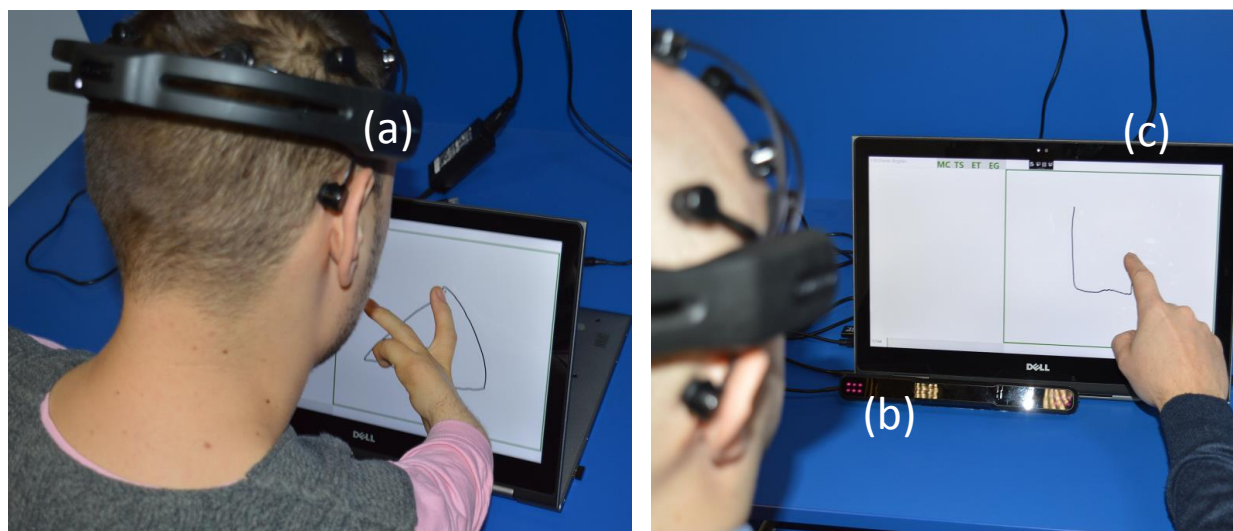


Figura 8. Fotografii capturate în timpul derulării experimentului de achiziție a datelor de la o persoană cu dizabilități motorii (stânga), respectiv fără dizabilități (dreapta). Imaginile ilustrează și aparatura folosită în cadrul experimentului: casca Emotiv Epoc+ pentru semnale EEG (a), dispozitivul de urmărire a privirii MyGaze (b), respectiv ecranul *multi-touch* Dell 5578 (c).

Activitățile de achiziție și analiză a datelor continuă până la data de finalizare a etapei curente (sfârșitul lunii decembrie 2017), urmând ca baza de date colectată să fie făcută publică în comunitatea științifică prin intermediul paginii web a proiectului de cercetare-dezvoltare, în conformitate cu obiectivele acestui proiect și cu specificul activităților din planul de realizare pentru următoarea perioadă.

4. ALTE ACTIVITĂȚI DESFĂȘURATE ÎN CADRUL PROIECTULUI

În primele luni de implementare a proiectului de cercetare-dezvoltare, au fost desfășurate următoarele activități specifice de management:

- Îndeplinirea formalităților legale pentru angajarea membrilor echipei proiectului, membri care au fost nominalizați din cadrul personalului propriu al Universității “Ștefan cel Mare” din Suceava, conform propunerii proiectului și prevederilor contractuale. Echipa proiectului constă în 7 membri, dintre care 6 dețin titlul de doctor (2 membri au calitatea de conducător de doctorat în domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației) și un doctorand în Calculatoare și Tehnologia Informației.
- Identificarea și folosirea optimă a echipamentelor din infrastructura de cercetare a Laboratorului de Cercetare în Mașini Inteligente și Vizualizarea Informației (MintViz) din cadrul Universității “Ștefan



cel Mare” din Suceava, cum ar fi dispozitivul eye tracker fix de tip MyGaze¹³ sau casca neuronală Emotiv Epoc+¹⁴ pentru achiziția semnalelor EEG, pentru a permite desfășurarea activităților de implementare a aplicațiilor software și achiziție a datelor cu respectarea, fără întârzieri, a planului de realizare a proiectului de cercetare-dezvoltare.

- Îndeplinirea formalităților privind achiziția echipamentelor adiționale de cercetare, de ultimă generație, necesare pentru implementarea activităților din proiect și obținerii de rezultate științifice relevante, constând în dispozitive cu ecrane tactile *multi-touch* de diferite dimensiuni și pentru diverse contexte de utilizare (Dell Inspiron 5578¹⁵, Samsung Gear S3¹⁶), un echipament de tip eye tracker mobil ce poate fi purtat (Pupil Headset¹⁷), senzori pentru colectarea datelor privind mișcarea mâinii și a degetelor (Perception Neuron Lite¹⁸), respectiv echipamente de stocare a datelor (HDD extern și card memorie) pentru arhivarea fișierelor imagine și video rezultate ca urmare a înregistrării desfășurării experimentelor și studiilor planificate în cadrul acestui proiect.
- Inițierea de colaborări cu echipe de cercetare externe Universității “Ștefan cel Mare” din Suceava având interese comune de investigație științifică în ceea ce privește interacțiunea om-calculator, proiectarea și implementarea interfețelor gestuale și interacțiunea cu dispozitive mobile. Notabilă în acest sens este inițierea unei colaborări cu Prof. Réjean Plamondon (Polytechnique Montréal, Canada), recunoscut pentru activitatea sa în domeniul modelării mișcării umane pentru producerea gesturilor, *i.e.*, teoria Kinematic Theory of Rapid Human Movements (Plamondon, 1995a; 1995b). De asemenea, continuarea colaborării cu Dr. Luis A. Leiva și Dr. Daniel Martín-Albo (Sciling, Valencia și Universitat Politècnica de València, Valencia) privind caracterizarea cantitativă și analiza gesturilor efectuate pe ecrane tactile. Un articol realizat și redactat împreună cu Dr. Luis A. Leiva, Dr. Daniel Martín-Albo și Prof. Rejean Plamondon se află în acest moment în evaluare.
- Îndeplinirea formalităților legale privind organizarea deplasării personalului proiectului în vizite de lucru cu scopul de a iniția noi colaborări științifice în vederea îndeplinirii obiectivelor proiectului de cercetare-dezvoltare cu impact maxim în comunitatea științifică internațională relevantă, în special ACM SIGCHI (Association for Computing Machinery – Special Interest Group on Computer-Human Interaction).
- Pregătirea și redactarea documentației necesare în vederea obținerii acordului Comisiei de Etică a Universității “Ștefan cel Mare” din Suceava, în conformitate cu procedura operațională USV PO-04 privind derularea de experimente științifice și colectarea de date experimentale de la subiecți umani, în special de la persoane cu dizabilități motorii. Experimentele și studiile planificate în proiect au primit acordul favorabil al Comisiei de Etică.

¹³ <http://www.mygaze.com/>

¹⁴ <https://www.emotiv.com/epoc/>

¹⁵ <http://www.dell.com/support/home/us/en/04/product-support/product/inspiron-15-5578-2-in-1-laptop/manuals>

¹⁶ <http://www.samsung.com/global/galaxy/gear-s3/>

¹⁷ <https://pupil-labs.com/pupil/>

¹⁸ <https://neuronmocap.com/content/product/perception-neuron-lite>

- Împlicarea activă a doctoranzilor și tinerilor cercetători (doctori) alături de cercetători cu experiență din echipa proiectului în cadrul activităților de cercetare-dezvoltare specifice implementării proiectului în această perioadă, asigurând astfel pregătirea continuă în cercetare prin creșterea experienței, domeniului de cunoaștere, expertiză tehnică și capacităților de investigație științifică a membrilor laboratorului de cercetare în Mașini Inteligente și Vizualizarea Informației (MintViz) al Universității “Ștefan cel Mare” din Suceava.
- Realizarea site-ului web al proiectului de cercetare-dezvoltare, funcțional și disponibil la adresa: <http://www.eed.usv.ro/mintviz/projects/MotorSkill>

În conformitate cu activitățile desfășurate, rezultatele tehnice și științifice obținute în perioada august – decembrie 2017 descrise în prezentul raport de cercetare, deplasările efectuate, colaborările realizate, precum și în conformitate cu activitățile de management întreprinse în această perioadă, considerăm obiectivele proiectului pentru perioada august – decembrie 2017 îndeplinite în procent de 100%.

REFERINȚE

- (Anthony *et al.*, 2013) Anthony, L., Kim, Y., & Findlater, L. (2013). Analyzing user-generated youtube videos to understand touchscreen use by people with motor impairments. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM Press, 1223–1232. <https://doi.org/10.1145/2470654.2466158>
- (Archambault *et al.*, 2015) Archambault, P. S., Ferrari-Toniolo, S., Caminiti, R., & Battaglia-Mayer, A. (2015). Visually-guided correction of hand reaching movements: the neurophysiological bases in the cerebral cortex. *Vision Research* 110, 244-256. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.09.009>
- (Bajaj *et al.*, 2006) Bajaj, K., Mirka, G. A., Sommerich, C. M., & Khachatoorian, H. (2006). Evaluation of a redesigned self-checkout station for wheelchair users. *Assistive Technology* 18(1), 15-24. <https://doi.org/10.1080/10400435.2006.10131903>
- (Barrett *et al.*, 1998) Barrett, P. T., Petrides, K. V., Eysenck, S. B., & Eysenck, H. J. (1998). The Eysenck Personality Questionnaire: An examination of the factorial similarity of P, E, N, and L across 34 countries. *Personality and Individual Differences*, 25(5), 805–819. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(98\)00026-9](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(98)00026-9)
- (Carroll *et al.*, 2002) Carroll, K., Schlag, C., Kirikci, O., Moore, M. (2002). Communication by neural control. In *Proceedings of CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '02)*. ACM, New York, NY, USA, 590-591. <http://dx.doi.org/10.1145/506443.506498>
- (Cerroloza *et al.*, 2012) Cerroloza, J.J., Villanueva, A., Villanueva, M., Cabeza, R. (2012). Error characterization and compensation in eye tracking systems. In *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications (ETRA '12)*. ACM, New York, NY, USA, 205-208. <https://doi.org/10.1145/2168556.2168595>
- (Connor & Davidson, 2003) Connor, K. M., & Davidson, J. R. (2003). Development of a new resilience scale: The Connor-Davidson resilience scale (CD-RISC). *Depression and Anxiety*, 18(2),



- 76–82. <https://doi.org/10.1002/da.10113>
- (Craig *et al.*, 2007) Craig A. Chin, Armando Barreto, Gualberto Cremades, and Malek Adjouadi. (2007). Performance analysis of an integrated eye gaze tracking / electromyogram cursor control system. In *Proceedings of the 9th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (Assets '07)*. ACM, New York, NY, USA, 233-234. <http://dx.doi.org/10.1145/1296843.1296888>
- (Christensen & Knezek, 1997) Christensen, R., & Knezek, G. (1997). Internal consistency reliabilities for 14 computer attitude scales. *Technology and Teacher Education Annual*, 2, 877-880. <https://www.learntechlib.org/p/8041/>
- (Cunha *et al.*, 2017) Emerson Barbosa da Cunha, Daniella Dias Cavalcante da Silva, and César Rocha Vasconcelos. (2017). Enabling Full Interaction with the Android System and Applications through Speech Recognition. In *Proceedings of the 23rd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web (WebMedia '17)*. ACM, New York, NY, USA, 497-500. <https://doi.org/10.1145/3126858.3131581>
- (DeVivo, 2012) DeVivo, Michael J. (2012). Epidemiology of traumatic spinal cord injury: trends and future implications. *Spinal Cord* 50(5), 365-372. <http://dx.doi.org/10.1038/sc.2011.178>
- (Diener *et al.*, 1985) Diener, E.D., Emmons, R.A., Larsen, R.J., Griffin, S. (1985). The satisfaction with life scale. *Journal of Personality Assessment*, 49(1), 71–75. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa4901_13
- (Dilokthornsakul *et al.*, 2016) Dilokthornsakul, P., Valuck, R.J., Nair, K.V., Corboy, J.R., Allen, R.R., Campbell, J.D. (2016). Multiple sclerosis prevalence in the United States commercially insured population. *Neurology*, 86(11), 1014-1021. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002469>
- (Dollman *et al.*, 2015) Dollman, G.J., De Wet, L., Beelders, T.R. (2015). Commercial Brain Computer Interface: Potential as a Natural User Interface. In *Proceedings of the 2015 Annual Research Conference on South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists (SAICSIT '15)*, Richard J. Barnett, Loek Cleophas, Derrick G. Kourie, Daniel B. le Roux, and Bruce W. Watson (Eds.). ACM, New York, NY, USA, Article 13. <http://dx.doi.org/10.1145/2815782.2815797>
- (Duff *et al.*, 2010) Duff, S.N., Irwin, C.B., Skye, J.L., Sesto, M.E., & Wiegmann, D.A. (2010). The effect of disability and approach on touch screen performance during a number entry task. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 54, No. 6, pp. 566-570). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications. <https://doi.org/10.1177/154193121005400605>
- (Dutta *et al.*, 2013) Dutta, A., Kumar, R., Malhotra, S., Chugh, S., Banerjee, A., Dutta, A. (2013). A Low-Cost Point-of-Care Testing System for Psychomotor Symptoms of Depression Affecting Standing Balance: A Preliminary Study in India. In *Depression Research and Treatment*, Hindawi Publishing Corporation. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/640861>
- (El-Shehaly *et al.*, 2013) El-Shehaly, M., Zeitz, K., Zeitz, R., Logan, K., Tao, C., Kim, J.-S., Gračanin, D., White, S.W., Richey, J.A. (2013). A VR based intervention tool for autism

- spectrum disorder. In *Proceedings of the 18th International Conference on 3D Web Technology (Web3D '13)*. ACM, New York, NY, USA, 216-216.
<https://doi.org/10.1145/2466533.2466574>
- (Eysenck & Eysenck, 1975) Eysenck, H.J., Eysenck, S.B.G. (1975). *Manual of the Eysenck Personality Questionnaire (junior and adult)*. Hodder and Stoughton.
<http://www.worldcat.org/title/manual-of-the-eysenck-personality-questionnaire-junior-and-adult/oclc/222414387>
- (Flash & Hogan, 1985) Flash, T., Hogan, N. (1985). The coordination of arm movements: an experimentally confirmed mathematical model. *Journal of Neuroscience*, 5(7), 1688-1703. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4020415>
- (Folgieri & Zampolini, 2015) Folgieri, R., Zampolini, R. (2015). BCI Promises in Emotional Involvement in Music and Games. In *Magazine Computers in Entertainment (CIE) – Theoretical and Practical Computer Applications in Entertainment*. ACM, New York, NY, USA, Article 4 <http://dx.doi.org/10.1145/2582193.2633447>
- (Goldberg et al., 2010) Goldberg, J.H., Helfman, J.I. (2010). Comparing information graphics: a critical look at eye tracking. In *Proceedings of the 3rd BELIV'10 Workshop: BEyond time and errors: novel evaluation methods for Information Visualization (BELIV '10)*. ACM, New York, NY, USA, 71-78. <https://doi.org/10.1145/2110192.2110203>
- (Gonzalez-Sanchez et al., 2011) Gonzalez-Sanchez, J., Chavez-Echeagaray, M.E., Atkinson, R., Burleson, W. (2011). ABE: An Agent-Based Software Architecture for a Multimodal Emotion Recognition Framework. In *Proceedings of the 9th Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture (WICSA)*, Boulder, CO, USA.
<https://doi.org/10.1109/WICSA.2011.32>
- (Goo et al., 2005) Goo, J., Suh, D., Cho, H.S., Park, K.S., Hahn, M. (2005). A BCI based virtual control testbed for motion disabled people. In *Proceedings of the 2005 international conference on Augmented tele-existence (ICAT '05)*. ACM, New York, NY, USA, 283-283. <http://dx.doi.org/10.1145/1152399.1152473>
- (Gribble & Scott, 2002) Gribble, P.L., Scott, S.H. (2002). Overlap of internal models in motor cortex for mechanical loads during reaching. *Nature*, 417(6892), 938-941.
<http://dx.doi.org/10.1038/nature00834>
- (Guerreiro et al., 2010) Guerreiro, T., Nicolau, H., Jorge, J., Gonçalves, D. (2010). Towards Accessible Touch Interfaces. In *Proceedings of the 12th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. New York, NY, USA: ACM, 19-26.
<https://doi.org/10.1145/1878803.1878809>
- (ICF, 2001) World Health Organization. (2001). The International Classification of Functioning, Disability and Health. <http://www.who.int/classifications/icf/en/>
- (Hamadicharef et al., 2010) Hamadicharef, B., Xu, M., Aditya, S. (2010). Brain-Computer Interface (BCI) Based Musical Composition. In *Proceedings of the 2010 International Conference on Cyberworld (CW '10)*. IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 282-286. <http://dx.doi.org/10.1109/CW.2010.32>
- (Hassib & Schneegass, 2015) Hassib, M. Schneegass, S. (2015). Brain Computer Interfaces for Mobile



- 2015) Interaction: Opportunities and Challenges. In *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct (MobileHCI '15)*. ACM, New York, NY, USA, 959-962. <http://dx.doi.org/10.1145/2786567.2794309>
- (Helsen *et al.* 2000) Helsen, W. F., Elliott, D., Starkes, J. L., & Ricker, K. L. (2000). Coupling of eye, finger, elbow, and shoulder movements during manual aiming. *Journal of Motor Behavior*, 32(3), 241-248. <https://doi.org/10.1080/00222890009601375>
- (HoloLens, 2017) HoloLens. (2017). <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>
- (Holz & Baudisch, 2011) Holz, C., & Baudisch, P. (2011). Understanding Touch. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM, 2501–2510. <https://doi.org/10.1145/1978942.1979308>
- (Hornof *et al.*, 2005) Hornof, A.J., Cavender, A. (2005). EyeDraw: enabling children with severe motor impairments to draw with their eyes. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05)*. ACM, New York, NY, USA, 161-170. <http://dx.doi.org/10.1145/1054972.1054995>
- (Hootman *et al.*, 2016) Hootman, J.M., Helmick, C.G., Barbour, K.E., Theis, K.A. and Boring, M.A. (2016). Updated Projected Prevalence of Self-Reported Doctor-Diagnosed Arthritis and Arthritis-Attributable Activity Limitation Among US Adults, 2015–2040. *Arthritis & rheumatology*, 68(7), 1582-1587. <https://doi.org/10.1002/art.39692>
- (Hwang *et al.*, 2004) Hwang, F., Keates, S., Langdon, P., & Clarkson, J. (2004). Mouse movements of motion-impaired users: a submovement analysis. In *ACM SIGACCESS Accessibility and Computing*. ACM, 102–109. <https://doi.org/10.1145/1028630.1028649>
- (Hwang *et al.*, 2003) Hwang, F., Keates, S., Langdon, P., & Clarkson, P. J. (2003). Multiple haptic targets for motion-impaired computer users. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 41-48. <https://doi.org/10.1145/642611.642620>
- (Isokoski, 2001) Isokoski, P. 2001. Model for unistroke writing time. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '01)*. ACM, New York, NY, USA, 357-364. <http://dx.doi.org/10.1145/365024.365299>
- (Jermann *et al.*, 2012) Jermann, P., Gergle, D., Bednarik, R., Brennan, S. (2012). Duet 2012: Dual eye tracking in CSCW. In *Proceedings of the ACM 2012 conference on Computer Supported Cooperative Work Companion (CSCW '12)*. ACM, New York, NY, USA, 23-24. <https://doi.org/10.1145/2141512.2141525>
- (Jin *et al.*, 2007) Jin, Z. X., Plocher, T., Kiff, L. (2007). Touch screen user interfaces for older adults: button size and spacing. In *Proceedings of the International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*. Springer, Berlin, Heidelberg, 933-941. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73279-2_104
- (Kane *et al.*, 2009) Kane, S. K., Jayant, C., Wobbrock, J. O., & Ladner, R. E. (2009). Freedom to Roam: A Study of Mobile Device Adoption and Accessibility for People with

- Visual and Motor Disabilities. In *Proceedings of the 11th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. New York, NY, USA: ACM, 115–122. <https://doi.org/10.1145/1639642.1639663>
- (Keates *et al.*, 2000) Keates, S., Clarkson, J., & Robinson, P. (2000). Investigating the applicability of user models for motion-impaired users. In *Proceedings of the 4th International ACM Conference on Assistive Technologies*. ACM, 129–136. <https://doi.org/10.1145/354324.354354>
- (Keates *et al.*, 2002) Keates, S., Hwang, F., Langdon, P., Clarkson, P. J., & Robinson, P. (2002). Cursor measures for motion-impaired computer users. In *Proceedings of the fifth international ACM conference on Assistive technologies*. ACM, 135–142. <https://doi.org/10.1145/638249.638274>
- (Krishnaswamy & Kuber, 2012) Krishnaswamy, K., Kuber, R. (2012). Toward the development of a BCI and gestural interface to support individuals with physical disabilities. In *Proceedings of the 14th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '12)*. ACM, New York, NY, USA, 229-230. <http://dx.doi.org/10.1145/2384916.2384967>
- (Khushaba *et al.*, 2012) Khushaba, R.N., Greenacre, L., Kodagoda, S., Louviere, J., Burke, S., Dissanayke, G. (2012). Choice modeling and the brain: A study on the Electroencephalogram (EEG) of preferences. In *Expert Systems with Applications* 39(16), 12378-12388. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957417412006811>
- (MacKenzie *et al.*, 1991) MacKenzie, I. S., Sellen, A., & Buxton, W. A. (1991). A comparison of input devices in element pointing and dragging tasks. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. ACM, 161–166. <https://doi.org/10.1145/108844.108868s>
- (Majaranta & Riih , 2002) Majaranta, P., Riih , K.J. (2002). Twenty years of eye typing: systems and design issues. In *Proceedings of the 2002 Symposium on Eye Tracking Research & Applications (ETRA '02)*. ACM, New York, NY, USA, 15-22. <http://dx.doi.org/10.1145/507072.507076>
- (Marchesi, 2012) Marchesi, M. (2012). Neu: how brain activity can change an animated scene. In *ACM SIGGRAPH 2012 Posters (SIGGRAPH '12)*. ACM, New York, NY, USA, Article 75. <https://doi.org/10.1145/2342896.2342986>
- (Marin *et al.*, 2016) Marin, B., Boum diene, F., Logroscino, G., Couratier, P., Babron, M.C., Leutenegger, A.L., Copetti, M., Preux, P.M. and Beghi, E. (2016). Variation in worldwide incidence of amyotrophic lateral sclerosis: a meta-analysis. *International journal of epidemiology*, 46(1), 57-74. <https://doi.org/10.1093/ije/dyw061>
- (Meyer *et al.*, 1988) Meyer, D. E., Abrams, R. A., Kornblum, S., Wright, C. E., & Keith Smith, J. E. (1988). Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements. *Psychological Review*, 95(3), 340. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3406245>
- (Moore & Kennedy, Moore, M. M., Kennedy, P. R. (2000). Human factors issues in the neural signals



- 2000) direct brain-computer interfaces. In *Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies (Assets '00)*. ACM, New York, NY, USA, 114-120. <http://dx.doi.org/10.1145/354324.354351>
- (Montague *et al.*, 2014) Montague, K., Nicolau, H., & Hanson, V. L. (2014). Motor-impaired Touchscreen Interactions in the Wild. In *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*. New York, NY, USA: ACM, 123–130. <https://doi.org/10.1145/2661334.2661362>
- (Mott *et al.*, 2016) Mott, M. E., Vatavu, R. D., Kane, S. K., & Wobbrock, J. O. (2016). Smart Touch: Improving touch accuracy for people with motor impairments with template matching. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 1934-1946. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858390>
- (Naftali & Findlater, 2014) Naftali, M., & Findlater, L. (2014). Accessibility in Context: Understanding the Truly Mobile Experience of Smartphone Users with Motor Impairments. In *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*. New York, NY, USA: ACM, 209–216. <https://doi.org/10.1145/2661334.2661372>
- (Norte & Lobo, 2007) Norte, S., Lobo, F.G. (2007). A virtual logo keyboard for people with motor disabilities. In *Proceedings of the 12th annual SIGCSE conference on Innovation and technology in computer science education (ITiCSE '07)*. ACM, New York, NY, USA, 111-115. <http://dx.doi.org/10.1145/1268784.1268818>
- (Norte & Lobo, 2008) Norte, S., Lobo, F. (2008). A sudoku game for people with motor impairments. In *Proceedings of the 13th annual conference on Innovation and technology in computer science education (ITiCSE '08)*. ACM, New York, NY, USA, 319-319. <http://dx.doi.org/10.1145/1384271.1384362>
- (Oskoui *et al.*, 2013) Oskoui, M., Coutinho, F., Dykeman, J., Jetté, N. and Pringsheim, T. (2013). An update on the prevalence of cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(6), 509-519. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12080>
- (Perego *et al.*, 2015) Perego, P., Sironi, R., Lavezzari, R., Andreoni, G. (2015). User-Centered Design for Wearable Neuro-rehabilitation System. In *Proceedings of the 2015 workshop on Wearable Systems and Applications (WearSys '15)*. ACM, New York, NY, USA, 57-58. <http://dx.doi.org/10.1145/2753509.2753522>
- (Plamondon, 1995a) Plamondon, R. (1995). A kinematic theory of rapid human movements. Part I: Movement Representation and Generation. *Biological Cybernetics* 72(4), 295–307. <https://doi.org/10.1007/BF00202785>
- (Plamondon, 1995b) Plamondon, R. (1995). A kinematic theory of rapid human movements. Part II. Movement time and control. *Biological Cybernetics* 72(4), 309–320. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7748960>
- (Pupil Headset, 2017) Pupil Headset. (2017). <https://pupil-labs.com/pupil/>
- (OHeidrich *et al.*, de O Heidrich, R., Branco, M.A., Mossmann, J.B., Schuh, A.R., Jensen, E. (2015).

- 2015) Development of BCI based Software to Assist People with Mmobility Limitations in the School Inclusion Process. In *Proceedings of the 17th Int. ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accesibility (ASSETS '15)*. ACM, New York, NY, USA. 397-398. <https://doi.org/10.1145/2700648.2811388>
- (Quinn & Degener, 2002) Quinn, G., Degener, T. (2002). A survey of international, comparative and regional disability law reform. In: Breslin, M.L., Yee, S. (Eds.) *Disability rights law and policy - international and national perspectives*. Ardsley, Transnational. https://dredf.org/international/degener_quinn.html
- (Rekik et al., 2014a) Rekik, Y., Vatavu, R.D., Grisoni, L. (2014). Understanding Users' Perceived Difficulty of Multi-Touch Gesture Articulation. In *Proceedings of ICMI'14, the 16th ACM International Conference on Multimodal Interaction*. New York: ACM Press, 232-239. <http://dx.doi.org/10.1145/2663204.2663273>
- (Rekik et al., 2014b) Rekik, Y., Vatavu, R.D., Grisoni, L. (2014). Match-Up & Conquer: A Two-Step Technique for Recognizing Unconstrained Bimanual and Multi-Finger Touch Input. In *Proceedings of AVI'14, the 12th International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*. New York: ACM Press, 201-208. <http://dx.doi.org/10.1145/2598153.2598167>
- (Riche et al., 2013) Nicolas Riche, Matthieu Duvinage, Matei Mancas, Bernard Gosselin, Thierry Dutoit. (2013). Saliency and Human Fixations: State-of-the-Art and Study of Comparison Metrics. In *Proceedings of ICCV 2013*, 1153-1160 <https://doi.org/10.1109/ICCV.2013.147>
- (Romitti et al., 2015) Romitti, P.A., Zhu, Y., Puzhankara, S., James, K.A., Nabukera, S.K., Zamba, G.K., Cialfoni, E., Cuniff, C., Druschel, C.M., Mathews, K.D. and Matthews, D.J. (2015). Prevalence of Duchenne and Becker muscular dystrophies in the United States. *Pediatrics*, 135(3), 513-521. <https://doi.org/10.1542/peds.2015-0652>
- (Roy et al., 2013) Quentin Roy, Sylvain Malacria, Yves Guiard, Eric Lecolinet, and James Eagan. (2013). Augmented letters: mnemonic gesture-based shortcuts. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13)*. ACM, New York, NY, USA, 2325-2328. <https://doi.org/10.1145/2470654.2481321>
- (Ryff & Keyes, 1995) Ryff, C. D., & Keyes, C. L. M. (1995). The structure of psychological well-being revisited. *Journal of Personality and Social Psychology*, 69(4), 719. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7473027>
- (Schuh et al., 2014) Schuh, A.R., Lima, A., Morche, G., Mossmann, J., Bez, M.R. (2014). Control of a wheelchair simulator in a three-dimensional environment using eye blink detection through non-invasive brain-computer interface. In *Proceedings of the XV International Conference on Human Computer Interaction (Interacción '14)*. ACM, New York, NY, USA, Article 76. <https://doi.org/10.1145/2662253.2662329>
- (Sci.facts, 2012) Spinal Cord Injury Facts and Figures at a Glance. (2012). *The Journal of Spinal Cord Medicine* 35(4), 197-198. <http://doi.org/10.1179/1079026812Z.00000000063>
- (Sears et al., 2002) Andrew Sears and Mark Young. 2002. Physical disabilities and computing



- technologies: an analysis of impairments. In *The human-computer interaction handbook*, Julie A. Jacko and Andrew Sears (Eds.). L. Erlbaum Associates Inc., Hillsdale, NJ, USA 482-503. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=772105>
- (Swetha & Muneeswari, 2016) Swetha, L., Muneeswari, G. (2016). A Survey on Wearable Computers: Human Computer Interface. In *Proceedings of the International Conference on Informatics and Analytics (ICIA-16)*. ACM, New York, NY, USA, Article 23. <https://doi.org/10.1145/2980258.2980305>
- (Taylor & Schmidt, 2016) Taylor, G.S., Schmidt, C. (2016). Empirical Evaluation of the Emotiv EPOC BCI Headset for the Detection of Mental Actions. In *Proceedings of the Human Factors and ergonomics Society Annual Meeting*. 56(1), 193-197. <https://doi.org/10.1177/1071181312561017>
- (Trewin et al., 2006) Trewin, S., Keates, S., Moffatt, K. (2006). Developing steady clicks: a method of cursor assistance for people with motor impairments. In *Proceedings of the 8th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*. ACM, 26-33. <https://doi.org/10.1145/1168987.1168993>
- (Trewin & Pain, 1999) Trewin, S., & Pain, H. (1999). Keyboard and mouse errors due to motor disabilities. *International Journal of Human-Computer Studies*, 50(2), 109-144. <https://doi.org/10.1006/ijhc.1998.0238>
- (Trewin et al., 2013) Trewin, S., Swart, C., Pettick, D. (2013). Physical accessibility of touchscreen smartphones. In *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. ACM, 19. <https://doi.org/10.1145/2513383.2513446>
- (Vandervelde et al., 2010) Vandervelde, L., Van den Bergh, P. Y., Penta, M., Thonnard, J.-L. (2010). Validation of the ABILHAND questionnaire to measure manual ability in children and adults with neuromuscular disorders. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 81(5), 506-512. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2009.177055>
- (Vatavu et al., 2012) Vatavu, R.D., Anthony, L., Wobbrock, J.O. (2012). Gestures as point clouds: a \$P recognizer for user interface prototypes. In *Proceedings of the 14th ACM international conference on Multimodal interaction (ICMI '12)*. ACM, New York, NY, USA, 273-280. <http://dx.doi.org/10.1145/2388676.2388732>
- (Vatavu and Mancas, 2014) Vatavu, R.D., Mancas, M. (2014). Visual Attention Measures for Multi-Screen TV. In *Proceedings of TVX'14, the ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video* (New Castle, UK, June 2014). New York: ACM Press, 111-118. <http://doi.acm.org/10.1145/2602299.2602305>
- (Vatavu and Mancas, 2015) Vatavu, R.D., Mancas, M. (2015). Evaluating visual attention for multi-screen television: measures, toolkit, and experimental findings. *Personal and Ubiquitous Computing* 19(5-6), 781-801. <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-015-0862-z>
- (Velloso et al., 2016) Velloso, E., Carter, M. (2016). The Emergence of EyePlay: A Survey of Eye Interaction in Games. In *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play (CHI PLAY '16)*. ACM, New York, NY, USA,

- 171-185. <https://doi.org/10.1145/2967934.2968084>
- (Vrzakova *et al.*, 2012) Vrzakova, H., Bednarik, R. (2012). Hard lessons learned: mobile eye-tracking in cockpits. In *Proceedings of the 4th Workshop on Eye Gaze in Intelligent Human Machine Interaction (Gaze-In '12)*. ACM, New York, NY, USA, Article 7. <http://dx.doi.org/10.1145/2401836.2401843>
- (Watson *et al.*, 1988) Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(6), 1063. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3397865>
- (WHO, 2011) World Health Organization. (2011). WHO World Report on Disability. http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/report.pdf
- (WHODAS, 2017) World Health Organization. (2011). WHO Disability Assessment Schedule 2.0 (WHODAS 2.0). <http://www.who.int/classifications/icf/whodasii/en/>
- (Wolpaw *et al.*, 2012) Wolpaw, J.R. (2012). Brain-Computer interfaces: progress, problems and possibilities. In *Proceedings of the 2nd ACM SIGHIT International Health Informatics Symposium (IHI '12)*. ACM, New York, NY, USA, 3-4. <http://dx.doi.org/10.1145/2110363.2110366>
- (Yokoe *et al.*, 2009) Yokoe, M., Okuno, R., Hamasaki, T., Kurachi, Y., Akazawa, K., & Sakoda, S. (2009). Opening velocity, a novel parameter, for finger tapping test in patients with Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders* 15(6), 440-444. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2008.11.003>
- (Yozbatiran *et al.*, 2008) Yozbatiran, N., Der-Yeghiaian, L., & Cramer, S. C. (2008). A standardized approach to performing the action research arm test. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 22(1), 78–90. <https://doi.org/10.1177/1545968307305353>

