

RAPORT FINAL

privind implementarea proiectului

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

în perioada august 2017 – decembrie 2018¹

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/

¹Conform cerințelor și recomandărilor UEFISCDI, acest raport poate avea maxim 20 de pagini.

Cuprins

1. INTRODUCERE ÎN TEMATICA ȘI OBIECTIVELE PROIECTULUI	3
Obiectivele proiectului.....	3
Membrii echipei de cercetare.....	4
Rezultate așteptate, conform planului de realizare și rezultatele realizate	4
2. GRADUL DE ATINGERE A REZULTATELOR ESTIMATE: PREZENTAREA PRODUSULUI/TEHNOLOGIEI REZULTAT AL PROIECTULUI.....	5
3. PREZENTAREA ȘI ARGUMENTAREA NIVELULUI DE MATURITATE TEHNOLOGICĂ (TRL) LA FINALUL PROIECTULUI.....	8
Pasul 1: Realizarea de studii informative și experimente controlate de achiziție a datelor	9
Pasul 2: Atingerea nivelului TRL-3: demonstrarea conceptului prin proiectarea, implementarea și validarea de componente individuale	11
Pasul 3: Atingerea nivelului TRL-4 prin integrarea componentelor individuale și testarea sistemului integrat în condiții de laborator.....	13
4. MODUL DE ATRIBUIRE ȘI EXPLOATARE A DREPTURILOR DE PROPRIETATE ASUPRA REZULTATELOR PROIECTULUI.....	15
5. IMPACTUL REZULTATELOR OBȚINUTE CU SUBLINIAREA CELUI MAI SEMNIFICATIV REZULTAT	15
Publicații științifice realizate în cadrul proiectului.....	15
Colaborări internaționale cu instituții de prestigiu realizate în cadrul proiectului.....	17
Baze de date în premieră pentru comunitatea științifică și aplicații software open-source.....	18
REFERINȚE	19
5. PREZENTAREA SUCCINTĂ A REZULTATELOR PENTRU PUBLICUL LARG.....	20



1. INTRODUCERE ÎN TEMATICA ȘI OBIECTIVELE PROIECTULUI

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 și/sau periferic (WHO, 2011; ICF, 2001). Manifestările clinice sunt reprezentate de *pareze* (i.e., pierderea ușoară/medie a forței musculare), *plegii* (afectarea severă a forței musculare cu pierderea contractilității), tulburări de coordonare, de limbaj (*afazii*) și/sau de vorbire, tulburări senzoriale majore sau tulburări neurocognitive. 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*”, cuprinzând afectarea funcțiilor motorii cu etiologie diversă: sechelele bolilor cerebrovasculare, afecțiuni neurodegenerative (e.g., Alzheimer), posttraumatice, postinfecțioase sau posttumorale, malformații congenitale, etc.

Datorită afectării funcțiilor motorii, persoanele cu dizabilități întâmpină numeroase dificultăți în interacțiunea cu ecranele tactile, prevalente astăzi pe telefoane smart sau tablete. Motivul principal este dat de faptul că realizarea de gesturi de atingere (en.: *stroke-gestures*) necesită abilități motorii corespunzătoare pentru mișcarea brațului, controlul încheieturii mâinii, întinderea și controlul degetelor, apăsarea cu presiune pe ecran, etc., abilități care sunt pierdute sau diminuate pentru utilizatorii cu dizabilități motorii. În acest proiect, am adresat problema interacțiunii prin gesturi cu ecrane tactile pentru persoanele cu dizabilități motorii prin realizarea de experimente și studii științifice, precum și implementări și evaluări ale modalităților de interacțiune bazate pe gesturi de atingere, urmărirea privirii, pronunția comenzilor verbale și analiza datelor electroencefalogrammei (EEG). Proiectul pornește de la nivelul tehnologic TRL-2 (i.e., un nou concept de aplicație a fost formulat privind posibilitatea îmbunătățirii interacțiunii prin gesturi cu dispozitive cu ecrane tactile pentru persoanele cu dizabilități motorii) și își propune atingerea nivelului tehnologic TRL-4, i.e., dezvoltarea de componente individuale, integrarea acestora și validarea sistemului integrat în condiții de laborator.

Obiectivele proiectului

Acest proiect își fixează următoarele obiective practice privind *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 tactile dotate astăzi cu interfețe preponderent bazate pe gesturi:

- O1. Înțelegerea modului în care utilizatorii cu dizabilități motorii realizează gesturi (en.: *stroke-gestures*) pe dispozitive cu ecrane tactile, precum și înțelegerea legăturii dintre modul de realizare a gesturilor și coordonarea privirii, pronunția comenzilor verbale, respectiv caracteristicile electroencefalogrammei (EEG) din timpul execuției gesturilor.
- O2. Dezvoltarea de algoritmi eficienți pentru recunoașterea gesturilor efectuate pe dispozitive cu ecrane tactile de către utilizatori cu dizabilități motorii, proiectarea și dezvoltarea de tehnici asistive prin folosirea informațiilor obținute din urmărirea privirii, recunoașterea comenzilor verbale și analiza electroencefalogrammei.

O3. Integrare software TRL-4 și validarea în laborator a tehnologiei dezvoltate.

Membrii echipei de cercetare

Echipa proiectului este alcătuită din 7 membri:

1. Radu-Daniel Vatavu (prof. univ. dr. ing., conducător de doctorat), Director de proiect
2. Ștefan-Gheorghe Pentiuc (prof. univ. dr. ing., conducător de doctorat)
3. Ovidiu-Andrei Schipor (conf. univ. dr. ing.)
4. Maria-Doina Schipor (conf. univ. dr., psiholog, membru al Colegiului Psihologilor din România)
5. Ovidiu-Ionuț Gherman (asistent univ. dr. ing.)
6. Ovidiu-Ciprian Ungurean (dr. ing.)
7. Bogdan-Florin Gheran (drd. ing.)

Rezultate așteptate, conform planului de realizare și rezultatele realizate

- Rapoarte de cercetare (etapele 1 și 2, respectiv raportul final al proiectului). **Status: realizat.** Rapoartele de cercetare sunt disponibile în platforma UEFISCDI/EVoC, respectiv pe pagina web a proiectului de cercetare-dezvoltare, în total 28+20+20=68 de pagini.
- Aplicație software pentru achiziția gesturilor de atingere, date privire, comenzi verbale și electroencefalogramă (EEG) în cadru experimental. **Status: realizat.** Codul sursă al aplicației (.NET, C#, WPF) este disponibil în regim open-source (licență BSD) pe pagina web a proiectului.
- Set de date experimentale. **Status: realizat.** Datele sunt disponibile pe pagina web a proiectului.
- Algoritm de recunoaștere a gesturilor de atingere. **Status: realizat.** Pseudocodul algoritmului \$Q este disponibil pe pagina web a proiectului; o lucrare științifică descriind algoritmul \$Q a fost publicată în cadrul conferinței ACM MobileHCI 2018, distinsă cu **Honorable Mention Award**.
- Tehnici de asistare a interacțiunii gestuale cu ajutorul privirii, comenzilor verbale și/sau electroencefalogrammei (EEG). **Status: realizat.** Tehnicile sunt descrise în cadrul rapoartelor de cercetare disponibile în platforma UEFISCDI/EVoC, respectiv pe pagina web a proiectului; tehnicile au fost implementate sub formă de componente software (vezi următorul rezultat).
- Integrare TRL-4 sub formă de tehnologie validată în laborator. **Status: realizat.** Codul sursă (.NET, C#, WPF) al aplicației software integrate VErGE (Voice, Eye gaze, Gesture & EEG) este disponibil în regim open-source (licență BSD) pe pagina web a proiectului.
- Lucrări științifice. **Status: realizat.** Au fost publicate 11 articole științifice, toate indexate în baze de date internaționale, dintre care un articol într-o revistă cu factor de impact 1.031 și 8 lucrări în conferințe prestigioase ACM de rang A*, A, respectiv B, conform ARC CORE 2018 (dintre care 2 lucrări în cadrul conferinței ACM CHI'18, rang A*, conferința de top a domeniului Human-Computer Interaction în clasamentul tuturor revistelor și conferințelor domeniului²).
- Pagina web a proiectului de cercetare-dezvoltare. **Status: realizat.** Pagina web este disponibilă cu informații actualizate la adresa <http://www.eed.usv.ro/mintviz/projects/MotorSkill/>

² https://scholar.google.es/citations?view_op=top_venues&hl=en&vq=eng_humancomputerinteraction



2. GRADUL DE ATINGERE A REZULTATELOR ESTIMATE: PREZENTAREA PRODUSULUI/TEHNOLOGIEI REZULTAT AL PROIECTULUI

Rezultatul principal al proiectului este reprezentat de aplicația software VErGE (Voice, Eye gaze, Gesture & EEG) ce demonstrează, la nivelul tehnologic TRL-4, interacțiunea cu sisteme informatice prin executarea de comenzi folosind una sau mai multe modalități, *e.g.*, gesturi pe ecrane tactile, comenzi verbale, comenzi realizate prin mișcarea ochilor, respectiv asistarea interacțiunii prin analiza datelor EEG. Figura 1 ilustrează schema bloc a aplicației software integrate VErGE cu individualizarea dispozitivelor, componentelor și tehnologiilor folosite.

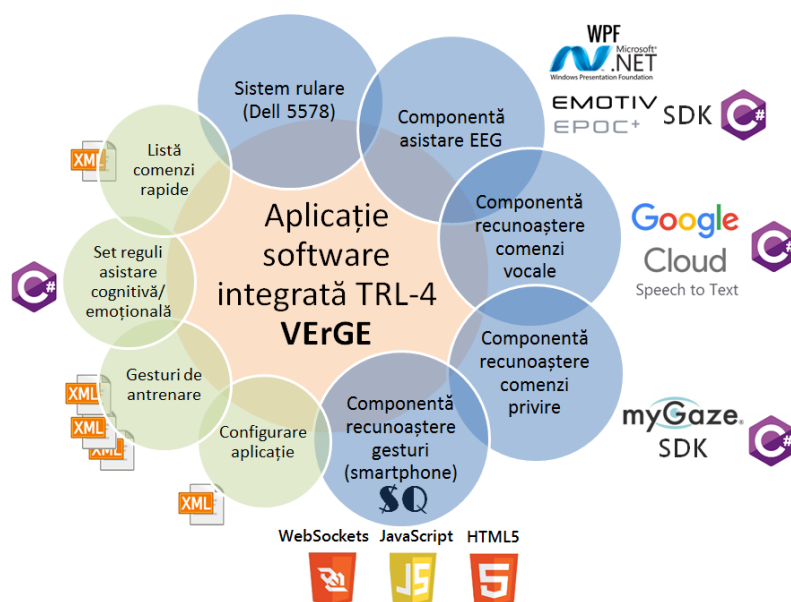


Figura 1. Schema bloc a aplicației integrate TRL-4 ilustrând componentele individuale și tehnologiile aferente folosite pentru implementare.

Următoarele componente au fost dezvoltate:

1. **Componentă de recunoaștere a gesturilor efectuate pe ecrane tactile implementând un nou algoritm de recunoaștere (\$Q)\$ eficient din perspectiva acurateței și vitezei de execuție.** Pentru această componentă am folosit drept punct de plecare algoritmul \$P\$ (Vatavu *et al.*, 2012) datorită flexibilității acestuia în recunoașterea gesturilor indiferent de modul de execuție. Din păcate, \$P\$ are o complexitate temporală $\Theta(n^{2.5} \cdot T)$, unde n este numărul de puncte de eșantionare a gestului iar T cardinalitatea mulțimii de antrenare; vezi (Vatavu *et al.*, 2012). Din acest motiv, \$P\$ nu este practic pentru dispozitive de tipul telefoanelor smart, întrucât poate atinge un timp de clasificare de până la 5s pentru procesoare Cortex-A53, respectiv 11s pentru Cortex-A5; vezi figura 8 pentru rezultate de performanță. Pentru a obține un algoritm eficient, am introdus algoritmul \$Q\$, un succesor al \$P\$, cu două îmbunătățiri algoritmice majore: abandonarea calculelor redundante, respectiv folosirea unei logici bazată pe limite inferioare (en.: *lower bounds*) pentru minimizarea apelurilor distanței \$P\$. Algoritmul \$Q\$ are aceeași rată ridicată de recunoaștere a gesturilor (*i.e.*, poate recunoaște gesturi de tip *unistroke*, *multi-stroke*, *single-* și *multi-touch*, atinge 100% recunoaștere pentru gesturi produse de persoane fără dizabilități și 90% pentru gesturi realizate de utilizatori cu dizabilități motorii, în

variante de antrenare independentă de utilizator; vezi figura 9) și **folosește doar 3% din calculele necesare algoritmului \$P** (e.g., se execută în doar 82 ms pe dispozitive cu CPU Cortex-A53 și un set de antrenare alcătuit din 64 de exemple pentru fiecare tip de gest). **Algoritmul de recunoaștere a gesturilor \$Q a fost diseminat în cadrul conferinței ACM MobileHCI 2018 (rang B, conform ARC CORE 2018), unde a primit distincția “Honorable Mention Award” din partea ACM SIGCHI.**

2. **Componentă de recunoaștere a comenzilor verbale.** Această componentă utilizează Google Cloud Speech-to-Text³ pentru transformarea în text a fluxului audio conținând comanda pronunțată de utilizator. Pentru implementare, am recurs la varianta API asincronă a procesului de recunoaștere pentru a nu condiționa utilizatorul la segmentarea prin acțiuni externe (e.g., mouse, tastatură, etc.) a momentelor de început și de sfârșit pentru comenzile pronunțate. Datele audio sunt transmise către Google Cloud pe măsură achiziționării, în flux direct, fără a mai fi salvate în fișiere temporare. Pentru fiecare rezultat recunoscut primit de la serviciul Google Cloud, am calculat gradul de similaritate Levenshtein față de comenzi verbale dintr-un fișier de configurare. În cazul în care magnitudinea similarității depășește un anumit prag de încredere, acțiunea asociată comenzii respective va fi executată, e.g., deschide un document pentru navigare. Comenzile considerate pentru această tehnică, de tip Acțiune (Verb) - Obiect (Complement), sunt prezentate în tabelul 1.

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

Tabelul 1. Comenzi verbale implementate în cadrul componentei software de recunoaștere vocală.

3. **Componentă software de recunoaștere a comenzilor realizate cu ochii.** Această componentă urmărește detecția fixărilor realizate cu ochii în locații de pe marginea ecranului. Am ales aceste locații în mod special pentru a nu suprapune funcționarea acestei componente cu alte implementări standard ale interacțiunii folosind privirea, care sunt centrate strict pe suprafața activă a ecranului. Secvențele de fixări la locații predefinite pe marginea ecranului (e.g., secvența 1-3-5; vezi figura 2, mijloc) au fost parametrizate în funcție de numărul de locații, respectiv de poziționarea acestora. Pentru implementare am ales 20 de comenzi de lungime $k = 2$ (i.e., două puncte ce trebuie fixate, în ordine, pe marginea ecranului), respectiv de lungime $k = 3$; vezi figura 3.

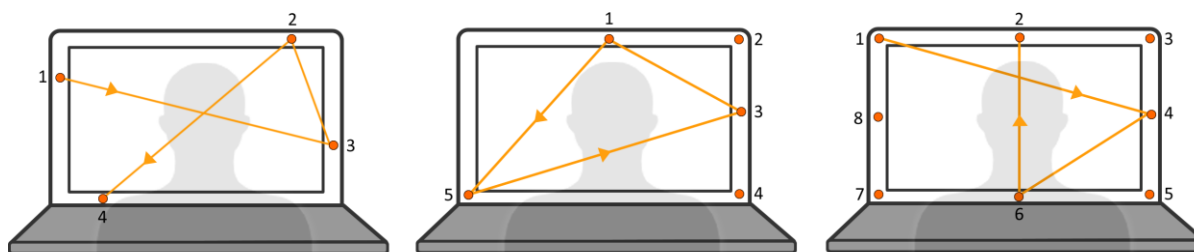


Figura 2. Exemple de secvențe de fixări ale ochilor pe marginea ecranului care, realizate în ordine, execută diverse comenzi.

³ <https://cloud.google.com/speech-to-text/>



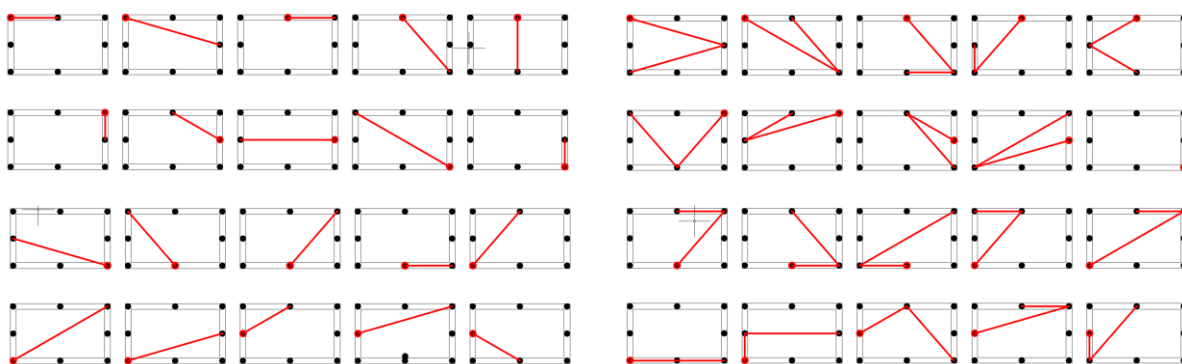


Figura 3. Comenzi executate cu ochii, de lungime 2 și 3, prin fixarea pe anumite locații predefinite pe marginea ecranului.

4. **Componentă de asistare a interacțiunii prin determinarea stării cognitive și emoționale a utilizatorului ca urmare a procesării datelor EEG.** Pentru această componentă am folosit SDK-ul dispozitivului Emotiv EPOC⁴ care permite detecția și raportarea, în flux continuu, a unor aspecte cognitiv-emoționale reprezentative pentru utilizatorul care poartă casca neuronală. Măsurătorile considerate au vizat excitația instantanee (en.: *Short Term Excitement*) – o evaluare numerică a stării de interes pentru activitatea desfășurată; excitația pe termen lung (en.: *Long Term Excitement*) – măsurătoare similară pentru intervale de ordinul minutelor; gradul de implicare (en.: *Boredom / Engagement*) – o evaluare numerică a angajării cognitive în sarcina curentă; gradul de meditație (en.: *Meditation*), reprezentând o caracterizare numerică a stării cognitive de calm, detectată prin prezența undelor theta; respectiv frustrarea (en.: *Frustration*) – o cuantificare a nivelului de frustrare resimțit de către utilizator ca o consecință a sarcinii realizate. Folosind aceste măsurători, am implementat o componentă de asistare a utilizatorului în realizarea execuției gesturilor prin furnizarea unui feedback personalizat, dirijat de o logică probabilistică, constând în mesaje din 4 categorii (C₁-C₄): C₁ - încurajarea activității (e.g., „Ritmul de lucru este bun!” sau „Interacționezi bine cu aplicația!”), C₂ - ghidare la nivel general (e.g., „Știi că sistemul se adaptează pe măsură ce îl folosești?” sau „Știi că poți alterna modalitățile?”), C₃ - ghidare privind modalitățile de intrare mai puțin folosite (e.g., „Te-ar putea ajuta și modalitatea...”), respectiv C₄ - ghidare privind modalitățile folosite frecvent (e.g., „Execuți bine comenzi cu modalitatea...”). Fiecare categorie de mesaje are asociată un nivel de probabilitate de activare, actualizat permanent în timpul utilizării aplicației în funcție de istoricul comenzilor executate și de starea cognitivă și emoțională a utilizatorului.

Componentele software au fost integrate în aplicația VErGE într-o implementare .NET/WPF folosind:

- 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 pixeli și 141 ppi.
- Un telefon smart pentru achiziția gesturilor de atingere care rulează o implementare a algoritmului de recunoaștere ȘQ în JavaScript/HTML5. Am optat pentru această modalitate alternativă de introducere a gesturilor întrucât, în timpul experimentelor de achiziție a datelor,

⁴ <https://www.emotiv.com/developer/>

am observat diverse dificultăți ale participanților cu dizabilități motorii în atingerea ecranului laptop-ului, în timp ce telefonul smart, de dimensiuni și greutate mult mai reduse, poate fi manevrat mai ușor privind apucarea, poziționarea, fixarea într-o poziție stabilă, atingerea ecranului, inclusiv folosind două mâini, etc. Astfel, aplicația VErGE implementează principiul proiectării centrate pe abilitățile fiecărui utilizator, conform (Wobbrock *et al.*, 2018).

- Eye tracker MyGaze Developer Edition cu o frecvență a cadrelor de 30Hz, acuratețe în estimarea poziției privirii (en.: *gaze position accuracy*) de 0.5° , respectiv rezoluție spațială (RMS) 0.1° .
- Microfon încorporat laptop Dell și componenta software aferentă pentru recunoașterea comenzilor vocale folosind Google Cloud Speech-to-Text și distanța Levenshtein.
- 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, SDK Emotiv.

3. PREZENTAREA ȘI ARGUMENTAREA NIVELULUI DE MATURITATE TEHNOLOGICĂ (TRL) LA FINALUL PROIECTULUI

Proiectul a plecat de la un concept teoretic aflat la nivelul TRL-2, scopul fiind de a transforma aspecte de natură conceptuală într-un sistem validat în condiții de laborator (TRL-4) urmând definițiile EU Horizon 2020⁵, adoptate de UEFISCDI pentru programul PNIII P2 - Creșterea competitivității românești.⁶ În scopul validării nivelurilor tehnologice TRL-3 și TRL-4, am adoptat o abordare în trei pași, conform figurii 4.

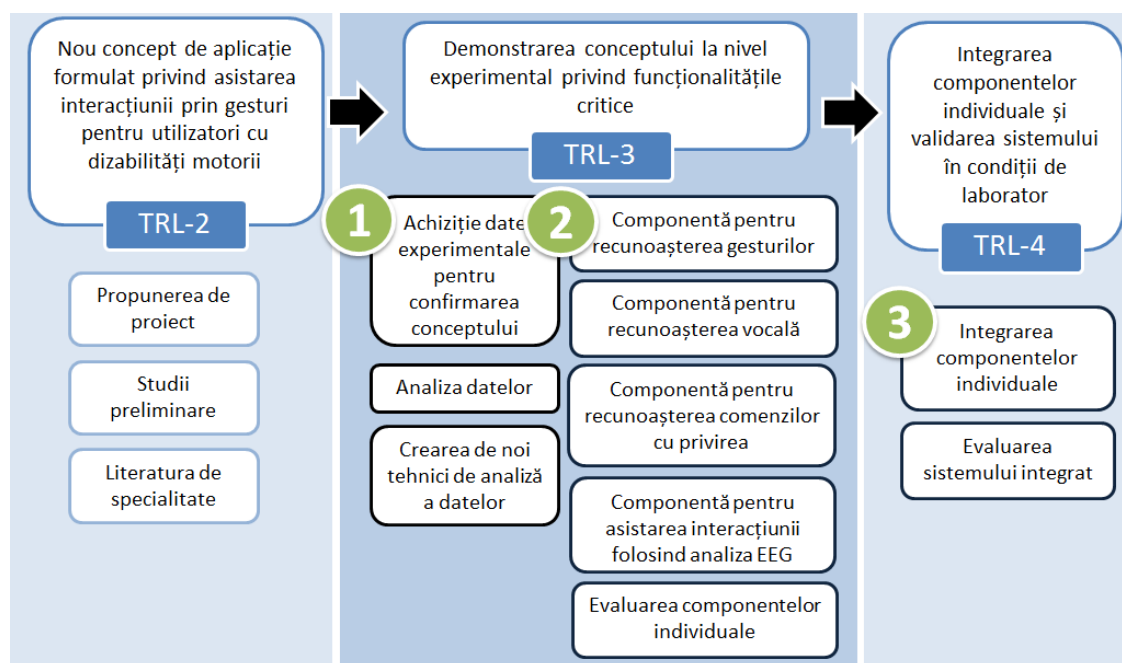


Figura 4. Metodologia adoptată în cadrul proiectului pentru atingerea și confirmarea nivelurilor tehnologice TRL-3 și TRL-4.

⁵ https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/2016_2017/annexes/h2020-wp1617-annex-g-trl_en.pdf

⁶ https://uefiscdi.ro/userfiles/file/PNCI%20III/P2_Cresterea%20competitivitatii%20economiei%20romanesti/TRL.pdf

Pasul 1: Realizarea de studii informative și experimente controlate de achiziție a datelor

Într-o primă etapă a proiectului, am efectuat experimente controlate centrate pe achiziția de date (*i.e.*, achiziția de gesturi, comenzi vocale, urmărirea privirii și date EEG) de la utilizatori cu și fără dizabilități motorii pentru a obține informații în vederea validării predicțiilor teoretice (de nivel TRL-2) și a informa proiectarea componentelor privind interacțiunea folosind diverse modalități de intrare. Gesturile au fost alese cu atenție astfel încât să fie respectate următoarele cerințe: (a) reprezentativitate pentru litere, simboluri și forme geometrice comune, (b) posibilitatea de articulare cu un număr minim de ridicări ale degetului de pe suprafața tactilă (de la 1 la 3, $M = 1.50$, $SD = 0.80$), (c) diversitate a complexității formei geometrice (de la 1 la 7, conform (Isokoski, 2001), $M = 4.50$, $SD = 1.78$), (d) diversitate a dificultății percepute în execuție (de la 1 la 14, conform (Vatavu *et al.*, 2001)); vezi figura 5.

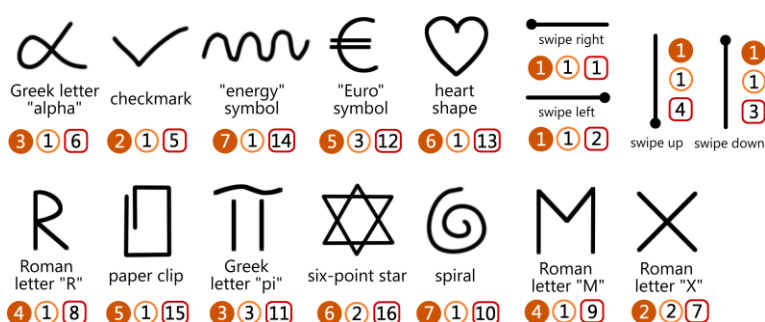


Figura 5. Gesturile folosite pentru experimentul de achiziție a datelor. Notă: numerele indică, în ordine: complexitatea formei geometrice (Isokoski, 2001), numărul minim de componente cu care poate fi realizat gestul, respectiv o estimare a dificultății de execuție (Vatavu *et al.*, 2011).

Datele achiziționate au fost structurate în două seturi, astfel:

- Un set de date alcătuit din **9,681 de gesturi efectuate pe ecrane tactile colectate de la 70 de participanți**, dintre care 35 de participanți cu diverse tipuri de dizabilități motorii (tabelul 2 prezintă o descriere demografică a participanților cu dizabilități motorii). **Acest set reprezintă cel mai mare set de gesturi public din literatură pentru persoane cu dizabilități motorii.** Figura 6 exemplifică fotografiile relevante capturate în timpul achiziționării acestui set de date.
- Un set de date alcătuit din **3,600 de înregistrări audio, EEG și urmărirea privirii în timpul realizării de gesturi**, colectat de la 25 de participanți, dintre care 9 cu dizabilități motorii (o parte dintre participanții din primul experiment/set). **Acest set reprezintă singurul set de gesturi public din literatură împreună cu date corelate gesturi-voce-privire-EEG pentru dizabilități motorii.** Figura 7 exemplifică fotografiile relevante capturate în timpul achiziționării acestui set de date.



Figura 6. Participanți (N=35) cu diverse tipuri de dizabilități motorii executând gesturi pe dispozitive cu ecran tactil; vezi tabelul 2 pentru date demografice.



Figura 7. Participanți (N=9) cu dizabilități motorii executând gesturi pe ecrane tactile simultan cu pronunția comenzilor verbale, achiziția datelor EEG și a datelor privind urmărirea privirii.

Participant	Condition	Since	Finger used to enter stroke-gestures	Completion
P ₁ (37 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6) [†]	2003	Little finger (knuckle)	100%
P ₂ (37 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6)	2002	Thumb; other fingers fixed to the physical edges of the device	100%
P ₃ (53 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C7)	1997	Middle finger (knuckle)	97.9%
P ₄ (40 yrs., male)	Cerebral Palsy	1996	Index finger (fingertip) of a rigid hand moved from the shoulder	99.3%
P ₅ (34 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	2000	Little finger (knuckle); no wrist control, wears a hand strap	100%
P ₆ (28 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6)	2017	Index finger (fingertip); wears a hand strap	97.9%
P ₇ (44 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6)	1994	Thumb; other fingers held fixed to the edges of the device	99.3%
P ₈ (34 yrs., male)	Cerebral Palsy	1983	Index finger (fingertip)	21.5%
P ₉ (34 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6)	2015	Little finger (knuckle); wrist gets tired very quickly	99.3%
P ₁₀ (14 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	2017	Little finger (knuckle); no patience to use touch after the injury	100%
P ₁₁ (54 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	2017	Little finger (knuckle)	64.6%
P ₁₂ (48 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	2017	Index finger (fingertip)	91.0%
P ₁₃ (37 yrs., female)	Meningitis	1980	Index finger (fingertip)	99.3%
P ₁₄ (45 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6)	2013	Thumb	100%
P ₁₅ (14 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	2016	Middle finger (fingertip)	100%
P ₁₆ (14 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	2016	Little finger (knuckle)	100%
P ₁₇ (42 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C4-C5)	1996	Index finger (fingertip)	93.8%
P ₁₈ (15 yrs., female)	Spinal Cord Injury (C6)	2015	Index finger (fingertip)	100%
P ₁₉ (28 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C7)	2006	Index finger (fingertip)	100%
P ₂₀ (28 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	2017	Uses a pen attached to the palm with a hand strip	28.5%
P ₂₁ (26 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C7)	2018	Index finger (fingertip)	100%
P ₂₂ (29 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	2016	Little finger (knuckle)	100%
P ₂₃ (42 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6)	1995	Thumb	100%
P ₂₄ (43 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6)	2003	Middle finger (fingertip)	100%
P ₂₅ (23 yrs., male)	Phocomelia	1995	Middle finger (fingertip)	100%
P ₂₆ (22 yrs., female)	Spastic Tetraparesis, Cerebral Palsy	1996	Index finger (fingertip)	88.9%
P ₂₇ (21 yrs., male)	Spastic Tetraparesis	1997	Index finger (fingertip)	93.8%
P ₂₈ (32 yrs., male)	Spastic Tetraparesis	1986	Index finger (fingertip)	88.2%
P ₂₉ (42 yrs., male)	SCI (A-type complete Tetraplegia)	2006	Thumb	100%
P ₃₀ (30 yrs., male)	Spinal muscular atrophy (Kugelberg Welander type III)	1990	Index finger (fingertip)	100%
P ₃₁ (31 yrs., male)	SCI (A-type complete Tetraplegia)	2010	Thumb	100%
P ₃₂ (22 yrs., female)	Muscular Dystrophy (Limb-girdle)	2004	Index finger (fingertip)	87.5%
P ₃₃ (34 yrs., male)	Muscular Dystrophy (Duchenne)	1996	n/a (video recording lost)	100%
P ₃₄ (67 yrs., male)	Parkinson's disease	2014	Index finger (fingertip)	87.5%
P ₃₅ (23 yrs., male)	Spastic Tetraparesis	1995	Index finger (fingertip)	99.3%

[†] The code following in the parentheses denotes the affected vertebra(e), e.g., "(C6)" refers to traumatic injury at the 6th cervical vertebra motorii.

Tabelul 2.
Caracteristici
demografice
ale participan-
ților (N=35) cu
dizabi-lități

Analiza datelor a evidențiat dificultăți în realizarea gesturilor de către participanții cu dizabilități motorii, reliefate mai ales de timpul de execuție (3.4s vs. 1.7s în medie pentru gesturile simbolice). Drept urmare, am dezvoltat o nouă tehnică de predicție și analiză, bazată pe teoria mișcării umane rapide (Plamondon, 1995), care permite estimarea timpului de execuție a gesturilor pe ecrane tactile. Rezultatele, obținute în colaborare cu Prof. Plamondon (École Polytechnique de Montréal, Canada) și Dr. Leiva (Valencia, Spania), au fost diseminate în cadrul a patru lucrări științifice la manifestări de prestigiu (Leiva *et al.*, 2018a și Ungurean *et al.*, 2018a în cadrul **ACM CHI 2018, conferință cu rang A***, respectiv Leiva *et al.*, 2018b și Ungurean *et al.*, 2018b în cadrul **ACM MobileHCI 2018, conferință cu rang B, conform clasificării curente ARC CORE 2018**). Tabelul 3 ilustrează rezultatele metodei.

Predictor	Without motor impairments (N=10 participants)					With motor impairments (N=10 participants)				
	Ground truth (s)	Predicted (s)	Absolute error (s)	Relative error	t-test	Ground truth (s)	Predicted (s)	Absolute error (s)	Relative error	t-test
Mean	1.80 [†]	1.90	0.20	11.7%	$t_{(4)}=-3.96$, $p=.017$, $r=1.00$	3.98 [†]	3.83	0.15	3.7%	$t_{(4)}=1.49$, $p=.212$, $r=1.00$
Median	1.80 [†]	1.77	0.07	4.1%	$t_{(4)}=0.39$, $p=.717$, $r=.70$	3.98 [†]	2.20	1.78	44.8%	$t_{(4)}=8.37$, $p=.001$, $r=0.90$
20%-trimmed mean	1.80 [†]	1.83	0.13	7.6%	$t_{(4)}=-1.18$, $p=.302$, $r=1.00$	3.98 [†]	2.68	1.30	32.5%	$t_{(4)}=8.20$, $p=.001$, $r=1.00$
20%-Winsorized mean	1.80 [†]	1.86	0.16	9.4%	$t_{(4)}=-1.63$, $p=.179$, $r=1.00$	3.98 [†]	3.55	0.43	10.7%	$t_{(4)}=3.70$, $p=.021$, $r=1.00$

Tabelul 3. Evaluarea predicției performanței gesturilor efectuate de către utilizatori cu și fără dizabilități motorii.

Pasul 2: Atingerea nivelului TRL-3: demonstrarea conceptului prin proiectarea, implementarea și validarea de componente individuale

Atingerea nivelului TRL-3, *i.e.*, demonstrarea conceptului privind funcționalitățile critice la nivel analitic sau experimental, a fost realizată printr-o serie de evaluări experimentale ale componentelor, astfel:

1. **Componenta de recunoaștere a gesturilor efectuate pe ecrane tactile implementând un nou algoritm de recunoaștere (\$Q) eficient din perspectiva acurateței și a vitezei de execuție.** Pentru validarea TRL-3 a acestei componente, am realizat două experimente. Primul a adresat evaluarea timpului de execuție într-un cadru experimental cu următoarele variabile independente: tipul procesorului (patru condiții: Cortex-A53, Cortex-A9, Cortex-A7, Cortex-A5), numărul de exemple de antrenare per gest (patru condiții: 1, 2, 4, respectiv 8 exemple), numărul de utilizatori de la care se culeg exemple de antrenare (patru condiții: 1, 2, 4, respectiv 8 utilizatori), algoritmul de recunoaștere (două condiții: \$Q și \$P). Rezultatele sunt ilustrate în figura 8 iar detalii în lucrarea (Vatavu *et al.*, 2018). Al doilea experiment a vizat evaluarea ratei de recunoaștere, pentru care am proiectat un cadru experimental cu următoarele variabile independente: algoritmul de recunoaștere (șapte condiții: \$Q, \$P, dar și alți algoritmi de tip Nearest-Neighbor cu diverse distanțe folosite frecvent în literatura domeniului: Hausdorff, distanța Euclidiană, produsul scalar, Dynamic Time Warping, etc.), numărul P de participanți de la care se culeg exemple de antrenare (șapte condiții: 1, 5, 10, 15, 20, 25 și 30 utilizatori). Ratele medii de recunoaștere (din aprox. 3×10^7 clasificări) sunt ilustrate în figura 9.

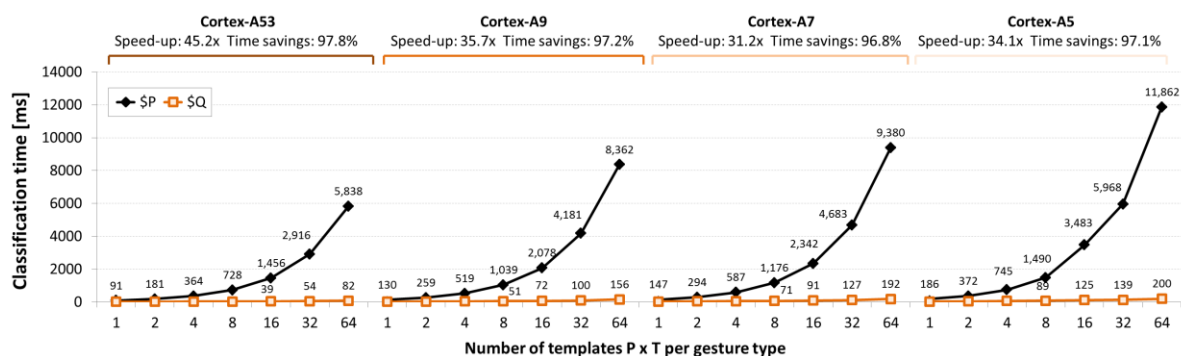


Figura 8. Timpul de execuție al algoritmului de recunoaștere a gesturilor \$Q, evaluat pe diverse tipuri de arhitecturi CPU folosite în dispozitivele mobile actuale, este de până la 45 de ori mai mic decât în cazul algoritmului \$P (−97% reducere timp calcul).

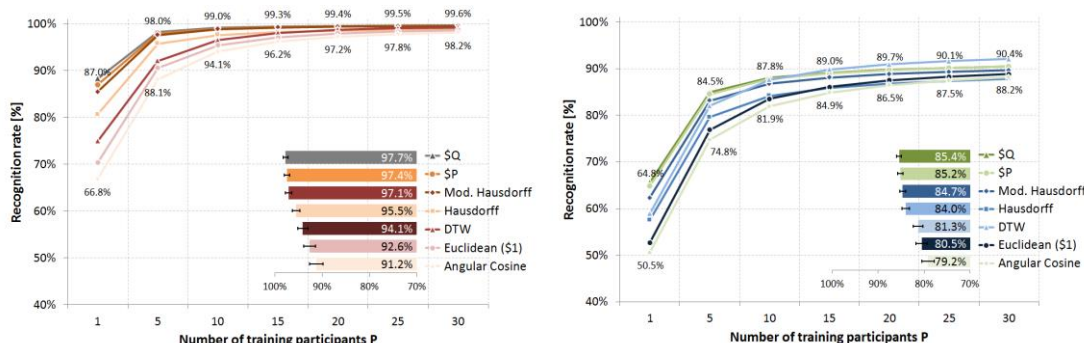


Figura 9. Rata de recunoaștere a algoritmului \$Q\$ (calculată independent de utilizator) se apropie de 100% pentru participanții fără dizabilități (stânga), respectiv 90% pentru participanții cu dizabilități motorii (dreapta). *Notă: pentru perspectivă, figura prezintă performanțele algoritmului NN cu alte distanțe folosite frecvent în literatură, i.e., Hausdorff, Euclidiană, DTW, etc.*

2. **Componenta de recunoaștere a comenzilor verbale.** Pentru validarea TRL-3 a acestei componente am calculat ratele de recunoaștere a comenzilor verbale ca urmare a folosirii serviciului Google Cloud Speech-to-Text pentru limba română împreună cu post-procesarea folosind distanța Levenshtein, atât pentru participanții cu și fără dizabilități motorii din setul de date nr. 2 (25 de participanți, 9 participanți cu dizabilități motorii, 3,600 de înregistrări ale comenzilor din tabelul 1); vezi figura 10a. De asemenea, am comparat timpul mediu de producție al comenzilor verbale vs. gesturi, care a scos în evidență un timp dublu (2.88s vs. 1.28s; figura 10c) pentru gesturi în cazul participanților cu dizabilități motorii, indicând astfel oportunitatea comenzilor verbale pentru acest grup (cu precizarea că există diferențe între participanți în ceea ce privește ratele de recunoaștere, respectiv că această modalitate nu a fost disponibilă tuturor, datorită dizabilității avansate; vezi figura 10b).

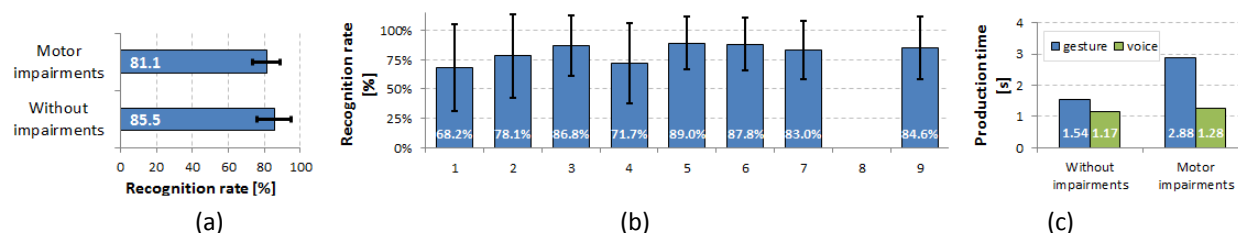


Figura 10. Rata de recunoaștere a comenzilor verbale pentru cele două grupuri experimentale (a), pentru fiecare participant cu dizabilități motorii din setul de date nr. 2 (b), respectiv timpul de execuție al comenzilor verbale vs. timpul de execuție al gesturilor efectuate pe ecrane tactile (c). *Notă: participantul 8 nu a putut folosi comenzi verbale datorită dizabilității avansate.*

3. **Componenta de recunoaștere a comenzilor realizate cu privirea.** Pentru validarea TRL-3 a acestei componente, am proiectat și realizat experimente în care am calculat probabilitatea de detecție accidentală a unor astfel de comenzi (figura 11a) **afată sub 0.2%** pentru comenzi de lungime cel puțin 2, respectiv am determinat ratele de recunoaștere pentru comenzi realizate cu ochii de către participanții cu și fără dizabilități motorii (figura 11b). Ratele de recunoaștere au fost calculate pentru diverse configurații ale distribuției locațiilor de fixare pe marginea ecranului (e.g., secvențe de 2, respectiv 3 locații plasate în două configurații, i.e., colțuri și mijlocul laturilor ecranului (condiția Corner-Middle), respectiv plasate la întâmplare (condiția Random)), cu rezultate indicând **rate de recunoaștere de până la 96.0% pentru utilizatorii cu dizabilități motorii**; vezi figura 11b.

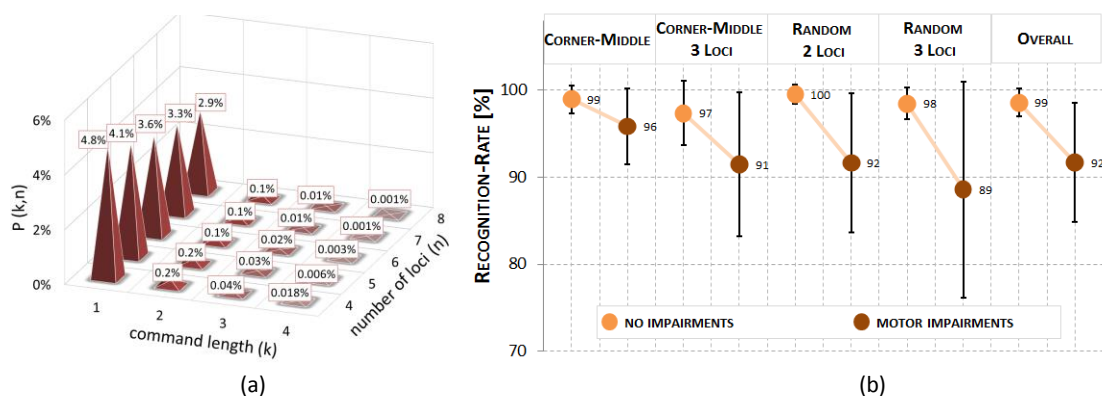


Figura 11. Probabilitatea de detecție falsă (a) și rata de recunoaștere (b) pentru comenzile realizate cu ochii.

4. **Componenta de asistare a interacțiunii prin determinarea stării cognitiv-emoționale a utilizatorului ca urmare a analizei EEG.** Pentru validarea acestei componente, am realizat o analiză a măsurătorilor EEG privind starea cognitiv-emoțională a utilizatorilor în funcție de tipul gestului. Figura 12 ilustrează rezultatele obținute pentru participanții cu dizabilități motorii, evidențiind modul în care măsurătorile EEG reflectă complexitatea geometrică a gesturilor considerate pentru acest experiment; de exemplu simbolurile “euro”, “star”, sau “paperclip” necesită o concentrare mai mare (măsurată prin *Short Term Excitement*) decât în cazul gesturilor simple (“down”, “right”, “check”, etc.), respectiv percepția realizării incorecte sau ineficiente a gesturilor determină un nivel de frustrare mai mare (indicat de variabila *Frustration*). Aceste rezultate experimentale au reprezentat suportul pentru implementarea bazată pe reguli probabilistice pentru activarea și afișarea de mesaje personalizate utilizatorilor în funcție de starea cognitiv-emoțională detectată în timpul interacțiunii.

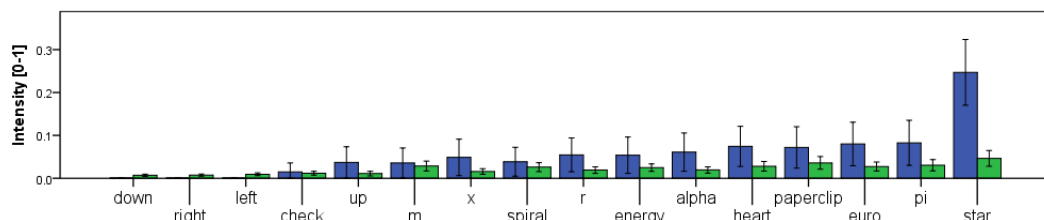


Figura 12. Valorile intensităților pentru frustrare (verde), respectiv atenția/excitația pe termen scurt (albastru) măsurate pentru participanții cu dizabilități motorii în timpul execuției gestuale.

Pasul 3: Atingerea nivelului TRL-4 prin integrarea componentelor individuale și testarea sistemului integrat în condiții de laborator

Am integrat componentele individuale și am testat sistemul integrat în condiții de laborator pentru confirmarea nivelului de maturitate tehnologică TRL-4. Componentele au fost integrate în cadrul aplicației VerGE (Voice, Eye gaze, Gesture & EEG) la nivel TRL-4, nivel care a fost validat folosind:

- Măsurători ale performanței tehnice a aplicației integrate din perspectiva criteriului “*Performance efficiency*” din standardul ISO/IEC 25010:2011⁷ (Systems and software Quality Requirements and Evaluation) privind caracteristicile de performanță *time behavior, resource utilization, capacity*.

⁷ <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:25010:ed-1:v1:en>

- Măsurători utilizator din perspectiva utilizabilității, conform standardului ISO 9241-11⁸ (Ergonomics of human-system interaction, Part 11: Usability) privind eficacitatea, eficiența și satisfacția cu care utilizatorii țintă reușesc să îndeplinească obiectivele într-un context de lucru specificat. Pentru sistemul integrat TRL-4 ne-am concentrat pe evaluarea utilizabilității, întrucât eficacitatea și eficiența componentelor individuale au fost validate în cadrul multiplelor experimente anterioare.

Pentru evaluarea performanțelor tehnice, am evaluat următorii indicatori reprezentativi pentru criteriile ISO/IEC 25010:2011 Performance Efficiency privind aplicațiile Windows⁹. Valorile raportate în continuare sunt valori medii, însoțite de deviația standard, rezultate dintr-un număr de N=24 rulări repetate ale aplicației VErGE în diverse configurații de utilizare privind modalitățile/dispozitivele de intrare activate: gesturi, voce, urmărirea privirii, respectiv EEG.

- **TotalCPUTime**, durata totală de timp de utilizare a procesorului de către aplicația VErGE (între 4.0% și 21.7% pentru toate rulările, media $M = 13.0\%$, deviația standard $SD = 5.7\%$).
- **UserCPUTime**, durata de timp în care a fost executat cod în cadrul porțiunii de aplicație (între 2.6% și 17.0%, $M = 9.7\%$, $SD = 4.5\%$).
- **PrivilegedCPUTime**, durata de timp în care aplicația a executat instrucțiuni în cadrul nucleului sistemului de operare Windows, *e.g.*, drivere, servicii sistem, schimbări de context, IRPs, etc. (între 1.1% și 5.5%, $M = 3.3\%$, $SD = 1.2\%$).
- **Threads**, numărul de fire de execuție active (între 25 și 64, $M = 41.3$, $SD = 10.9$).
- **PrivateMemorySize64**, cantitatea de memorie alocată aplicației care nu poate fi partajată cu alte procese (între 54.6 și 74.7 MB, $M = 65.6$ MB, $SD = 6.3$ MB).
- **WorkingSet64**, cantitatea de memorie fizică alocată efectiv de către sistemul de operare pentru rularea aplicației (între 70.8 și 92.8 MB, $M = 82.8$ MB, $SD = 7.7$ MB). Valoarea *peak* înregistrată pentru indicatorul WorkingSet64 a fost $M = 87.1$ MB, $SD = 7.5$ MB.

În cadrul studiului de utilizabilitate au participat N=5 persoane, conform recomandărilor pentru studii de utilizabilitate ale Nielsen-Norman Group¹⁰, cu diverse tipuri de dizabilități motorii (*i.e.*, tetrapareză spastică (3 participanți), distrofie musculară Limb-Girdle, respectiv phocomelia). Persoanele au fost selectate din rândul participanților la experimentele anterioare, astfel încât să existe participanți care să poată folosi toate modalitățile (N=3), dar și participanți aflați în imposibilitatea de a folosi anumite modalități (*e.g.*, participantul nr. 2 nu a putut executa comenzile cu ochii datorită unei dizabilități vizuale). Participanților li s-a prezentat aplicația și comenzile disponibile și li s-a cerut executarea repetată a unor comenzi, generate aleator, folosind fiecare modalitate (permisă de abilitățile fiecărui participant). La sfârșitul studiului, experiența utilizator a fost colectată folosind testul standardizat System Usability Scale - SUS (Brooke, 1996; 2013). Rezultatele au arătat un **scor mediu SUS=85, care se încadrează în intervalul “excellent” (80-90) privind utilizabilitatea percepută**, cf. (Bangor *et al.*, 2009), **precum și în categoria “high acceptability range”,** cf. (Bangor *et al.*, 2008). Secvențe video

⁸ <https://www.iso.org/standard/63500.html>

⁹ <https://docs.microsoft.com/en-us/sysinternals/downloads/procmon>

¹⁰ <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>



reprezentative pentru evaluarea aplicației integrate pot fi vizualizate într-un montaj video disponibil pe pagina web a proiectului, secțiunea Media.

4. MODUL DE ATRIBUIRE ȘI EXPLOATARE A DREPTURILOR DE PROPRIETATE ASUPRA REZULTATELOR PROIECTULUI

În conformitate cu prevederile contractului de finanțare, articolul 17, paragraful 17.1, *“Rezultatele cercetărilor obținute pe baza derulării Contractului aparțin Contractorului, partenerilor acestuia în cadrul proiectului și/sau angajaților acestora, conform Acordului Ferm de Colaborare și conform legislației în vigoare referitoare la titlurile de proprietate industrială și drepturile de autor. Rezultatele cercetărilor sunt administrate de proprietarii acestora, cu toate drepturile care decurg din calitatea de proprietar.”* Acest proiect de cercetare-dezvoltare a fost realizat de Universității “Ștefan cel Mare” din Suceava., fără alți parteneri și, prin urmare, drepturile revin exclusiv membrilor echipei de implementare din partea Universității din Suceava.

Considerând faptul că rezultatele cercetării de natură tehnică și științifică, în special în dezvoltarea de tehnologii noi, sunt de interes public, aceste rezultate au fost diseminate în cadrul a 11 lucrări științifice în reviste sau conferințe prestigioase (e.g., conferințe A*, A, respectiv B, conform ARC CORE 2018), fiind disponibile în ACM Digital Library și pe pagina web a proiectului de cercetare-dezvoltare. În plus, în conformitate cu angajamentele asumate în propunerea de proiect, codul sursă al aplicațiilor software dezvoltate a fost făcut liber, în regim open-source (sub licența New BSD sau The 3-clause BSD License agreement¹¹). Sperăm că prin acest demers, rezultatele cercetării vor avea un impact mult mai mare asupra dezvoltării de aplicații practice pentru asistarea utilizatorilor cu dizabilități motorii în interacțiunea cu sistemele informatice. Tot din aceleași considerente, seturile de date experimentale sunt disponibile public pentru a stimula noi cercetări în domeniul interfețelor gestuale pentru utilizatorii cu dizabilități motorii.

Membrii echipei vor urmări exploatarea acestor rezultate în viitor prin atragerea de noi fonduri de finanțare această direcție promițătoare de cercetare, respectiv prin continuarea publicării rezultatelor aferente activităților realizate în acest proiect.

5. IMPACTUL REZULTATELOR OBTINUTE CU SUBLINIAREA CELUI MAI SEMNIFICATIV REZULTAT

Publicații științifice realizate în cadrul proiectului

Rezultatele științifice obținute în cadrul proiectului au fost diseminate în conferințe foarte selective (dintre care trei conferințe cu ratele de acceptare de 22.0%, 23.1%, respectiv 25.7%) relevante pentru tematica proiectului din domeniul interacțiunii om-calculator (HCI). Două articole au fost publicate în

¹¹ <https://opensource.org/licenses/BSD-3-Clause>

cadrul conferinței **ACM CHI 2018 (rang A*, conform ARC CORE 2018, aflată pe primul loc în clasamentul publicațiilor din domeniul Human-Computer Interaction ordonate după indicele h_s, clasament cuprinzând atât reviste cât și conferințe¹²)** iar 5 articole au fost publicate în cadrul ACM MobileHCI 2018 și ACM DIS 2018 (conferințe de rang B, conform clasamentului curent ARC CORE 2018), dintre care un articol a primit distincția **Honorable Mention Award**. Lista articolelor publicate în cadrul proiectului:

1. Radu-Daniel Vatavu, Lisa Anthony, Jacob O. Wobbrock. (2018). \$Q: A Super-Quick, Articulation-Invariant Stroke-Gesture Recognizer for Low-Resource Devices. In *Proceedings of MobileHCI '18, the 20th ACM International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (Barcelona, Spain, September 2018). ACM, New York, NY, USA, Article No. 23 (12 pages) DOI: <https://doi.org/10.1145/3229434.3229465>
Rata de acceptare: 23.1% (50/216) | ARC B (CORE 2018) | HONORABLE MENTION AWARD
2. Luis A. Leiva, Daniel Martín-Albo, Radu-Daniel Vatavu. (2018). GATO: Predicting Human Performance with Multistroke and Multitouch Gesture Input. In *Proceedings of MobileHCI '18, the 20th ACM International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (Barcelona, Spain, September 2018). ACM, New York, NY, USA, Article No. 32 (11 pages) DOI: <https://doi.org/10.1145/3229434.3229478>
Rata de acceptare: 23.1% (50/216) | ARC B (CORE 2018)
3. Ovidiu-Ciprian Ungurean, Radu-Daniel Vatavu, Luis A. Leiva, and Daniel Martín-Albo. (2018). Predicting Stroke Gesture Input Performance for Users with Motor Impairments. In *Proceedings of MobileHCI '18 Adjunct, the 20th ACM International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (Barcelona, Spain, September 2018). ACM, New York, NY, USA, 23-30 (8 pages) DOI: <https://doi.org/10.1145/3236112.3236116>
ARC B (CORE 2018)
4. Bogdan-Florin Gheran, Ovidiu-Ciprian Ungurean, Radu-Daniel Vatavu. (2018). Toward Smart Rings as Assistive Devices for People with Motor Impairments: A Position Paper. In *Proceedings of RoCHI '18, 15th International Conference on Human-Computer Interaction* (Cluj-Napoca, Romania, September 2018). Matrix Rom, 99-106 (7 pages) DOI: <https://dblp.org/rec/conf/rochi/GheranUV18>
5. Bogdan-Florin Gheran, Jean Vanderdonckt, Radu-Daniel Vatavu. (2018). Gestures for Smart Rings: Empirical Results, Insights, and Design Implications. In *Proceedings of DIS '18, the 13th ACM Conference on Designing Interactive Systems* (Hong Kong, China, June 2018). ACM, New York, NY, USA, 623-635 (13 pages) DOI: <https://doi.org/10.1145/3196709.3196741>
Rata de acceptare: 22.0% (107/487) | ARC B (CORE 2018)
6. Bogdan-Florin Gheran, Radu-Daniel Vatavu, Jean Vanderdonckt. (2018). Ring x2: Designing Gestures for Smart Rings using Temporal Calculus. In *Proceedings of the 2018 ACM Conference Companion Publication on Designing Interactive Systems* (Hong Kong, China, June 2018). ACM, New York, NY, USA, 117-122 (6 pages) DOI: <https://doi.org/10.1145/3197391.3205422>
Rata de acceptare: 46.7% (50/107) | ARC B (CORE 2018)

¹² https://scholar.google.es/citations?view_op=top_venues&hl=en&vq=eng_humancomputerinteraction



7. Luis A. Leiva, Daniel Martín-Albo, Réjean Plamondon, Radu-Daniel Vatavu. (2018). KeyTime: Super-Accurate Prediction of Stroke Gesture Production Times. In *Proceedings of CHI '18, the 36th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (Montreal, Canada, April 2018). ACM, New York, NY, USA, paper No. 239 (12 pages) DOI: <https://doi.org/10.1145/3173574.3173813>
Rata de acceptare: 25.7% (666/2592) | ARC A* (CORE 2018)
8. Ovidiu-Ciprian Ungurean, Radu-Daniel Vatavu, Luis A. Leiva, Réjean Plamondon. (2018). Gesture Input for Users with Motor Impairments on Touchscreens: Empirical Results based on the Kinematic Theory. In *Proceedings of CHI EA '18, the 36th ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (Montreal, Canada, April 2018). ACM, New York, NY, USA, paper LBW537 (6 pages) DOI: <https://doi.org/10.1145/3170427.3188619>
Rata de acceptare: 39.8% (255/641) | ARC A* (CORE 2018)
9. Petru-Vasile Cioată and Radu-Daniel Vatavu. 2018. In Tandem: Exploring Interactive Opportunities for Dual Input and Output on Two Smartwatches. In *Proceedings of the 23rd International Conference on Intelligent User Interfaces Companion (IUI '18 Companion)*. ACM, New York, NY, USA, article no. 60, 2 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3180308.3180369>
ARC A (CORE 2018) | ACM SIGCHI STUDENT GRANT
10. Ovidiu-Ionuț Gherman, Ovidiu-Andrei Schipor, Bogdan-Florin Gheran. (2018). VErGE: A system for collecting voice, eye gaze, gesture, and EEG data for experimental studies. In *Proceedings of DAS '18, the 14th International Conference on Development and Application Systems* (Suceava, Romania, May 2018). IEEE, 150-155 (6 pages) DOI: <https://doi.org/10.1109/DAAS.2018.8396088>
11. Radu-Daniel Vatavu. (2017). Characterizing Gesture Knowledge Transfer across Multiple Contexts of Use. *Journal on Multimodal User Interfaces* 11 (4). Springer, 301-314 (14 pages) DOI: <https://doi.org/10.1007/s12193-017-0247-x>
IF: 1.031 | 5-Year IF: 1.039 (JCR 2016)

Colaborări internaționale cu instituții de prestigiu realizate în cadrul proiectului

Pe perioada derulării proiectului au fost întreprinse o serie de colaborări științifice cu cercetători de prestigiu pentru obținerea de rezultate la un nivel înalt, astfel: **Prof. Jacob O. Wobbrock** (University of Washington, USA, >11,000 citări, h=56, expert în domeniul interacțiunii om-calculator, recunoașterea și analiza gesturilor și proiectarea de tehnologie asistivă pentru utilizatori cu dizabilități¹³); **Prof. Réjean Plamondon** (École Polytechnique de Montréal, Montreal, Canada, >12,000 citări, h=44, expert în modelarea mișcării umane și recunoașterea formelor¹⁴); **Prof. Jean Vanderdonckt** (Université catholique de Louvain, Belgia, > 12,000 citări, h=55, expert în interacțiunea om-calculator și inginerie software¹⁵); **Dr. Lisa Anthony** (University of Florida, expert în interfețe gestuale¹⁶); **Dr. Luis A. Leiva** (Chief Technology Officer la Sciling València, fost Universitat Politècnica de València, Spania, expert în

¹³ <https://scholar.google.com/citations?user=TmZ3howAAAAJ&hl=en>

¹⁴ <https://scholar.google.com/citations?user=486uCVgAAAAJ&hl=en>

¹⁵ <https://scholar.google.com/citations?user=U-FgGrKAAAAJ&hl=en>

¹⁶ <https://scholar.google.com/citations?user=GUucp2UAAAAJ&hl=en>

modelarea gesturilor, interacțiunea om-calculator și învățarea automată¹⁷). Aceste colaborări au permis obținerea de rezultate cheie în domeniul analizei gesturilor efectuate pe ecrane tactile, aplicațiilor pentru utilizatori cu dizabilități motorii, respectiv recunoașterii gesturilor folosind tehnici performante. Figura 13 rezumă harta colaborărilor științifice cu instituții prestigioase.

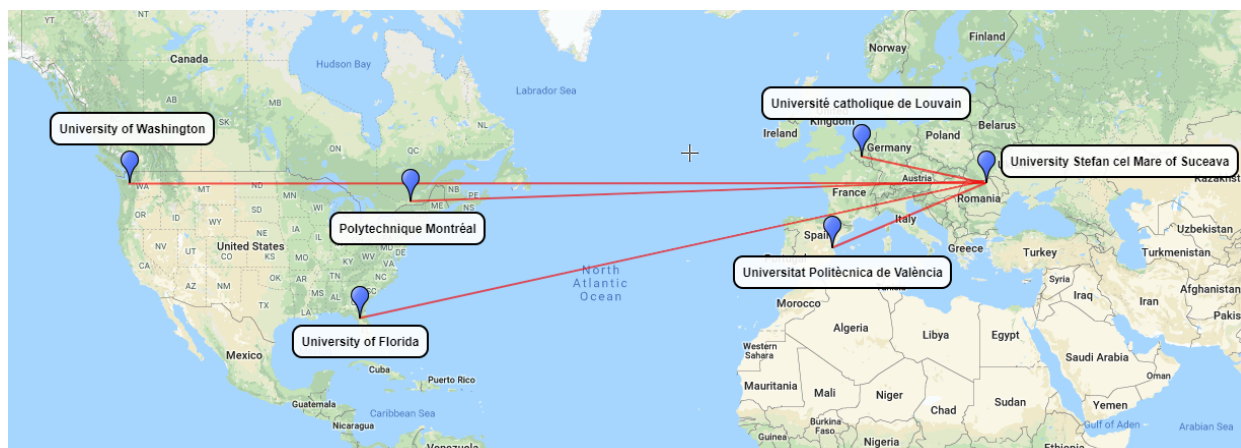


Figura 13. Harta colaborărilor științifice realizate, materializate în publicații la conferințe de top: ACM CHI '18 (rang A*, CORE 2018), ACM MobileHCI '18 (rang B, CORE 2018 - Honorable Mention Award), respectiv ACM DIS '18 (rang B, CORE 2018).

Baze de date în premieră pentru comunitatea științifică și aplicații software open-source

Pe lângă contribuțiile de natură științifică diseminate în cadrul articolelor, am obținut următoarele contribuții și rezultate tehnice:

- Aplicație software pentru achiziția gesturilor de atingere, date privire, comenzi verbale și electroencefalogramă (EEG) în cadru experimental.
- Aplicație software VerGE implementând un model experimental de nivel tehnologic TRL-4 pentru utilizatori cu dizabilități motorii în vederea efectuării de comenzi folosind gesturi de atingere, comenzi verbale și urmărirea privirii cu asistență oferită de analiza datelor EEG. Această aplicație reprezintă **rezultatul principal al proiectului**.
- Seturi de date experimentale constând în:
 1. O bază de date alcătuită dintr-un număr de **9,681 gesturi de atingere** colectate de la 70 de utilizatori, dintre care 35 cu dizabilități motorii.
 2. O bază de date alcătuită dintr-un număr de **3,600 de înregistrări audio, gesturi, EEG și date privire** colectate de la 25 de utilizatori, dintre care 9 cu dizabilități motorii.

În conformitate cu activitățile desfășurate, rezultatele tehnice și științifice obținute în perioada august 2017 – decembrie 2018, activitățile de diseminare și deplasările efectuate, colaborările întreprinse, publicațiile realizate, precum și în conformitate cu activitățile de management întreprinse în această perioadă, considerăm obiectivele proiectului îndeplinite în procent de 100%.

¹⁷ <https://scholar.google.com/citations?user=N0E7MIUAAAAJ&hl=en>

REFERINȚE

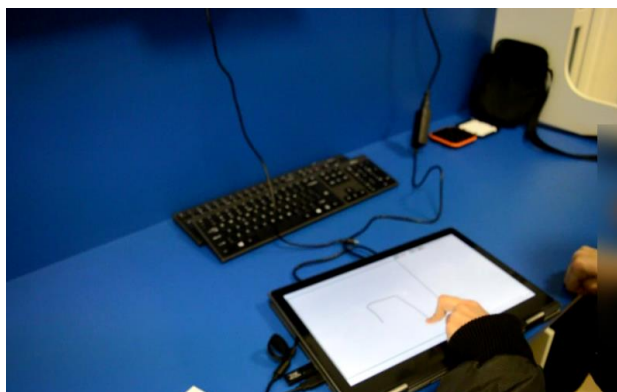
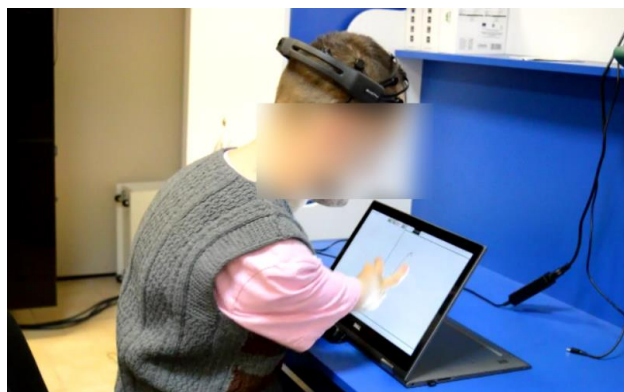
- (ICF, 2001) World Health Organization. (2001). The International Classification of Functioning, Disability and Health. <http://www.who.int/classifications/icf/en/>
- (Bangor *et al.*, 2009) Bangor, A., Kortum, P., Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of Usability Studies* 4, 3, 114–123. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2835589>
- (Bangor *et al.*, 2008) Bangor, A., Kortum, P. T., Miller, J. T. (2008). An empirical evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574-594. <http://dx.doi.org/10.1080/10447310802205776>
- (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>
- (Plamondon, 1995) 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>
- (Ungurean *et al.*, 2018) Ovidiu-Ciprian Ungurean, Radu-Daniel Vatavu, Luis A. Leiva, and Réjean Plamondon. 2018. Gesture Input for Users with Motor Impairments on Touchscreens: Empirical Results based on the Kinematic Theory. In *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '18)*. ACM, New York, NY, USA, Paper LBW537, 6 pages. <https://doi.org/10.1145/3170427.3188619>
- (Vatavu *et al.*, 2011) Vatavu, R.-D., Vogel, D., Casiez, G., Grisoni, L. 2011. Estimating the perceived difficulty of pen gestures. In *Proceedings of the 13th IFIP TC 13 international conference on Human-computer interaction - Volume Part II (INTERACT'11)*. Springer, Berlin, 89-106. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-23771-3_9
- (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 *et al.*, 2018) Vatavu, R.-D., Anthony, L., Wobbrock, J.O. (2018). \$Q: A Super-Quick, Articulation-Invariant Stroke-Gesture Recognizer for Low-Resource Devices. In *Proceedings of MobileHCI '18, the 20th ACM International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (Barcelona, Spain, September 2018). ACM, New York, NY, USA, Article No. 23 (12 pages) <https://doi.org/10.1145/3229434.3229465>
- (WHO, 2011) World Health Organization. (2011). WHO World Report on Disability. http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/report.pdf
- (Wobbrock *et al.*, 2018) Wobbrock, J.O., Gajos, K.Z., Kane, S.K., Vanderheiden, G.C. 2018. Ability-based design. *Commun. ACM* 61, 6 (May 2018), 62-71. <https://doi.org/10.1145/3148051>

5. PREZENTAREA SUCCINTĂ A REZULTATELOR PENTRU PUBLICUL LARG

Conform cerințelor privind redactarea raportului final, acesta trebuie să conțină și o prezentare succintă (2-3 paragrafe) a rezultatelor obținute, pe înțelesul publicului, ce urmează a fi diseminate de către Autoritatea Contractantă în materiale de promovare, împreună cu 2-4 fotografii reprezentative pentru proiect.

În acest proiect, am adresat problema interacțiunii prin gesturi cu ecrane tactile pentru persoanele cu dizabilități motorii. Am achiziționat date care au scos în evidență diferențele de performanță dintre persoanele cu și fără dizabilități și, plecând de la aceste rezultate, am propus un algoritm eficient de recunoaștere a gesturilor, precum și tehnici de interacțiune folosind modalități alternative, cum ar fi recunoașterea comenzilor verbale, recunoașterea comenzilor efectuate cu ochii, respectiv asistarea interacțiunii prin oferirea de feedback personalizat în funcție de starea cognitiv-emoțională a utilizatorului. Tehnicile, implementate sub formă de componente software, au fost integrate în cadrul aplicației VERGE (Voice, Eye gaze, Gesture & EEG) care permite folosirea modalităților amintite pentru execuția de comenzi frecvente, cum ar fi deschiderea unui program sau redarea unui film.

Un număr de 70 de persoane, dintre care 35 cu dizabilități motorii, a fost implicat în cadrul activităților de achiziție de date experimentale, respectiv de evaluare a diverselor componente și a aplicației integrate. Rezultatele științifice ale proiectului au fost diseminate într-un număr de 11 articole publicate la manifestări prestigioase (e.g., conferințe de rang A*, A, sau B, conform clasificării ARC CORE 2018). Pagina web a proiectului (<http://www.eed.usv.ro/mintviz/projects/MotorSkill/>) conține numeroase resurse, cum ar fi cod sursă disponibil în regim open-source (licență BSD) pentru aplicațiile dezvoltate.



Director proiect,
Radu-Daniel VATAVU

20/20

