

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

privind implementarea proiectului

WEARSKILL: INTERACȚIUNI FLUIDE CU DISPOZITIVE WEARABLE SMART PENTRU ABILITĂȚI MOTORII SPECIFICE

în perioada ianuarie – august 2022 (etapa nr. 3)

Cod proiect	PN-III-P2-2.1-PED-2019-0352
Nr. contract	276PED/2020
Acronim	WearSkill
Director proiect	Radu-Daniel VATAVU
Contractor	Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava str. Universității nr. 13 Suceava 720229 România
Pagina web	http://www.eed.usv.ro/mintviz/projects/WearSkill

Cuprins

1. REZUMATUL ETAPEI	3
Obiectivele proiectului.....	3
Membrii echipei de cercetare	3
Obiectivele și activitățile etapei.....	3
Rezultate așteptate pentru etapa nr. 3, conform planului de realizare	4
2. DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ	4
2.1. Implementare arhitectură software pentru interschimbarea dispozitivelor wearable în contextul proiectării bazate pe abilități.....	5
2.2. Integrarea tehnicilor de interacțiune de nivel TRL-4	8
2.3. Evaluarea performanțelor tehnice, validare și studiu utilizator pentru confirmarea nivelului de maturitate tehnologică TRL-4	10
2.3.1. Evaluarea recunoașterii comenzilor gestuale	10
2.3.2. Evaluarea recunoașterii comenzilor vocale	13
2.3.3. Evaluarea performanțelor tehnice ale arhitecturii software suport pentru WearSkill	15
2.3.4. Evaluarea acurateții recomandărilor personalizate pentru dispozitive wearable și modalități de intrare	16
3. ALTE ACTIVITĂȚI REALIZATE ÎN CADRUL ETAPEI	17
4. PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE ALE ETAPEI.....	18
REFERINȚE	18



1. REZUMATUL ETAPEI

Obiectivele proiectului

Acest proiect își propune dezvoltarea de noi tehnologii interactive pentru a crește accesibilitatea dispozitivelor wearable de tipul ochelarilor, ceasurilor și inelelor smart pentru utilizatorii cu dizabilități motorii prin folosirea de comenzi bazate pe gesturi (*e.g.*, gesturi de tip atingere touch și multitouch, gesturi ale mâinii și mișcări ale capului), respectiv comenzi vocale într-o paradigmă de proiectare, implementare și evaluare centrată pe specificul abilităților motorii ale utilizatorilor acestor dispozitive. Rezultatul principal urmărit în cadrul proiectului este reprezentat de un model experimental de nivel de maturitate tehnologică TRL-4. Alte rezultate estimate includ: set de date experimentale constând în comenzi gestuale efectuate folosind ochelari, ceasuri și inele smart; analiza comenzilor gestuale și vocale realizate de către utilizatori cu dizabilități motorii cu dispozitive wearable; algoritm de recunoaștere a gesturilor executate folosind dispozitive de tip ceas, ochelari și inel smart; rezultate experimentale. În acest scop, proiectul își fixează următoarele obiective concrete:

01. Înțelegerea modului în care persoanele cu dizabilități motorii folosesc dispozitive wearable de tipul ochelarilor, ceasurilor și inelelor smart.
02. Proiectarea și implementarea de tehnici de interacțiune de nivel TRL-3 pentru ochelari, ceasuri și inele smart.
03. Integrarea și validarea tehnicilor de interacțiune într-un model experimental de nivel TRL-4.

Membrii echipei de cercetare

Echipa proiectului de cercetare-dezvoltare este alcătuită din cinci membri:

1. Radu-Daniel Vatavu (prof. univ. dr. ing., Conducător de doctorat în domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației), Director de proiect
2. Ovidiu-Andrei Schipor (conf. univ. dr. ing., cercetător în Calculatoare)
3. Ovidiu-Ciprian Ungurean (dr. ing., cercetător în Calculatoare)
4. Alexandru-Ionuț Șiean (drd. ing., domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației)
5. Laura-Bianca Bilius (drd., domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației)

Obiectivele și activitățile etapei

Activitățile de cercetare-dezvoltare ale proiectului (de tip A3, dezvoltare experimentală), precum și activitățile suport desfășurate în perioada ianuarie – august 2022 în cadrul [Laboratorului de Cercetare în Mașini Inteligente și Vizualizarea Informației \(MintViz\)](#) al Universității “Ștefan cel Mare” din Suceava, fac parte din etapa nr. 3 de implementare având drept obiectiv “Integrarea TRL-4 și validarea tehnicilor de interacțiune pentru dispozitive wearable și utilizatori cu dizabilități motorii”, după cum urmează:

- Act. 3.1 – Implementare arhitectură software pentru interschimbarea dispozitivelor wearable în contextul proiectării bazate pe abilități
- Act. 3.2 – Integrarea tehnicilor de interacțiune de nivel TRL-4

- Act. 3.3 – Evaluarea performanțelor tehnice, validare și studiu utilizator pentru confirmarea nivelului de maturitate tehnologică TRL-4
- Act. 3.4 – Diseminarea pe scară largă prin comunicarea și publicarea națională sau internațională a rezultatelor
- Act. 3.5 – Diseminare și participare la manifestări tehnico-științifice
- Act. 3.6 – Vizite de lucru

Rezultate așteptate pentru etapa nr. 3, conform planului de realizare

- **Rezultat așteptat:** Raportul de cercetare al etapei
Rezultat realizat: Raport tehnic și științific cuprinzând un număr de 20 de pagini detaliind progresul realizat și rezultatele obținute în cadrul etapei nr. 3 de implementare a proiectului de cercetare-dezvoltare pentru anul 2022 (acest raport).
- **Rezultat așteptat:** Aplicație software model experimental de nivel TRL-4
Rezultat realizat: Aplicația software WearSkill (Schipor *et al.*, 2022a; 2022b; Schipor și Vatavu, 2022) pentru interacțiuni gestuale și vocale personalizate (Ungurean și Vatavu, 2022; Vatavu și Ungurean, 2022) cu dispozitive wearable de tip ceas, ochelari și inel, furnizată sub o licență open-source și disponibilă pe pagina web a proiectului de cercetare-dezvoltare. De asemenea, o evaluare a aplicației pentru determinarea acurateții recunoașterii comenzilor gestuale, vocale, a predicțiilor personalizate pentru dispozitivele wearable și modalitățile de interacțiune în funcție de specificul dizabilităților motorii ale utilizatorilor, precum și evaluarea performanței tehnice a componentelor software WearSkill în vederea validării nivelului de maturitate tehnologică TRL-4.
- **Rezultat așteptat:** Publicații științifice
Rezultat realizat: În cadrul etapei au fost publicate **5 lucrări științifice**: o lucrare în revista IEEE Pervasive Computing (**5-YEAR IF=4.196**), o lucrare acceptată în revista Int. Journal of Human-Computer Interaction (**5-YEAR IF=4.503**), o lucrare în cadrul conferinței ACM CHI 2022, the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (**rang A*** cf. ARC CORE¹, cel mai important canal de diseminare științifică în domeniul Human-Computer Interaction²) și două lucrări la conferința W4A 2022, the 19th Web for All Conference, dintre care una a primit două distincții: **Accessibility Challenge Judges' Award** 🏆 și **Accessibility Challenge Delegates' Award**. 🏆

2. DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ

În cadrul acestei etape am întreprins activități de integrare a rezultatelor de nivel TRL-3 ale etapelor anterioare în vederea extinderii acestora pentru atingerea nivelului de maturitate tehnologică TRL-4 planificat în cadrul proiectului. De asemenea, am realizat o validare a atingerii nivelului TRL-4 prin multiple evaluări tehnice și utilizator efectuate în condiții de laborator pentru modelul experimental reprezentat de aplicația software WearSkill (Schipor *et al.*, 2022a; 2022b).

¹ CORE (Computing Research & Education) Conference Portal, <http://portal.core.edu.au/conf-ranks>

² h5-index=113, conform https://scholar.google.ro/citations?view_op=top_venues&hl=ro&vq=eng_humancomputerinteraction



2.1. Implementare arhitectură software pentru interschimbarea dispozitivelor wearable în contextul proiectării bazate pe abilități

Rezultatele empirice ale etapei anterioare au scos în evidență efectul statistic semnificativ ($p < .05$) al simptomelor cauzate de dizabilitatea motorie (e.g., tremor, oboseală rapidă, dificultatea în controlul direcției mișcării, etc.) asupra performanțelor interacțiunii prin gesturi folosind dispozitive wearable (Vatavu și Ungurean, 2022), respectiv asupra preferințelor persoanelor cu dizabilități motorii în a utiliza astfel de dispozitive (Ungurean și Vatavu, 2022; 2021). Prin urmare, am refolosit structura aplicației web dezvoltate în etapa nr. 1 în vederea achiziției datelor experimentale pentru a propune prima arhitectură software din literatura științifică care adresează în mod direct eterogenitatea dispozitivelor wearable ce permit interacțiuni prin gesturi, precum și a preferințelor utilizatorilor pentru acestea. GearWheels (Schipor și Vatavu, 2022) este o arhitectură bazată pe evenimente care folosește tehnologii web pentru a facilita implementarea de studii și aplicații pentru o varietate de dispozitive wearable (e.g., ceasuri, ochelari și inele smart) și tipuri de gesturi (e.g., touch, multitouch, stroke-gestures, motion-gestures), cu condiția ca dispozitivele să suporte comunicații de tip HTTP și WebSocket.

Pentru proiectarea GearWheels, am folosit modelul Software Product Quality Model din cadrul SQuaRE, standardul ISO/IEC Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (ISO, 2005), de unde am selectat nouă proprietăți de calitate (R_1 - R_9 în figura 1): *modularity*, *reusability*, *testability*, *co-existence*, *interoperability*, *replaceability*, *appropriateness*, *operability* și *learnability*. De exemplu, proprietatea *modularity* din cadrul SQuaRE specifică gradul în care o componentă software poate fi descompusă în module astfel încât orice modificare într-unul dintre module să determine puține sau nicio modificare în celelalte. De asemenea, proprietatea *replaceability* face referire la gradul în care o componentă software poate fi înlocuită cu o alta fără un impact semnificativ asupra funcționării întregii arhitecturi. Pentru implementarea acestor proprietăți de calitate, am adoptat nouă strategii privind tehnologiile (S_1 - S_3 în figura 1), modul de proiectare (S_4 - S_6) și proprietățile contextuale (S_7 - S_9), astfel: *web interface*, *web languages*, *web communication*, *inversion of control-dependency injection (IoC-DI)*, *model-view controller (MVVM-C)*, *asynchronous flow*, *open source*, *cross-platform* și *test automation*. De exemplu, strategia *asynchronous flow* specifică faptul că arhitectura GearWheels tratează interacțiunile dintre componente într-un mod asincron, în conformitate cu cerințele R_4 - R_6 . De asemenea, strategia *cross-platform* face referire la posibilitatea de a rula GearWheels pe platforme cu diverse configurații hardware și software, un aspect important în WearSkill datorită eterogenității dispozitivelor wearable. Figura 1 ilustrează corespondența dintre cerințele de calitate R_1 - R_9 din cadrul ISO/IEC SQuaRE și strategiile S_1 - S_9 iar figura 3 prezintă componentele software ale arhitecturii GearWheels, după cum urmează:

- INPUTDEVICE reprezintă componenta software proiectată pentru a rula pe un dispozitiv wearable, e.g., o pereche de ochelari, cu rol principal în achiziția evenimentelor utilizator, e.g., gesturi de atingere pe rama ochelarilor. Pentru a maximiza portabilitatea (R_4 - R_6), am implementat această componentă folosind exclusiv tehnologii web (S_2 , S_3). În implementarea curentă, GearWheels oferă suport pentru achiziția gesturilor de atingere, i.e., stroke-gestures (Wobbrock *et al.*, 2007; Anthony *et al.*, 2010; 2012; Vatavu *et al.*, 2012; Magrofuoco și Vanderdonck, 2022) și de mișcare, i.e., motion-gestures (Vatavu, 2013). Figura 2 prezintă exemple de mesaje JSON pentru astfel de gesturi.

- Componenta software HUB implementează logica și interfața utilizator, fiind conectată logic cu toate componentele de tip INPUTDEVICE, conform cerințelor R₄-R₆. Aceste conexiuni sunt mediate de către LINK, o componentă ce implementează comunicațiile asincrone (S₃, S₆) în cadrul arhitecturii.
- Componenta LINK este o aplicație node.js (S₂, S₃) cu rolul de a media comunicațiile dintre componentele software folosite în cadrul unei anumite aplicații ce integrează dispozitive wearable. LINK stabilește conexiuni full-duplex WebSocket și transmite mesajele între HUB și diverse instanțe ale INPUTDEVICE. De asemenea, LINK rulează un server HTTP care conține componenta HUB.

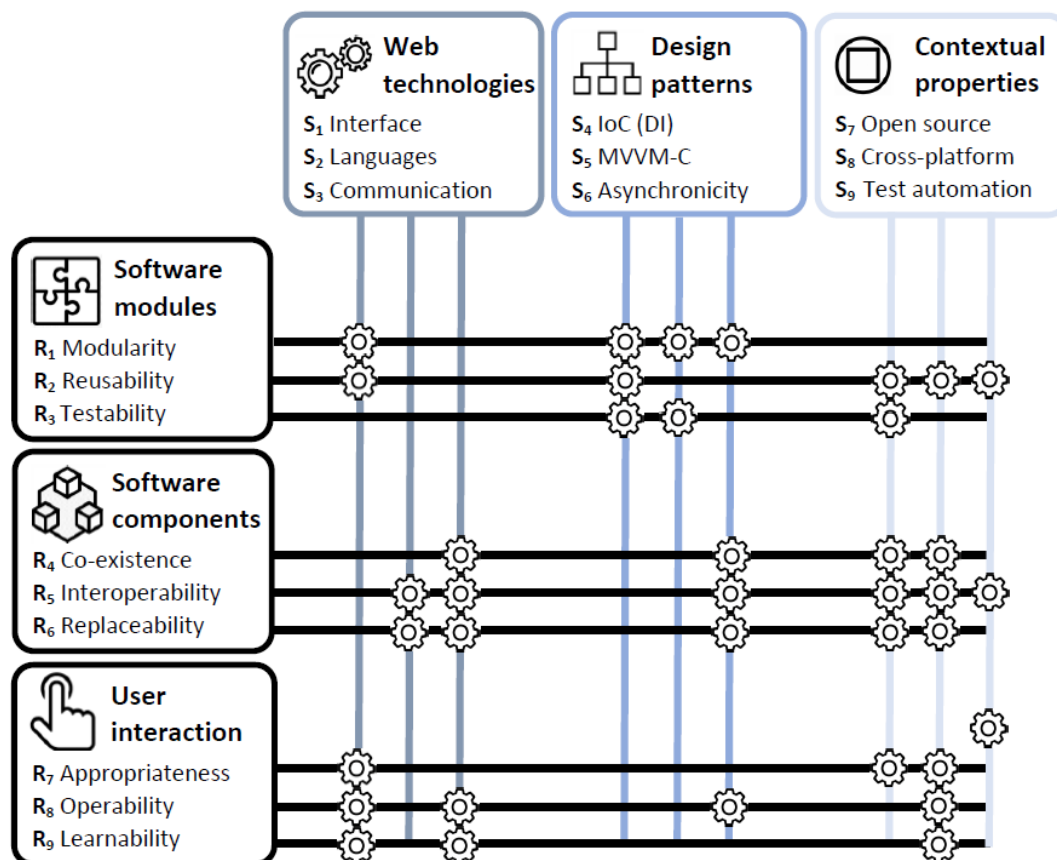


Figura 1. Proprietățile de calitate R₁-R₉ adoptate pentru arhitectura software GearWheels din cadrul modelului ISO/IEC SQuaRE și corespondența cu strategiile noastre de implementare S₁-S₉.

O lucrare cu aceste rezultate a fost acceptată în revista International Journal of Human-Computer Interaction (**Q1, 5-YEAR IF=4.503, conform Journal Citation Reports 2021**):



Ovidiu-Andrei Schipor, Radu-Daniel Vatavu. (2022). GearWheels: A Software Tool to Support User Experiments on Gesture Input with Wearable Devices. *International Journal of Human-Computer Interaction*. Taylor & Francis.
<https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2098907> (5-YEAR IF=4.503)



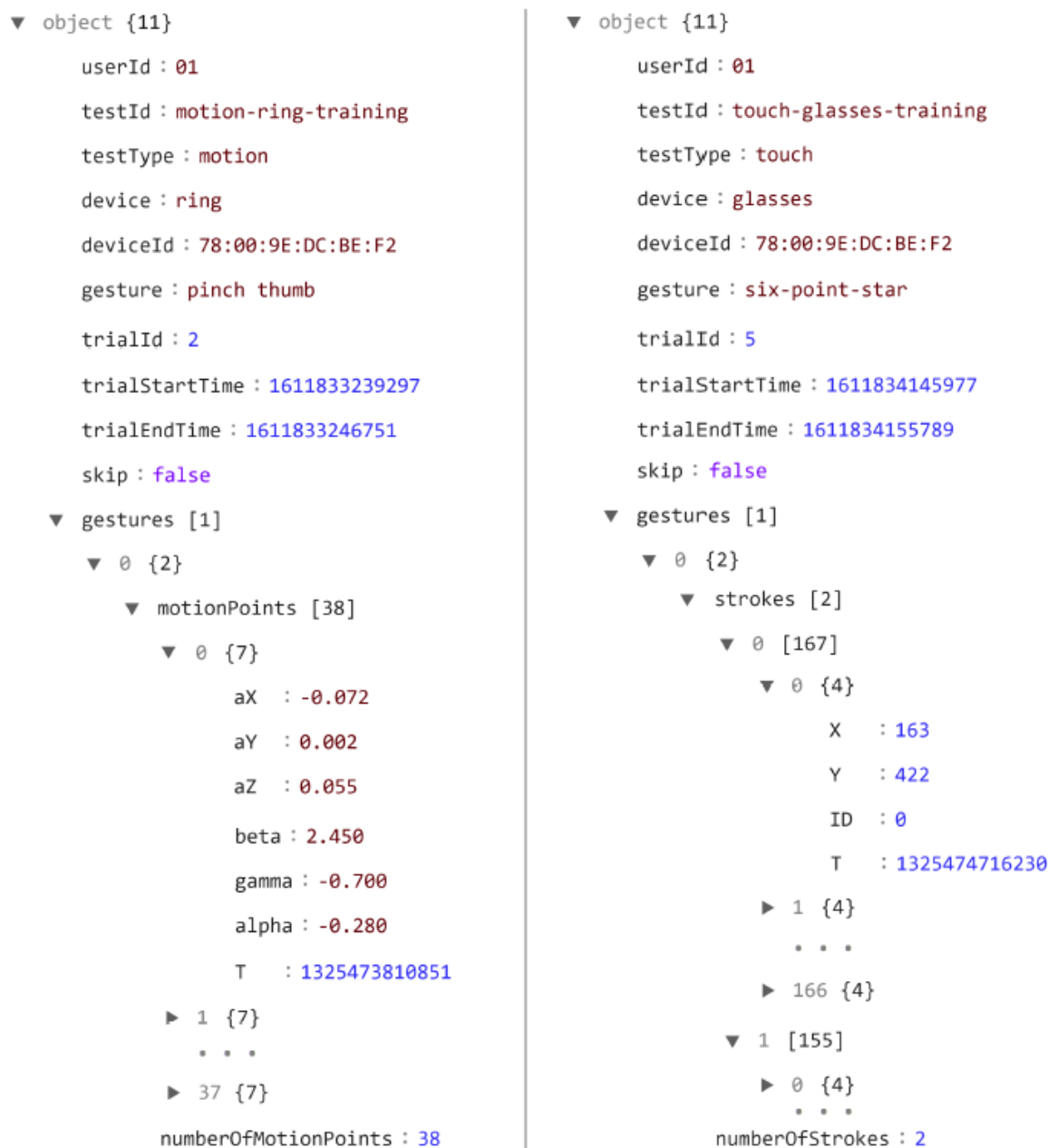


Figura 2. Exemple de mesaje JSON folosite pentru reprezentarea gesturilor de mișcare accelerată (stânga), respectiv a gesturilor de atingere (dreapta) în cadrul arhitecturii software GearWheels. Mai multe detalii se află în (Schipor și Vatavu, 2022).

O pagină web dedicată arhitecturii GearWheels, incluzând codul sursă sub o licență open-source, este disponibilă la adresa <http://www.eed.usv.ro/mintviz/resources/GearWheels>, iar o demonstrație video se află la adresa <https://www.youtube.com/watch?v=SzrEiMnD1Gs>.

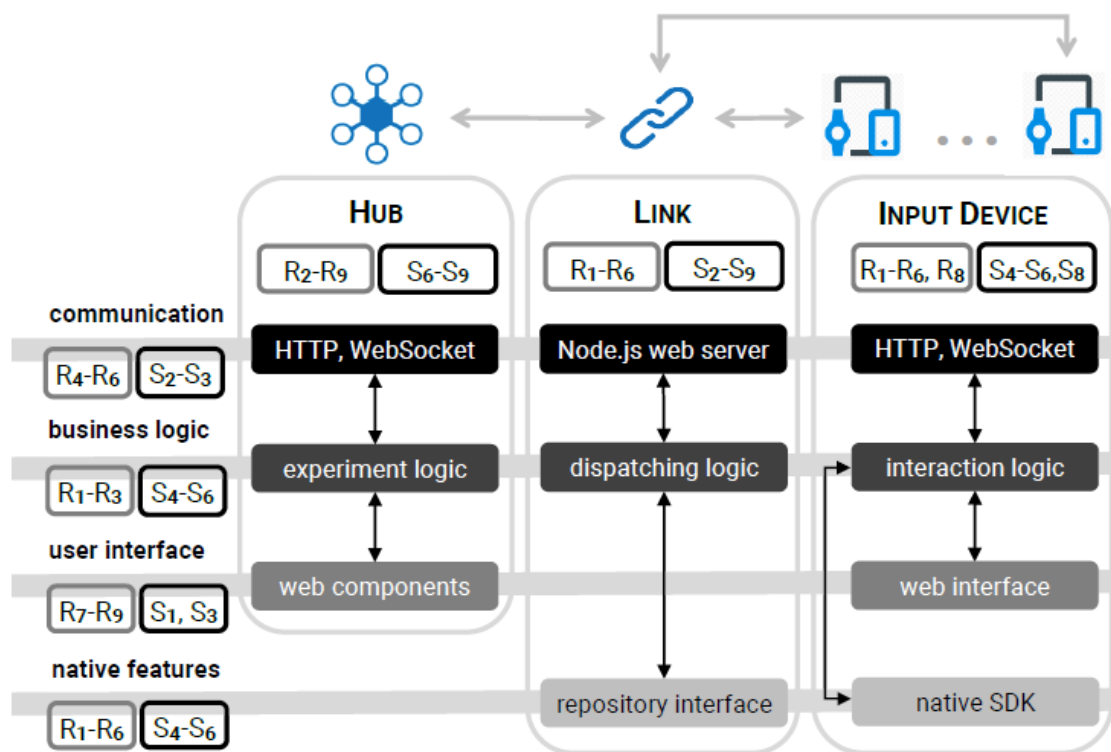


Figura 3. Diagrama arhitecturii software GearWheels folosită pentru implementarea modelului experimental. *Notă:* cerințele de calitate și strategiile realizează legătura conceptuală cu figura 1.

2.2. Integrarea tehnicilor de interacțiune de nivel TRL-4

Tehnicile de interacțiune de nivel TRL-3 dezvoltate în etapa anterioară de implementare a proiectului, respectiv implicațiile rezultate privind cerințele de implementare pentru proiectarea bazată pe abilități pentru dispozitive wearable și utilizatori cu dizabilități motorii au fost integrate la nivelul TRL-4 cu ajutorul arhitecturii GearWheels sub forma modelului experimental reprezentat de aplicația software WearSkill; a se vedea figura 4 pentru câteva capturi de ecran. Secțiunile aplicației implementează aspecte specifice ale personalizării utilizării dispozitivelor wearable, după cum urmează:

- Secțiunea PROFILE permite introducerea de informații privind simptomele cauzate de dizabilitatea motorie, conform categoriilor din (Findlater *et al.*, 2010), cum ar fi tremorul sau oboseala rapidă.
- Secțiunea PREFERENCES implementează recomandări generate de un algoritm de învățare automată pe baza informațiilor colectate în cadrul PROFILE pentru dispozitive wearable (ceas, ochelari, inel) și modalități de intrare (touch input, hand motion, head motion, voice input), în conformitate cu simptomele motorii și preferințele utilizatorilor cu dizabilități motorii (Ungurean și Vatavu, 2022).
- Specificarea dispozitivelor wearable de intrare și a dispozitivelor de ieșire ce pot fi controlate, *e.g.*, un smart TV ce rulează o aplicație cu comunicații WebSocket, este realizată în cadrul secțiunii DEVICES. Fiecare dispozitiv este identificat prin adresa sa MAC și este asociat cu una dintre următoarele categorii: *smartwatch*, *smartglasses*, *smart ring*, respectiv *generic output device*.

The figure displays four screenshots of the WearSkill application interface, organized into a 2x2 grid. Each screenshot has a top navigation bar with tabs: Profile, Preferences, Devices, Motion input, Touch input, Voice input, Commands, and Runtime monitor.

- Top Left Screenshot (Profile):** Shows the 'Profile' tab. It includes a user icon, a text box for a description, and form fields for Name, Email, Birth year, and Gender. Below these are checkboxes for various symptoms: Slow movements, Spasms, Low strength, Tremor, Poor coordination, Rapid fatigue, Difficulty gripping, Difficulty holding, Lack of sensation, Difficulty controlling direction, and Difficulty controlling distance. A 'Save profile' button is at the bottom.
- Top Right Screenshot (Preferences):** Shows the 'Preferences' tab. It includes a text box for a description and a 'Generate recommendations based on your profile' button. Below is a table for selecting input modalities for smartwatches, smartglasses, and smart ring devices. A 'Save preferences' button is at the bottom.
- Bottom Left Screenshot (Touch input):** Shows the 'Touch input' tab. It includes a hand icon, a text box for a description, and a list of gestures (double-tap, swipe-left, swipe-right, tap) with 'swipe-right' selected. There are buttons for 'Update', 'Create new', and 'Delete'. Below is a section for adding new training instances with dropdowns for 'Select motion input' and 'Select device to perform touch input', and a 'Yes/No' confirmation button.
- Bottom Right Screenshot (Runtime monitor):** Shows the 'Runtime monitor' tab. It includes a clipboard icon and a text box for a description. Below is a section for 'Connected input devices' and 'Connected output devices'. The 'Active command' section shows 'Input device' as 'watch-3', 'Input modality' as 'touch', 'Input name' as 'swipe-right', 'Command name' as 'next', and 'Output device' as 'TV'.

Figura 4. Capturi de ecran din cadrul aplicației WearSkill: simptomele raportate de utilizatorii cu dizabilități motorii (stânga sus) sunt folosite pentru a genera recomandări personalizate pentru dispozitive wearable (dreapta sus); comenzi personalizate pot fi introduse pentru modalitățile de intrare prin gesturi și voce (stânga jos); monitorizarea execuției comenzilor (dreapta jos).

- Secțiunea INPUT permite specificarea de comenzi gestuale sau vocale personalizate. Comenzile vocale sunt recunoscute folosind Google Speech-to-Text iar gesturile de atingere (stroke-gestures) și de mișcare accelerată (motion-gestures) cu o versiune particularizată a algoritmului ȘP (Vatavu *et al.*, 2012) propusă în cadrul acestei etape.

- Secțiunea COMMANDS asociază comenzi executate folosind dispozitive de intrare, e.g., un ceas smart, și funcțiile sistem ale unui dispozitiv de ieșire, de exemplu schimbarea conținutului afișat de o aplicație pentru un smart TV. Aceeași comandă poate fi realizată, conform principiului personalizării interacțiunilor, folosind diverse dispozitive, respectiv diverse modalități de intrare.
- Utilizatorii pot superviza funcționarea aplicației WearSkill din secțiunea RUNTIME-MONITOR.

Aceste rezultate au fost publicate sub forma a două articole în cadrul conferinței ACM W4A 2022, the 19th Web for All Conference. Unul dintre articole a primit două distincții: **Accessibility Challenge Judges Award** și **Accessibility Challenge Delegates Award**. Articolele sunt disponibile în ACM DL, DBLP, Scopus:



Ovidiu-Andrei Schior, Laura-Bianca Bilius, Ovidiu-Ciprian Ungurean, Alexandru-Ionuț Slean, Alexandru-Tudor Andrei, Radu-Daniel Vatavu. (2022). Personalized Wearable Interactions with WearSkill. *Proceedings of W4A '22, the 19th Web for All Conference*. ACM, New York, NY, USA, 8:1-8:2.

<https://doi.org/10.1145/3493612.3520474>

Accessibility Challenge Judges' Award & Delegates' Award 



Ovidiu-Andrei Schior, Laura-Bianca Bilius, Radu-Daniel Vatavu. (2022). WearSkill: Personalized and Interchangeable Input with Wearables for Users with Motor Impairments. *Proceedings of W4A '22, the 19th Web for All Conference*. ACM, New York, NY, USA, 10:1-10:5.

<https://doi.org/10.1145/3493612.3520455>



2.3. Evaluarea performanțelor tehnice, validare și studii utilizator pentru confirmarea nivelului de maturitate tehnologică TRL-4

Pentru confirmarea nivelului de maturitate tehnologică TRL-4 (i.e., validarea componentelor și/sau a ansamblului în condiții de laborator), am procedat la o serie de evaluări tehnice și utilizator pentru modelul experimental reprezentat de aplicația software WearSkill, după cum urmează: (1) evaluarea acurateții recunoașterii comenzilor gestuale, (2) evaluarea acurateții recunoașterii comenzilor vocale, (3) evaluarea timpului de răspuns a aplicației și (4) evaluarea acurateții recomandărilor personalizate.

2.3.1. Evaluarea recunoașterii comenzilor gestuale

Am folosit baza de date (Vatavu și Ungurean, 2022) alcătuită din 7,290 de gesturi de atingere (stroke-gestures) și 3,809 gesturi de mișcare (motion-gestures) executate de către N=14 utilizatori cu dizabilități motorii (e.g., leziuni la nivelul coloanei vertebrale, scleroză multiplă, Parkinson, focomelia, osteogenesis imperfecta) precum și de către N=14 utilizatori fără dizabilități folosind un dispozitiv purtat sub formă de



ceas, inel și pe rama unei perechi de ochelari; detalii privind achiziția gesturilor și caracteristicile acestora se află în (Vatavu și Ungurean, 2022). Într-o primă etapă, am folosit algoritmi de recunoaștere a gesturilor validați în mod repetat în literatura științifică (Magrofuoco și Vanderdonckt, 2022), cum ar fi \$1 (Wobbrock *et al.*, 2007), un algoritm bazat pe folosirea distanței Euclidiene, Dynamic Time Warping (Wobbrock *et al.*, 2007; Taranta *et al.*, 2017), respectiv \$P (Vatavu *et al.*, 2012), un algoritm flexibil, care implementează reprezentări de tipul norilor de puncte și este invariant la modul de execuție a gesturilor. Pe baza rezultatelor obținute, am actualizat funcția de disimilaritate a algoritmului \$P astfel: (i) am folosit un coeficient α (Vatavu, 2017) personalizat care a condus la o creștere a performanței algoritmului pentru recunoașterea gesturilor executate de către utilizatorii cu dizabilități motorii; (ii) am introdus un coeficient suplimentar, λ , bazat pe timpul de execuție a gesturilor, una dintre mărimile de performanță care disting gesturile realizate de persoanele cu și fără dizabilități motorii (Vatavu și Ungurean, 2022); și (iii) am folosit o combinație a funcțiilor de disimilaritate \$P și DTW:

$$d(g_1, g_2) = \lambda \cdot \$P(g_1, g_2, \alpha) \cdot DTW(g_1, g_2)$$

unde d reprezintă forma actualizată a funcției de disimilaritate \$P pentru a compara gesturile g_1 și g_2 , \$P(...) este funcția de disimilaritate originală (Vatavu *et al.*, 2012), $\alpha = 0.25$ este coeficientul (Vatavu, 2017) personalizat, iar DTW este implementarea standard a tehnicii Dynamic Time Warping. Rezultatele (leave-one-out cross-validation) sunt prezentate în figura 5. Noua funcție de disimilaritate conduce de fiecare dată la cea mai bună performanță de recunoaștere a gesturilor executate cu dispozitive wearable pentru utilizatorii cu și fără dizabilități motorii. De exemplu, pentru gesturile de atingere efectuate de către utilizatorii cu dizabilități motorii, am obținut o rată de recunoaștere de 95.3% pentru ceasuri smart, 77.0% pentru un ecran tactil purtat pe deget sub forma unui inel, respectiv 80.3% pentru gesturi executate pe același ecran atașat de rama ochelarilor. Pentru mișcările accelerate, varianta personalizată a algoritmului \$P conduce din nou la cea mai bună performanță de recunoaștere pentru gesturile efectuate de utilizatorii cu dizabilități motorii: 72.4% pentru gesturi efectuate cu încheietura mâinii, 54.0% pentru gesturi ale degetelor și 87.8% pentru mișcări ale capului. Pentru a înțelege efectul dizabilității motorii asupra execuției gesturilor cu dispozitive wearable din perspectiva ratei de recunoaștere, figura 6 prezintă rezultatele pentru fiecare utilizator cu dizabilități motorii în parte pentru modalitatea de interacțiune *motion-gestures / finger* pentru care am obținut cea mai scăzută rata de recunoaștere (54.0% în figura 5). Dintre cele 14 persoane cu dizabilități motorii care au participat la această evaluare, doar 12 au putut executa gesturi de mișcare a degetului și, în anumite cazuri, ratele de recunoaștere au fost foarte mici (*e.g.*, 25% pentru gesturile *double tap* și *tap* pentru P105, un participant cu scleroză multiplă). Însă, alți participanți au reușit execuția *motion-gestures / finger* cu rate de recunoaștere foarte ridicate (*e.g.*, 100% pentru gesturile *circle* și *slide thumb* pentru P103, un participant cu leziuni la nivelul coloanei vertebrale, respectiv 100% pentru *tap* și P106, un participant cu osteogenesis imperfecta, 87.5% pentru *double tap* și P111, un participant cu tetrapareză spastică).

Aceste rezultate conduc către două concluzii: (1) varianta personalizată a algoritmului \$P introdusă în cadrul etapei pentru gesturile executate de utilizatorii cu dizabilități motorii conduce la cea mai bună performanță în contextul stadiului actual (Magrofuoco și Vanderdonckt, 2022) și (2) există nevoia de a

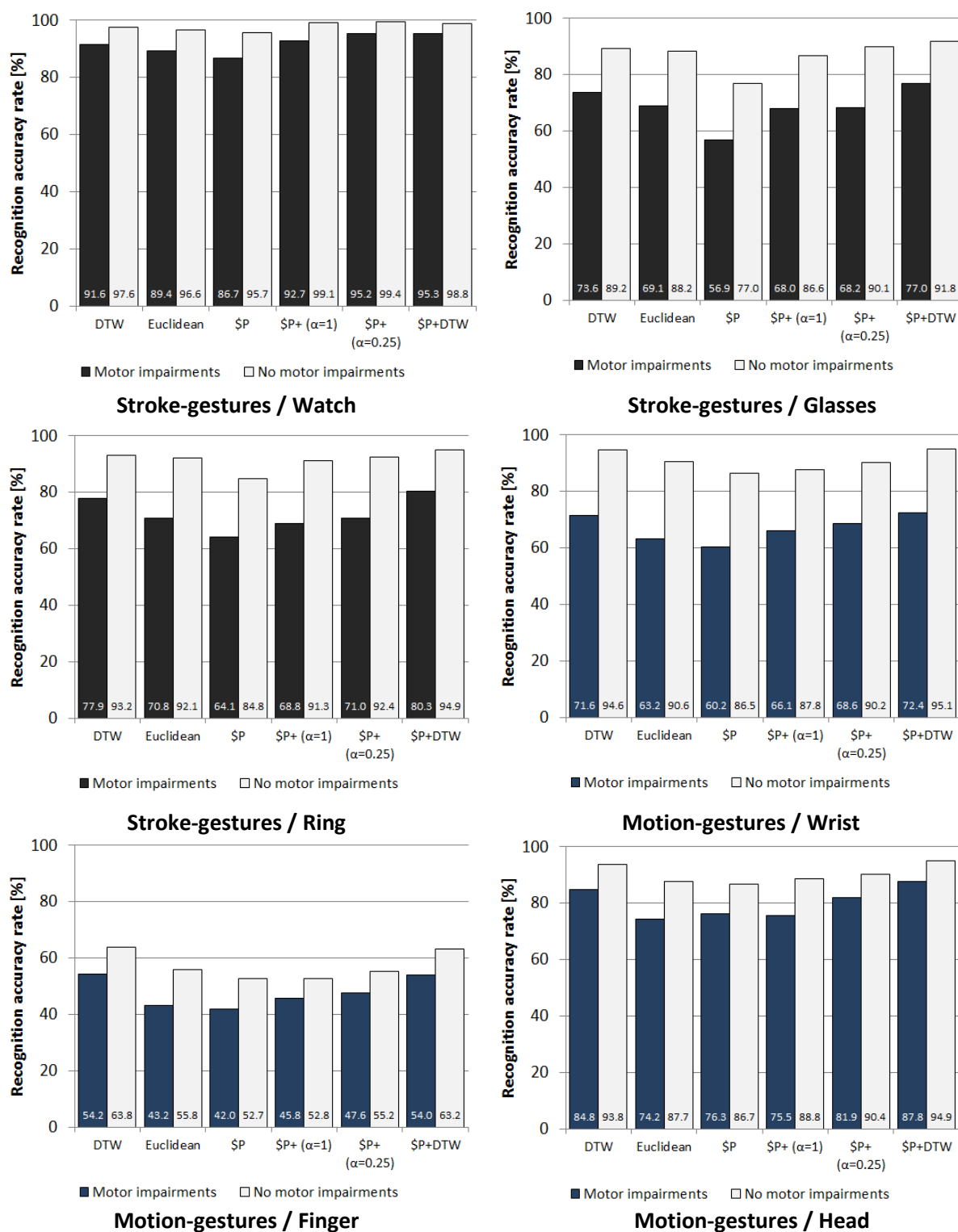


Figura 5. Rata de recunoaștere a gesturilor de tip atingere (stroke-gestures) și mișcare (motion-gestures) efectuate cu dispozitive wearable. *Notă:* algoritmul personalizat \$P+\$DTW, introdus în cadrul etapei, obține cea mai ridicată performanță pentru utilizatorii cu și fără dizabilități motorii.



Gesture / Participant	P102	P103	P104	P105	P106	P107	P109	P110	P111	P112	P113	P114
circle	75.0	100.0	50.0	62.5	87.5	75.0	50.0	100.0	87.5	37.5	25.0	75.0
double tap	62.5	50.0	62.5	25.0	75.0	37.5	75.0	37.5	87.5	37.5	12.5	50.0
pinch thumb	62.5	50.0	75.0	37.5	75.0	62.5	.0	25.0	50.0	12.5	62.5	12.5
scratch surface	87.5	50.0	75.0	25.0	50.0	37.5	50.0	62.5	62.5	25.0	25.0	37.5
slide thumb	62.5	100.0	12.5	37.5	50.0	100.0	37.5	87.5	100.0	50.0	37.5	37.5
tap	75.0	75.0	37.5	25.0	100.0	50.0	25.0	12.5	62.5	62.5	37.5	62.5

Figura 6. Ratele de recunoaștere pentru interacțiuni *motion-gestures/finger* la nivelul fiecărui participant cu dizabilități motorii indică necesitatea unei abordări personalizate pentru dispozitive wearable.

personaliza utilizarea dispozitivelor wearable, a modalităților de interacțiune și a gesturilor în funcție de abilitățile motorii ale utilizatorilor în contextul proiectării centrate pe abilități (Wobbrock *et al.*, 2011; 2018). Privind acest ultim aspect, am elaborat un număr de zece implicații ale proiectării bazate pe abilități pentru interacțiuni gestuale cu dispozitive wearable și utilizatori cu dizabilități motorii. Detalii se regăsesc în cadrul unui articol publicat la conferința ACM CHI 2022, cel mai important canal de diseminare a rezultatelor științifice în domeniul HCI.³ Articolul este disponibil în ACM DL, DBLP și Scopus:



Radu-Daniel Vatavu, Ovidiu-Ciprian Ungurean. (2022). Understanding Gesture Input Articulation with Upper-Body Wearables for Users with Upper-Body Motor Impairments. *Proceedings of CHI '22, the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA, Article no. 2, 1-16.

<https://doi.org/10.1145/3491102.3501964>

Rang A* conform ARC CORE



2.3.2. Evaluarea recunoașterii comenzilor vocale

Recunoașterea comenzilor vocale implementată în cadrul aplicației WearSkill folosește pachetul node.js @google-cloud/speech al Google Cloud Speech-to-Text API. Clientul corespunzător a fost instanțiat cu următoarele setări: codificare LINEAR16, rata de eșantionare 16.000Hz, cod de limbă en-US și un context lingvistic reprezentat de mulțimea comenzilor vocale {*up, down, left, right, back, forward, yes, no, go, play, start, one, two, select, menu, group*} constând în comenzi generice ce pot fi utilizate în diverse aplicații. Pentru analiza performanței recunoașterii comenzilor vocale, am folosit baza de date TORGO⁴ cu înregistrări colectate în condiții de laborator de la participanți cu paralizie cerebrală (CP) și scleroză laterală amiotrofică (ALS), două dizabilități motorii ce determină dificultăți de vorbire (disartria) datorită

³ https://scholar.google.ro/citations?view_op=top_venues&hl=ro&vq=eng_humancomputerinteraction

⁴ <http://www.cs.toronto.edu/~complingweb/data/TORGO/torgo.html>

slăbirii mușchilor faciali, gâtului și limbii; detalii în (Rudzics, 2012; Rudzics *et al.*, 2012a; Rudzics *et al.*, 2012b). Conținutul fișierelor audio a fost convertit în formatul base64 și transmis în mod asincron metodei de recunoaștere. În total, am evaluat 302 comenzi vocale colectate de la opt participanți cu dizabilități motorii și șapte participanți fără dizabilități (grupul de control); a se vedea tabelul 1. Rata de recunoaștere a fost 97.4% pentru grupul de control, ceea ce arată o performanță ridicată a tehnologiei alese pentru procesarea comenzilor vocale în cadrul WearSkill. De asemenea, rata de recunoaștere pentru utilizatorii cu dizabilități motorii a fost 71.6%, sub nivelul grupului de control datorită afectării vorbirii, dar totuși ridicată considerând stadiul actual (Liu *et al.*, 2021). Rezultatele obținute pentru comenzile individuale sunt prezentate în tabelul 2. La fel ca și în cazul gesturilor, anumite comenzi vocale, *e.g.*, *forward*, *no*, sau *menu*, au fost recunoscute cu rate de până la 100% pentru utilizatorii cu dizabilități motorii, ceea ce consolidează concluzia anterioară a proiectării centrate pe abilități, precum și importanța personalizării interacțiunilor în cadrul aplicației WearSkill.

Categorie participanți	Număr cuvinte recunoscute corect	Număr total teste	Rată de recunoaștere (%)
Fără dizabilități motorii (grup control)	150	154	97.4
Dizabilități motorii (CP și ALS)	106	148	71.6
Total/medie	256	302	84.8

Tabelul 1. Rata de recunoaștere a comenzilor vocale.

Participanți fără dizabilități motorii (grup control)					Participanți cu dizabilități motorii (CP și ALS)		
Nr.	Comandă vocală	N	Rată recunoaștere (%)	SD	N	Rată recunoaștere (%)	SD
1	<i>back</i>	9	88.9	33.3	8	50.0	53.5
2	<i>down</i>	10	90.0	31.6	9	77.8	44.1
3	<i>forward</i>	10	100.0	0.0	7	100.0	0.0
4	<i>go</i>	7	100.0	0.0	9	77.8	44.1
5	<i>group</i>	7	100.0	0.0	7	85.7	37.8
6	<i>left</i>	11	100.0	0.0	10	60.0	51.6
7	<i>menu</i>	10	100.0	0.0	7	85.7	37.8
8	<i>no</i>	10	100.0	0.0	13	100.0	0.0
9	<i>one</i>	13	92.3	27.7	11	72.7	46.7
10	<i>play</i>	7	100.0	0.0	7	71.4	48.8
11	<i>right</i>	10	100.0	0.0	11	81.8	40.5
12	<i>select</i>	10	100.0	0.0	7	71.4	48.8
13	<i>start</i>	6	100.0	0.0	6	50.0	54.8
14	<i>two</i>	13	100.0	0.0	10	50.0	52.7
15	<i>up</i>	11	90.9	30.2	11	45.5	52.2
16	<i>yes</i>	10	100.0	0.0	15	66.7	48.8
Total/medie		154	97.6	7.7	148	71.7	41.4

Tabelul 2. Ratele de recunoaștere individuale indică necesitatea unei abordări personalizate.



2.3.3. Evaluarea performanțelor tehnice ale arhitecturii software suport pentru WearSkill

Am realizat o evaluare a performanțelor tehnice ale arhitecturii software folosită pentru implementarea aplicației WearSkill sub forma unui experiment controlat cu următoarele variabile independente:

- MESSAGE-SIZE, dimensiunea în bytes a mesajelor generate, transmise și procesate în cadrul WearSkill, pentru care am ales următoarele valori în progresie aritmetică: (1) 1KB, o aproximare a unui mesaj JSON conținând doar metadate; (2) 21KB, un gest (motion-gesture) cu o durată de o secundă sau un gest (stroke-gesture) de patru secunde; (3) 41KB, reprezentând un motion-gesture de două secunde sau un stroke-gesture de opt secunde; (4) 61KB, un motion-gesture de trei secunde; (5) 81KB, un motion-gesture cu o durată de patru secunde; respectiv (6) 101KB, un motion-gesture de cinci secunde. Aceste dimensiuni au fost determinate pe baza unor considerații practice privind gesturile de atingere și mișcare reprezentate ca mulțimi de puncte.
- INPUT-DEVICE, variabilă de tip ordinal cu patru condiții: (1) un ceas smart *low-end* (Samsung Gear Fit 2, Tizen 2, dual-core CPU Exynos 3250, 4GB internal memory, 512MB RAM, 54 Mbps Wi-Fi); (2) o pereche de ochelari smart *mid-range* (Vuzix Blade, Android 6, ARM Cortex-A53 CPU, 2GB internal memory); (3) un ceas smart *high-end* (Samsung Galaxy Watch 3, Tizen 5, dual-core CPU Exynos 9110, 8GB internal memory, 1MB RAM, 54 Mbps Wi-Fi); (4) un telefon smart (Huawei P30 Pro, Android 10, octa-core CPU Kirin 980, 128GB internal memory, 6GB RAM), reprezentând condiția de control în cadrul experimentului de evaluare; a se vedea figura 7.

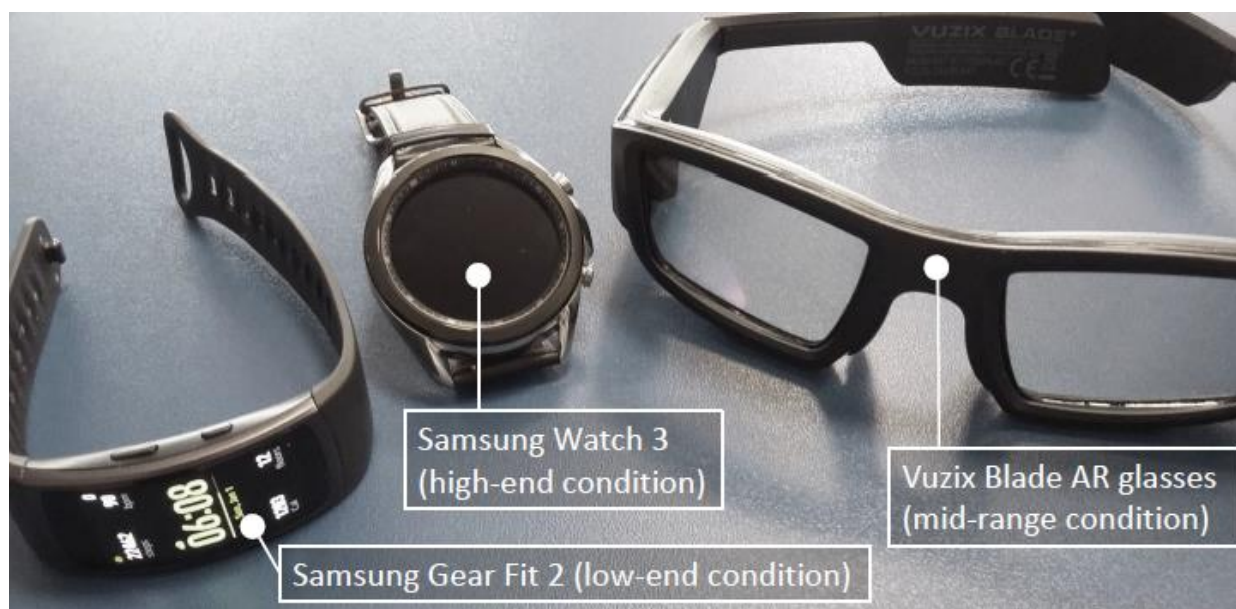


Figura 7. Dispozitive wearable, reprezentative pentru produse comerciale *low-end*, *mid-range*, respectiv *high-end*, folosite pentru evaluarea timpului de răspuns a componentelor aplicației WearSkill.

Figura 8 prezintă efectul variabilelor MESSAGE-SIZE și INPUT-DEVICE asupra timpului de răspuns al componentelor implementate în aplicația WearSkill, măsurat în milisecunde, necesar pentru ca un mesaj să ajungă de la o componentă INPUTDEVICE la HUB prin intermediul LINK (valori medii a 1000 măsurători

repetate cu un conținut aleator pentru mesajele generate care previn efectul de cache în rețeaua WiFi). Cel mai mic timp de răspuns (8ms) a fost obținut pentru mesaje de 1KB transferate de la telefon (condiția de control) către HUB. Implementarea pe cel mai performant dispozitiv wearable, Samsung Galaxy Watch 3, a condus la 55ms, în timp ce pentru dispozitivele low-end și mid-range am obținut 97ms, respectiv 132ms. O analiză a acestor rezultate a scos în evidență o dependență liniară semnificativă din punct de vedere statistic ($R^2 > .99, p < .001$) între REQUEST-RESPONSE-TIME și MESSAGE-SIZE pentru fiecare condiție a variabilei INPUT-DEVICE. Aceste rezultate, în special valoarea maximă de 132ms obținută pentru cel mai mare mesaj și cel mai puțin performant dispozitiv wearable folosit în evaluarea noastră, Samsung Gear Fit 2, arată eficiența implementării chiar și pentru dispozitive low-end.

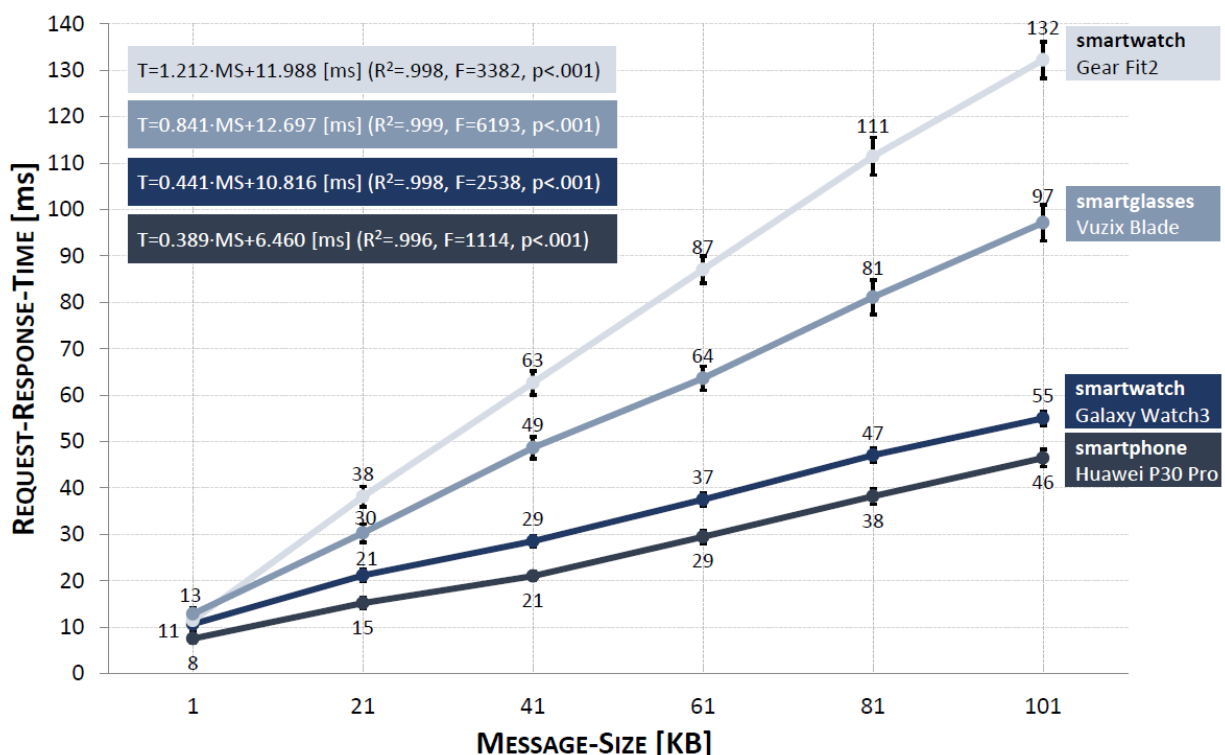


Figura 8. Efectul dimensiunii mesajelor și a dispozitivelor wearable asupra timpului de răspuns al componentelor software din aplicația WearSkill. *Notă:* barele de eroare reprezintă 95% CIs.

2.3.4. Evaluarea acurateții recomandărilor personalizate pentru dispozitive wearable și modalități de intrare

Pentru evaluarea componentei de recomandare automată a dispozitivelor wearable și modalităților de intrare în funcție de simptomele cauzate de dizabilitățile motorii ale utilizatorilor, am folosit setul de date colectat în cadrul etapei anterioare (Ungurean și Vatavu, 2022; 2021) alcătuit dintr-un număr de 2,625 de înregistrări privind preferințele a N=21 persoane cu dizabilități motorii pentru interacțiuni cu dispozitive wearable. De asemenea, am folosit Scikit-learn (Pedregosa *et al.*, 2011) pentru a evalua diverși algoritmi de clasificare (*e.g.*, Nearest Neighbor, Decision Tree, Support Vector Machines, etc.) în contextul leave-one-out cross-validation. Un exemplu este prezentat în continuare:

```
GradientBoostingClassifier (subsample=1, validation_fraction=0.7,
random_state=0, criterion= 'mae', n_estimators=19 , min_samples_split=2,
min_samples_leaf=11, max_leaf_nodes=3, max_features='auto', max_depth=3,
loss='exponential', learning_rate=1.84)
```

Tabelul 3 prezintă rezultatele obținute și un maxim de 85.3% acuratețe pentru Decision Tree⁵, Gradient Boosting⁶ și Ada Boost⁷ (valori medii calculate pentru 3 tipuri de dispozitive și 4 modalități de intrare). Aceste rezultate arată performanța ridicată a aplicației WearSkill în a oferi recomandări pentru dispozitive wearable și modalități de intrare personalizate utilizatorilor cu dizabilități motorii.

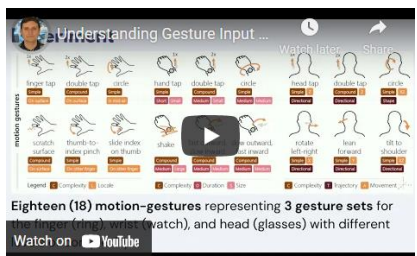
Classifier	Smartwatch				Smartglasses				Smart ring				Mean accuracy
	Touch input	Hand motion	Head motion	Voice input	Touch input	Hand motion	Head motion	Voice input	Touch input	Hand motion	Head motion	Voice input	
Decision Tree	85.7%	90.5%	81.0%	81.0%	90.5%	57.1%	90.5%	95.2%	100%	95.2%	100%	57.1%	85.3%
Gradient Boosting	85.7%	90.5%	81.0%	81.0%	90.5%	57.1%	90.5%	95.2%	100%	95.2%	100%	57.1%	85.3%
Ada Boost [†]	85.7%	90.5%	81.0%	81.0%	90.5%	57.1%	90.5%	95.2%	100%	95.2%	100%	57.1%	85.3%
KNeighbors	85.7%	90.5%	81.0%	81.0%	90.5%	52.4%	90.5%	95.2%	100%	95.2%	100%	57.1%	84.9%
Label Propagation	85.7%	90.5%	81.0%	81.0%	90.5%	52.4%	90.5%	95.2%	100%	95.2%	100%	57.1%	84.9%
Radius Neighbors	85.7%	90.5%	81.0%	81.0%	90.5%	52.4%	90.5%	95.2%	100%	95.2%	100%	52.4%	84.5%
Logistic Regression	85.7%	90.5%	76.2%	81.0%	90.5%	47.6%	90.5%	95.2%	100%	95.2%	100%	61.9%	84.5%
Multinomial Naïve Bayes	85.7%	90.5%	81.0%	81.0%	90.5%	52.4%	90.5%	95.2%	100%	95.2%	100%	47.6%	84.1%
Label Spreading	71.4%	90.5%	81.0%	81.0%	90.5%	57.1%	90.5%	95.2%	100%	95.2%	100%	47.6%	83.3%

Tabel 3. Acuratețea predicției preferințelor utilizatorilor pentru dispozitive wearable și modalități de intrare în funcție de simptome determinate de dizabilitățile motorii.

3. ALTE ACTIVITĂȚI REALIZATE ÎN CADRUL ETAPEI

În cadrul etapei nr. 3 de implementare a proiectului de cercetare-dezvoltare au fost desfășurate următoarele activități specifice de management:

- Monitorizarea îndeplinirii activităților etapei și a obținerii rezultatelor așteptate pentru proiectul de cercetare-dezvoltare cu încadrarea în timpul de implementare și bugetul alocat.
- Actualizarea paginii web a proiectului de cercetare-dezvoltare, funcțională și disponibilă la adresa <http://www.eed.usv.ro/mintviz/projects/WearSkill>
- Diseminarea rezultatelor către publicul larg prin intermediul canalului YouTube al directorului de proiect: <https://www.youtube.com/user/raduvro/videos>



⁵ <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.tree.DecisionTreeClassifier.html>

⁶ <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.GradientBoostingClassifier.html>

⁷ <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.AdaBoostClassifier.html>

4. PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE ALE ETAPEI

- [1] Ovidiu-Ciprian Ungurean, Radu-Daniel Vatavu. (2022). "I Gave up Wearing Rings:" Insights on the Perceptions and Preferences of Wheelchair Users for Interactions with Wearables. *IEEE Pervasive Computing*, 10 pagini. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2022.3155952>
5-Year IF: 4.196 (JCR 2021)
- [2] Ovidiu-Andrei Schipor, Radu-Daniel Vatavu. (2022). GearWheels: A Software Tool to Support User Experiments on Gesture Input with Wearable Devices. *International Journal of Human-Computer Interaction*. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2098907>
5-YEAR IF: 4.503 (JCR 2021)
- [3] Radu-Daniel Vatavu, Ovidiu-Ciprian Ungurean. (2022). Understanding Gesture Input Articulation with Upper-Body Wearables for Users with Upper-Body Motor Impairments. *Proceedings of CHI '22, the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA, Article no. 2, 1-16. <https://doi.org/10.1145/3491102.3501964> | **rang A* (ARC CORE)**
- [4] Ovidiu-Andrei Schipor, Laura-Bianca Bilius, Ovidiu-Ciprian Ungurean, Alexandru-Ionuț Sean, Alexandru-Tudor Andrei, Radu-Daniel Vatavu. (2022). Personalized Wearable Interactions with WearSkill. *Proceedings of W4A '22, the 19th Web for All Conference*. ACM, New York, NY, USA, 8:1-8:2. <https://doi.org/10.1145/3493612.3520474>
Accessibility Challenge Judges' Award 🏆 & Accessibility Challenge Delegates' Award 🏆
- [5] Ovidiu-Andrei Schipor, Laura-Bianca Bilius, Radu-Daniel Vatavu. (2022). WearSkill: Personalized and Interchangeable Input with Wearables for Users with Motor Impairments. *Proceedings of W4A '22, the 19th Web for All Conference*. ACM, New York, NY, USA, 10:1-10:5.
<https://doi.org/10.1145/3493612.3520455>

În conformitate cu activitățile desfășurate, rezultatele obținute în perioada ianuarie – august 2022 descrise în prezentul raport de cercetare, publicațiile științifice realizate, precum și în conformitate cu activitățile de management întreprinse în cadrul acestei etape, considerăm obiectivele proiectului pentru etapa nr. 3 îndeplinite în procent de 100%.

REFERINȚE

- | | |
|-----------------------------------|---|
| Anthony <i>et al.</i> ,
2010 | Lisa Anthony, Jacob O. Wobbrock. 2010. A lightweight multistroke recognizer for user interface prototypes. In <i>Proceedings of Graphics Interface 2010. Canadian Inf. Proc. Soc.</i> , 245-252. https://dl.acm.org/doi/10.5555/1839214.1839258 |
| Findlater <i>et al.</i> ,
2010 | Leah Findlater, Alex Jansen, Kristen Shinohara, Morgan Dixon, Peter Kamb, Joshua Rakita, Jacob O. Wobbrock. 2010. Enhanced Area Cursors: Reducing Fine Pointing Demands for People with Motor Impairments. In <i>Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '10)</i> . ACM, New York, NY, USA, 153–162. https://doi.org/10.1145/1866029.1866055 |
| ISO, 2005 | International Organization for Standardization, 2005. IEC 25000 Software and system engineering - Software product Quality Requirements and Evaluation |



- (SQuaRE) - Guide to SQuaRE. <https://www.iso.org/standard/35683.html>
- Liu *et al.*, 2021 Shansong Liu, Mengzhe Geng, Shoukang Hu, Xurong Xie, Mingyu Cui, Jianwei Yu, Xunying Liu, Helen Meng. 2021. Recent Progress in the CUHK Dysarthric Speech Recognition System. *IEEE/ACM Trans. Audio, Speech and Lang. Proc.* 29, 2267–2281. <https://doi.org/10.1109/TASLP.2021.3091805>
- Magrofuoco și Vanderdonckt, 2022 Nathan Magrofuoco, Paolo Roselli, Jean Vanderdonckt. 2022. Two-dimensional Stroke Gesture Recognition: A Survey. *ACM Computing Surveys* 54 (7), Article 155, 36 pages. <https://doi.org/10.1145/3465400>
- Pedregosa *et al.*, 2011 F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, J. Vanderplas, A. Passos, D. Cournapeau, M. Brucher, M. Perrot, and E. Duchesnay. 2011. Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research* 12 (2011), 2825–2830. <https://arxiv.org/abs/1201.0490>
- Rudzicz, 2012 F. Rudzicz. 2012. Using articulatory likelihoods in the recognition of dysarthric speech. *Speech Comm.*, 54(3). <https://doi.org/10.1016/j.specom.2011.10.006>
- Rudzicz *et al.*, 2012a F. Rudzicz, A.K. Namasivayam, T. Wolff. 2012. The TORGO database of acoustic and articulatory speech from speakers with dysarthria. *Lang Resources & Evaluation* 46, 523–541 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10579-011-9145-0>
- Rudzicz *et al.*, 2012b F. Rudzicz, G. Hirst, P. van Leishout. 2012. Vocal Tract Representation in the Recognition of Cerebral Palsied Speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 55(4), 1190–1207. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2011/11-0223\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2011/11-0223))
- Schipor *et al.*, 2022a O.-A. Schipor, L.-B. Bilius, R.-D. Vatavu. 2022. WearSkill: Personalized and Interchangeable Input with Wearables for Users with Motor Impairments. *Proceedings of W4A '22, the 19th Web for All Conference*. New York, NY, USA: ACM, 10:1–10:5. <https://doi.org/10.1145/3493612.3520455>
- Schipor *et al.*, 2022b O.-A. Schipor, L.-B. Bilius, O.-C. Ungurean, A.-I. Slean, A.-T. Andrei, R.-D. Vatavu. (2022). Personalized Wearable Interactions with WearSkill. *Proceedings of W4A '22, the 19th Web for All Conference*. New York, NY, USA: ACM, 8:1–8:2. <https://doi.org/10.1145/3493612.3520474>
- Schipor și Vatavu, 2022 Ovidiu-Andrei Schipor, Radu-Daniel Vatavu. (2022). GearWheels: A Software Tool to Support User Experiments on Gesture Input with Wearable Devices. *Int. Journal of Human-Computer Interaction*. Taylor & Francis, în publicare
- Taranta *et al.*, 2017 Eugene M. Taranta II, Amirreza Samiei, Mehran Maghoumi, Pooya Khaloo, Corey R. Pittman, Joseph J. LaViola Jr. 2017. Jackknife: A Reliable Recognizer with Few Samples and Many Modalities. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*. ACM, New York, NY, USA, 5850–5861. <https://doi.org/10.1145/3025453.3026002>
- Ungurean și Vatavu, 2022 O.-C. Ungurean, R.-D. Vatavu. 2022. "I Gave up Wearing Rings:" Insights on the Perceptions and Preferences of Wheelchair Users for Interactions with Wearables.

- IEEE Pervasive Computing*. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2022.3155952>
- Ungurean și Vatavu, 2021 O.-C.Ungurean, R.-D. Vatavu. 2021. Users with Motor Impairments' Preferences for Smart Wearables to Access and Interact with Ambient Intelligence Applications and Services. *Proceedings of ISAmI '21, the 12th International Symposium on Ambient Intelligence*. <https://link.springer.com/book/9783031068935>
- Vatavu et al., 2012 Radu-Daniel Vatavu, Lisa Anthony, Jacob O. Wobbrock. 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. <https://doi.org/10.1145/2388676.2388732>
- Vatavu, 2013 Radu-Daniel Vatavu. 2013. The Impact of Motion Dimensionality and Bit Cardinality on the Design of 3D Gesture Recognizers. *Int. Journal of Human-Computer Studies* 71(4), 387–409. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2012.11.005>
- Vatavu, 2017 Radu-Daniel Vatavu. 2017. Improving Gesture Recognition Accuracy on Touch Screens for Users with Low Vision. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*. ACM, New York, USA, 4667–4679. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025941>
- Vatavu și Ungurean, 2022 Radu-Daniel Vatavu, Ovidiu-Ciprian Ungurean. 2022. Understanding Gesture Input Articulation with Upper-Body Wearables for Users with Upper-Body Motor Impairments. *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '22)*. New York, NY, USA: ACM, Article no. 2, 1-16. <https://doi.org/10.1145/3491102.3501964>
- Wobbrock et al., 2007 Jacob O. Wobbrock, Andrew D. Wilson, Yang Li. 2007. Gestures without libraries, toolkits or training: A \$1 recognizer for user interface prototypes. In *Proc. of the 20th ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '07)*. ACM, New York, NY, USA, 159–168. <https://doi.org/10.1145/1294211.1294238>
- Wobbrock et al., 2011 Jacob O. Wobbrock, Shaun K. Kane, Krzysztof Z. Gajos, Susumu Harada, Jon Froehlich. 2011. Ability-Based Design: Concept, Principles and Examples. *ACM Transactions on Accessible Computing* 3, 3, Article 9 (April 2011), 27 pages. <https://doi.org/10.1145/1952383.1952384>
- Wobbrock et al., 2018 Jacob O. Wobbrock, Krzysztof Z. Gajos, Shaun K. Kane, Gregg C. Vanderheiden. 2018. Ability-Based Design. *Communications of the ACM* 61 (6), 62–71. <https://doi.org/10.1145/3148051>

Director proiect,

Prof. univ. dr. ing. Radu-Daniel VATAVU

