

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

privind implementarea proiectului

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

în perioada ianuarie – decembrie 2021 (etapa nr. 2)

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. 2, conform planului de realizare	4
2. DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ	5
2.1. Achiziția interacțiunilor utilizatorilor cu dizabilități motorii cu un ceas, ochelari și inel	5
2.2. Percepțiile utilizatorilor cu dizabilități motorii privind dispozitive wearable smart.....	8
2.3. Evaluare TRL-3 a interacțiunilor pentru ceas, inel și ochelari smart.....	11
2.3.1. Evaluare comparativă a performanței de interacțiune a utilizatorilor cu dizabilități motorii față de un grup de control cu utilizatori fără dizabilități	11
2.3.2. Identificarea de interacțiuni eficiente cu ceas, inel și ochelari pentru utilizatori cu dizabilități motorii în funcție de abilități specifice	15
3. ALTE ACTIVITĂȚI REALIZATE ÎN CADRUL ETAPEI	16
4. PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE ALE ETAPEI.....	17
REFERINȚE	17



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 persoanele cu dizabilități motorii prin intermediul comenzilor bazate pe gesturi (sub forma de gesturi de tip atingere touch și multitouch, gesturi ale mâinii sau mișcări ale capului), respectiv prin intermediul comenzilor bazate pe voce într-o paradigmă de proiectare, implementare și evaluare centrată pe specificul abilităților motorii ale utilizatorilor. Rezultatul principal urmărit în cadrul proiectului este reprezentat de un model experimental de nivel TRL-4 care să demonstreze tehnici interactive pentru accesibilitatea dispozitivelor wearable pentru utilizatorii cu dizabilități motorii. Alte rezultate estimate includ: set de date experimentale constând în comenzi efectuate folosind ochelari, ceasuri și inele smart; metodă de analiză a comenzilor gestuale și vocale realizate de utilizatori cu dizabilități motorii cu dispozitive wearable; algoritm de recunoaștere a gesturilor folosind ochelari, ceasuri și inele smart; rezultate experimentale. În acest scop, proiectul își fixează următoarele obiective concrete:

- O1. Înțelegerea modului în care persoanele cu dizabilități motorii folosesc dispozitive wearable de tipul ochelarilor, ceasurilor și inelelor smart.
- O2. Proiectarea și implementarea de tehnici de interacțiune (nivel TRL-3) pentru ochelari, ceasuri și inele smart.
- O3. 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 (doctorand în domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației)
5. Laura-Bianca Bilius (doctorand în domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației)

Obiectivele și activitățile etapei

Activitățile de cercetare-dezvoltare ale proiectului (de tip A2, Cercetare industrială și de tip A3, Dezvoltare experimentală) precum și activitățile suport desfășurate în perioada ianuarie – decembrie 2021 în cadrul [Laboratorului de Cercetare în Mașini Inteligente și Vizualizarea Informației \(MintViz\)](#) al Universității “Ștefan cel Mare” din Suceava, fac parte din Etapa nr. 2 de implementare a proiectului având drept obiectiv *“Proiectarea și implementarea TRL-3 de tehnici de interacțiune pentru dispozitive wearable și pentru utilizatori cu dizabilități motorii”*, după cum urmează:

- Act. 2.1 – Experiment pentru achiziționarea de date utilizator pentru ochelari smart
- Act. 2.2 – Experiment pentru achiziționarea de date utilizator pentru ceasuri smart

- Act. 2.3 – Experiment pentru achiziționarea de date utilizator pentru inele smart
- Act. 2.4 – Analiza datelor experimentale
- Act. 2.5 – Implementare tehnică de interacțiune pentru ochelari smart (nivel TRL-3)
- Act. 2.6 – Implementare tehnică de interacțiune pentru ceasuri smart (nivel TRL-3)
- Act. 2.7 – Implementare tehnică de interacțiune pentru inele smart (nivel TRL-3)
- Act. 2.8 – Evaluare performanțe tehnice și studiu utilizator
- Act. 2.9 – Diseminarea prin comunicarea și publicarea națională și internațională a rezultatelor
- Act. 2.10 – Diseminare și participare la manifestări tehnico-științifice
- Act. 2.11 – Vizite de lucru

Rezultate așteptate pentru etapa nr. 2, 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. 2 de implementare a proiectului de cercetare-dezvoltare pentru anul 2021 (acest raport).
- **Rezultat așteptat:** Set de date
Rezultat realizat: Au fost obținute 3 seturi de date față de un set așteptat, după cum urmează:
(1) **Un set de date cu un număr de 7,290 gesturi de atingere** efectuate pe ceasuri, ochelari și inele de către 14 participanți cu dizabilități motorii și de un grup de control cu 14 participanți fără dizabilități; (2) **Un set de date cu un număr de 3,809 gesturi de mișcare** efectuate cu degetele, încheietura mâinii și mișcări ale capului folosind un ceas, ochelari și un inel de către 14 participanți cu dizabilități motorii și un grup de control cu 14 participanți fără dizabilități; și (3) **Un set de date cu un număr de 2,625 de răspunsuri** furnizate de 21 participanți cu dizabilități motorii privind percepția acestora asupra interacțiunii cu diverse dispozitive wearable smart.
- **Rezultat așteptat:** Tehnici de interacțiune pentru ochelari, ceasuri și inele smart sub forma de aplicații software pentru validarea nivelului TRL-3
Rezultat realizat: Trei aplicații software JavaScript pentru interacțiuni gestuale cu prototipuri tip ceas, ochelari și inel, disponibile pe pagina web a proiectului. De asemenea, o analiză a interacțiunilor cu aceste dispozitive pentru validarea nivelului TRL-3. În plus, o aplicație web (GestuRING) implementând o librărie video cu 579 înregistrări pentru gesturi cu inele smart.
- **Rezultat așteptat:** Publicații științifice
Rezultat realizat: Au fost publicate **5 lucrări științifice** în cadrul conferințelor UIST 2021, the 34th ACM Symposium on User Interface Software and Technology (**rang A***, cf. ARC CORE 2021¹); ASSETS 2021, the 23rd Int. ACM Conference on Computers and Accessibility (**rang A**, conform ARC CORE 2021); ISAMI 2021, the 12th Int. Symposium on Ambient Intelligence (Springer); MUM 2021, the 20th Int. Conf. on Mobile and Ubiquitous Multimedia (**rang B**, cf. ARC CORE 2021). Lucrarea ISAmI '21 a primit distincția **Best Paper Application Award**. 🏆

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



2. DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ

În cadrul acestei etape am întreprins activități de achiziție a datelor privind interacțiuni realizate de utilizatori potențiali cu ceasuri, ochelari și inele smart. În acest scop, am proiectat și implementat trei prototipuri bazate pe ecranul multitouch al dispozitivului Samsung Gear Fit 2 precum și aplicații software corespunzătoare pentru achiziția interacțiunilor. De asemenea, am analizat percepția utilizatorilor cu diverse tipuri de dizabilități motorii privind dispozitive wearable smart. Plecând de la informațiile obținute, am validat atingerea TRL-3 (*i.e.*, demonstrarea conceptului privind funcționalitățile critice sau caracteristicile) la un nivel analitic experimental. Conform planului de realizare, aceste rezultate vor fi folosite în cadrul Etapei nr. 3 de implementare a proiectului, prevăzută pentru anul 2022, în vederea integrării pentru obținerea modelului experimental de maturitate tehnologică TRL-4.

2.1. Achiziția interacțiunilor utilizatorilor cu dizabilități motorii cu un ceas, ochelari și inel

Am folosit aplicația WearSkill-Exp, dezvoltată în etapa anterioară a proiectului, pentru a implementa achiziția de date de la utilizatori cu dizabilități motorii, precum și de la un grup de control cu persoane fără dizabilități. În acest scop, am proiectat un experiment controlat cu trei variabile independente:

- MOTORIMPAIRMENT, variabilă nominală cu două condiții: utilizatori *cu și fără dizabilități motorii*.
- WEARABLE, variabilă nominală cu trei condiții: *ceas, inel și ochelari*, reprezentând dispozitive purtate la încheietura mâinii, pe deget și la nivelul capului.
- MODALITY, variabilă nominală cu două condiții: *stroke-gestures* (gesturi de atingere pe suprafața unui dispozitiv wearable) și *motion-gestures* (gesturi de mișcare efectuate cu dispozitivul wearable).

Pentru a acoperi o categorie variată de gesturi posibile cu un ceas, inel și ochelari smart, am proiectat **patru seturi cu un total de 30 de gesturi**, ilustrate în figura 1, pe care le-am ales conform următoarelor criterii: numărul de componente ale gestului, complexitatea geometrică (Isokoski, 2001), dificultatea percepută a execuției (Vatavu, 2011) în conformitate cu estimări ale timpului de execuție (Leiva *et al.*, 2018a; 2018b), respectiv taxonomii privind gesturi efectuate cu inele smart (Gheran *et al.*, 2018), ceasuri smart (Shimon *et al.*, 2016), mișcări ale încheieturii mâinii (Liu *et al.*, 2019) și mișcări ale capului (Yan *et al.*, 2018; Vanderdonckt *et al.*, 2019). Pentru achiziționarea gesturilor de atingere am avut nevoie de o suprafață multitouch, iar pentru gesturile de mișcare de un senzor de tip accelerometru cu trei axe. Pentru condiția ceas smart, am folosit Samsung Gear Fit 2 (1GHz Exynos 3250 Dual Core CPU, 512MB RAM, Wi-Fi) pentru care am dezvoltat o aplicație de tip Tizen Web² pentru a detecta și achiziționa atât gesturi de atingere (prin intermediul ecranului integrat cu 216x432 pixeli și 322ppi) și gesturi de mișcare (cu ajutorul accelerometrului cu trei axe integrat). Pentru a asigura aceeași rezoluție a gesturilor achiziționate în celelalte două condiții ale variabilei WEARABLE, am refolosit ecranul Gear Fit 2, detașat de brățara sa și montat pe un inel și pe rama unor ochelari cu ajutorul unor suporturi imprimate 3D; vezi figura 2. Folosind aceste prototipuri, am achiziționat date de la un număr de 14 participanți cu dizabilități motorii (tabelul 1) precum și de la un grup de control format din 14 participanți fără dizabilități. Participanții la studiu au executat fiecare gest din figura 1 de opt ori într-o ordine aleatoare.

² <https://docs.tizen.org/application/web/index>

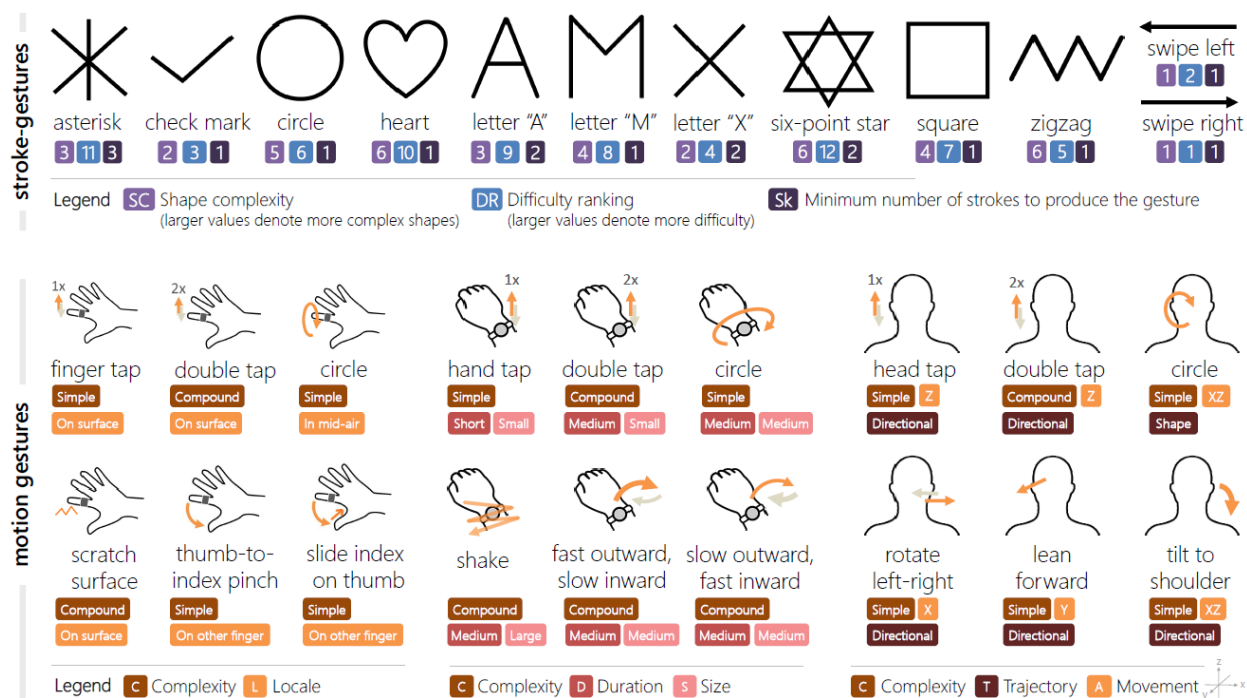


Figura 1. Gesturile folosite în cadrul experimentului de achiziție a interacțiunilor cu ceas, inel și ochelari.



Figura 2. Prototipuri folosite pentru achiziția gesturilor de atingere și mișcare. *Notă:* ecranul Samsung Gear Fit 2 a fost purtat la încheietura mâinii (a), pe deget (b) și atașat de rama unei perechi de ochelari (c) folosind suporturi tipărite cu ajutorul unei imprimante 3D (d,e).

În cadrul acestui experiment, am achiziționat un număr de **7,290 de gesturi de atingere** (dintr-un maxim de 8,064 de încercări experimentale, reprezentând o rată de finalizare a sarcinii experimentale de 90.4%, dintre care 100% pentru participanții fără dizabilități motorii și 80.8% pentru participanții cu dizabilități), precum și un număr de **3,809 gesturi de mișcare** (dintr-un maxim de 4,032 încercări experimentale, reprezentând o rată de finalizare de 94.5%, dintre care 100% pentru participanții fără dizabilități motorii și 88.9% pentru participanții cu dizabilități). Figura 3 prezintă fotografiile din timpul experimentului, iar figura 4 ilustrează o parte a gesturilor de atingere achiziționate.

Participant	Health condition [†]	Since	Self-reported impairments [‡]										WHODAS 2.0 score	Stroke-gestures CR [§]			Motion gestures CR [§]		
			Mo	Sp	St	Tr	Co	Fa	Gr	Ho	Se	Dir		Watch	Ring	Glasses	Watch	Ring	Glasses
P ₁ (41 yrs., male)	Spinal cord injury (C4-C5)	2003	—	✓	✓	—	—	✓	✓	✓	✓	✓	52.1	100%	—	100%	100%	—	100%
P ₂ (44 yrs., male)	Traumatic brain injury	1996	✓	—	—	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	45.8	100%	100%	100%	—	100%	100%
P ₃ (57 yrs., male)	Spinal cord injury (T7)	2013	—	—	—	—	—	✓	—	✓	—	—	41.7	100%	100%	100%	100%	100%	100%
P ₄ (47 yrs., female)	Spina bifida	1974	—	—	✓	—	—	✓	—	✓	—	—	39.6	100%	100%	100%	95.8%	100%	100%
P ₅ (48 yrs., male)	Multiple sclerosis	1987	✓	—	✓	—	✓	✓	—	✓	—	—	52.1	100%	97.9%	100%	97.9%	100%	100%
P ₆ (48 yrs., male)	Osteogenesis imperfecta	1973	—	—	—	—	—	✓	—	✓	—	—	33.3	—	100%	100%	—	100%	100%
P ₇ (49 yrs., male)	Multiple sclerosis	1999	✓	—	✓	—	✓	✓	✓	✓	—	✓	39.6	100%	100%	—	100%	100%	100%
P ₈ (65 yrs., male)	Spinal cord injury (C4-C5)	2011	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	37.5	100%	—	—	100%	—	100%
P ₉ (53 yrs., female)	Parkinson's disease	2008	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓	37.5	—	99.0%	—	100%	100%	41.7%
P ₁₀ (43 yrs., female)	Friedreich's ataxia	2013	✓	—	✓	—	✓	—	✓	—	—	—	14.6	99.0%	100%	100%	100%	100%	100%
P ₁₁ (47 yrs., female)	Spastic quadriplegia	1974	✓	✓	✓	—	—	✓	✓	✓	—	✓	37.5	100%	99.0%	100%	100%	100%	100%
P ₁₂ (46 yrs., female)	Spastic quadriplegia	1975	—	✓	✓	—	✓	—	✓	—	✓	✓	33.3	100%	100%	100%	100%	100%	100%
P ₁₃ (57 yrs., female)	Parkinson's disease	2013	✓	✓	—	✓	—	—	✓	✓	✓	—	12.5	99.0%	100%	100%	100%	100%	100%
P ₁₄ (27 yrs., male)	Phocomelia	1994	—	—	—	—	—	✓	—	—	—	—	16.7	100%	—	100%	100%	100%	100%
Summary			7	6	9	2	7	9	8	11	2	6	35.3	85.6%	78.3%	78.6%	85.3%	85.7%	95.8%

Tabel 1. Informații demografice privind persoanele cu dizabilități motorii, participanți la experimentul de achiziție a interacțiunilor cu ceas, inel și ochelari smart. Tabelul prezintă și simptomele raportate de către participanți în conformitate cu cele unsprezece categorii din Findlater *et al.* (2010), scorul WHO Disability Assessment Schedule (WHODAS, 2018) și ratele de finalizare a sarcinilor experimentale.



Figura 3. Fotografii din timpul experimentului ilustrând participanți cu diverse tipuri de dizabilități motorii efectuând gesturi de atingere și de mișcare cu un ceas, inel și o pereche de ochelari.

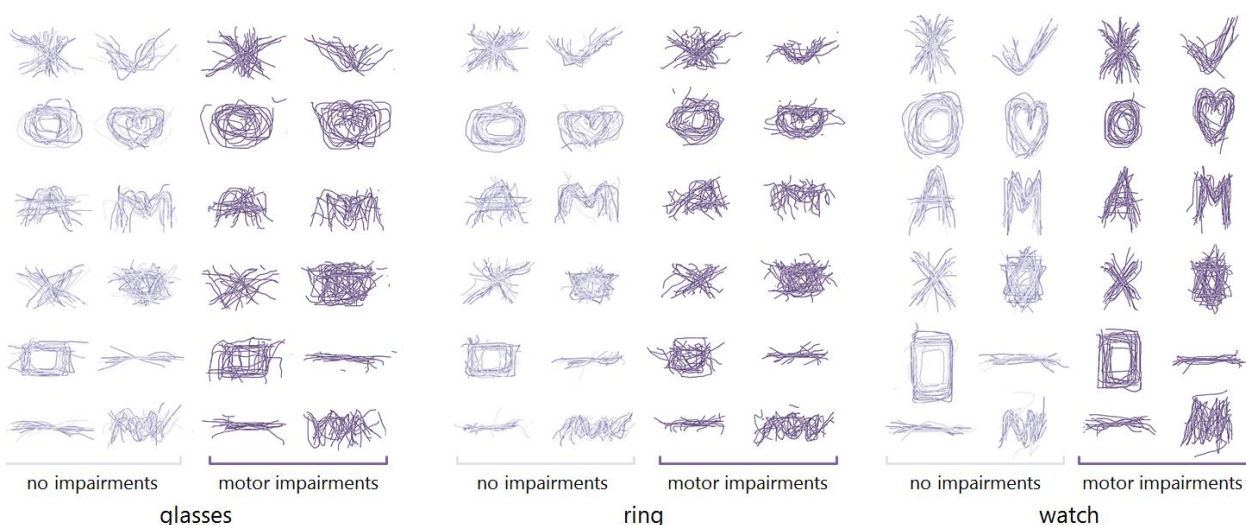


Figura 4. Gesturi realizate de către participanții cu și fără dizabilități motorii cu un ceas, inel și ochelari.

2.2. Percepțiile utilizatorilor cu dizabilități motorii privind dispozitive wearable smart

În cadrul unui al doilea studiu, am solicitat preferințe pentru dispozitive wearable, printre care ceasuri, ochelari și inele smart. Un număr de 21 de participanți au răspuns la întrebările unui chestionar, dezvoltat în etapa anterioară a proiectului, care a fost administrat sub forma unor interviuri semi-structurate. Tabelul 2 prezintă informații demografice privind participanții la acest studiu.

Participant (age, gender)	Health condition	Years with imp.	Self-reported impairments [†]											WHO- DAS 2.0 score
			Mo	Sp	St	Tr	Co	Fa	Gr	Ho	Se	Dir	Dis	
P ₁ (46 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5-C6)	26	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	62.5
P ₂ (57 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5-C6)	22	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	70.8
P ₃ (43 yrs., male)	Traumatic brain injury	24	✓	-	-	-	✓	✓	-	-	-	✓	-	43.7
P ₄ (36 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	20	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	56.2
P ₅ (43 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6-C7)	22	✓	✓	-	-	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	54.1
P ₆ (49 yrs., female)	Spinal Cord Injury (C6-C7)	17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	68.7
P ₇ (48 yrs., male)	Multiple sclerosis	21	✓	-	✓	-	✓	-	✓	✓	-	✓	-	39.5
P ₈ (41 yrs., female)	Spinal Cord Injury (C6-C7)	17	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	62.5
P ₉ (31 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5-C6)	3	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	56.2
P ₁₀ (46 yrs., female)	Spina bifida	46	-	-	✓	-	-	✓	-	✓	-	-	-	39.5
P ₁₁ (55 yrs., male)	Spinal Cord Injury (T6-T7), right brachial plexus injury	32	-	-	-	-	-	✓	-	✓	-	-	-	41.6
P ₁₂ (28 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6-C7)	12	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	27.0
P ₁₃ (59 yrs., male)	Spinal Cord Injury (T3-T4)	32	-	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	22.9
P ₁₄ (47 yrs., male)	Osteogenesis imperfecta	47	-	-	-	-	-	✓	-	✓	-	-	-	35.4
P ₁₅ (40 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	18	-	✓	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	43.7
P ₁₆ (32 yrs., female)	Spina bifida	32	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	81.2
P ₁₇ (47 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C3-C4)	23	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	85.4
P ₁₈ (45 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C4-C5)	14	-	✓	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	68.7
P ₁₉ (43 yrs., male)	Spinal Cord Injury (T6-T7)	30	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	✓	29.1
P ₂₀ (34 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	11	-	-	✓	-	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	58.3
P ₂₁ (40 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C4-C5)	17	-	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	54.1
Summary			11	11	13	1	12	15	15	16	10	15	13	52.4

Tabel 2. Informații demografice ale participanților cu dizabilități motorii din cadrul studiului privind preferințele pentru dispozitive wearable smart, simptomele raportate în conformitate cu cele unsprezece categorii din Findlater *et al.* (2010) și scorul WHODAS 2.0 (2018).

Am evaluat percepția participanților privind următoarele dimensiuni: **(1) Desirability**, ca răspuns la afirmația *"I would like to use or I would need this wearable device"*; **(2) Ease-of-Access**, ca răspuns pentru *"This wearable will be easy for me to put on and take off"*, **(3) Ease-of-Wear** pentru *"This wearable will be easy for me to wear"*, **(4) Ease-of-Use**, ca răspuns pentru afirmația *"This wearable will be easy for me to use"*, **(5) Fun** pentru *"This wearable will be fun to use"* și **(6) Unwanted-Attention** pentru *"This wearable could draw unwanted attention to my disability, if I were to wear it in public places"*. Răspunsurile au fost colectate prin intermediul scalelor Likert cu cinci puncte, de la "strongly agree" (1) la "strongly disagree" (5). Rezultatele sunt prezentate în figura 5. De asemenea, am evaluat preferințele pentru diverse modalități de interacțiune (opt condiții experimentale: atingere directă, interacțiune mediată de o aplicație pe telefonul smart, gesturi ale mâinii, gesturi ale capului, mișcări ale ochilor, comenzi verbale, interfețe BCI și dispozitive montate sau integrate scaunului cu roțile). Rezultatele au arătat o preferință pentru gesturi de atingere (4.3/5), folosirea telefonului smart (3.9/5) și pentru gesturi ale mâinii (3.4/5); vezi figura 6. Aceste rezultate sunt completate de comentarii libere ale participanților cu dizabilități motorii arătând preferințele acestora sau indicând diverse dificultăți

întâmpinate în folosirea dispozitivelor wearable smart, e.g., “My watch is uncomfortable. Sometimes the strap is too loose, other times too tight” (participant P₂₁), “I gave up wearing rings because I could get hurt when using the wheelchair (the ring often made contact with the wheels) or when getting off from the wheelchair and into my bed” (P₁₃), “my smartwatch is very useful because I can answer phone calls when my phone is not near me or when I’m already in bed and the phone is not close to reach. This way, I don’t have to get up and into the wheelchair to go and fetch my phone” (P₁₃).

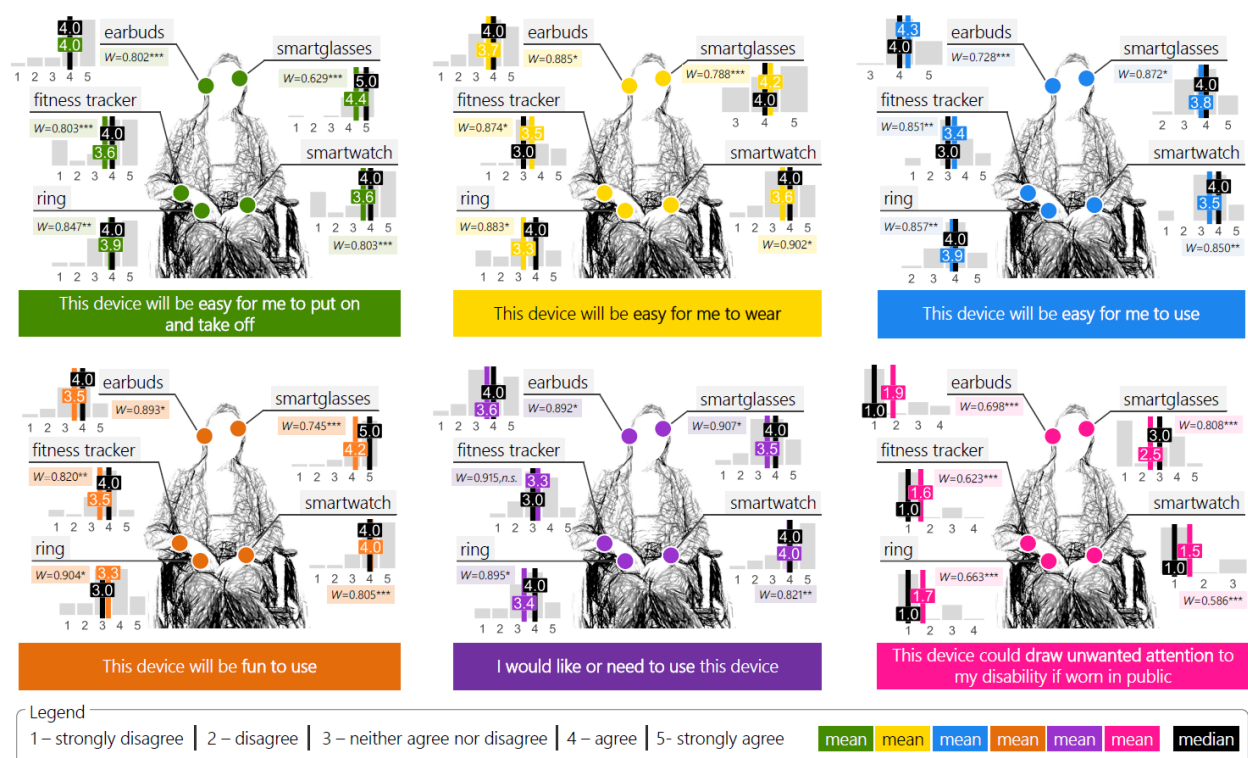


Figura 5. Rezultate privind ușurința percepută în a monta, utiliza și purta dispozitive wearable smart.

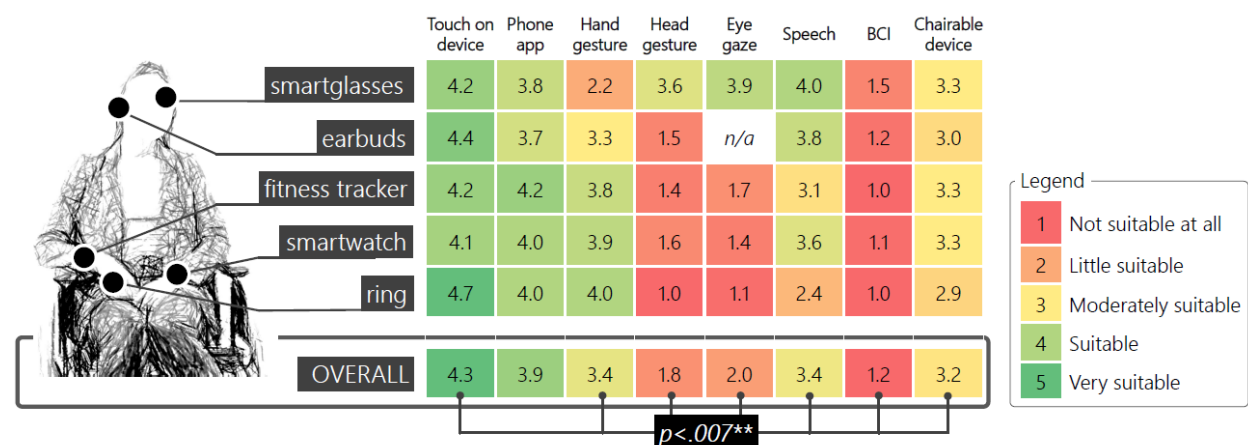


Figura 6. Preferințe pentru modalități de intrare pentru interacțiunea cu diverse dispozitive wearable.

Figura 7 prezintă rezumatul rezultatelor celor 308 preferințe colectate de la un număr de 21 participanți cu dizabilități motorii pentru dispozitive wearable și diverse aplicații. În medie, un participant a furnizat 14.7 asocieri ($SD=6.6$) dintr-un total de $45 = 5$ (dispozitive wearable smart) $\times$ 9 (categorii de aplicații). Ceasurile smart au fost folosite în 31.5% dintre asocieri, fiind urmate de ochelarii smart (19.8%), brățările smart (18.5%), inelele smart (18.2%) și, pe ultimul loc, căștile smart (12.0%). Privind categoriile de aplicații, cele mai frecvente asocieri au fost cu aplicații de fitness și sănătate (18.8%), notificări (15.9%), sisteme publice (14.0%), muzică (12.7%), respectiv controlul echipamentelor de acasă (12.0%).

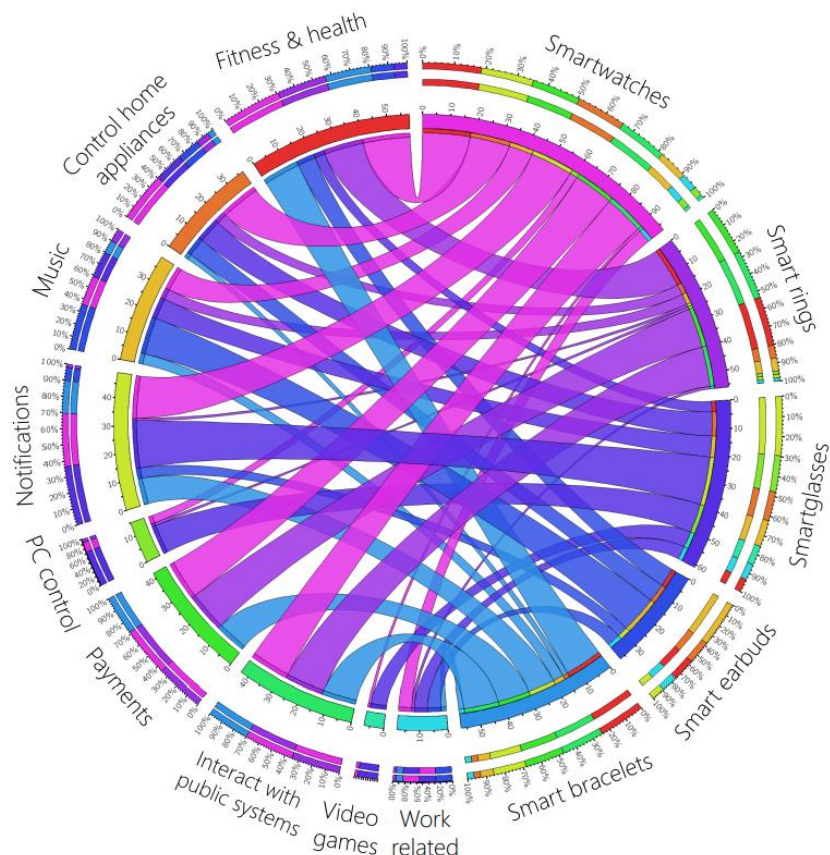


Figura 7. Hartă cu asocieri, exprimate de un număr de 21 persoane cu dizabilități motorii, privind diverse tipuri de dispozitive wearable smart și aplicații posibile. Cu cât este mai lată reprezentarea vizuală a asocierilor, cu atât acestea au fost mai puternice (i.e., sugerate de mai mulți participanți). De exemplu, legătura dintre *smart bracelets* și categoria de aplicații *fitness & health*, sau dintre *smartwatches* și *notifications*, respectiv *smart rings* și *payments*. Alte asocieri, cum ar fi între *smart earbuds* și *notifications* sau *smartwatches* și *video games*, au fost rar sugerate de către participanții la studiu, aspect reflectat în lățimea reprezentărilor vizuale din hartă.

O parte a acestor rezultate au fost publicate în cadrul conferinței ISAmI 2021, the 12th International Symposium on Ambient Intelligence, lucrare distinsă cu **Best Paper Application Award**.

Users with Motor Impairments' Preferences for Smart Wearables to Access and Interact with Ambient Intelligence Applications and Services

Ovidiu-Ciprian Ungureanu and Radu-Daniel Vatavu

Abstract The paper explores the preferences of people with motor impairments for smart wearables to access and interact with ambient intelligence applications and services. We investigate preferences for smartwatches and the delivery of smart bracelets, smartglasses and smart earbuds, respectively, and smart rings, smart glasses, and smart earbuds. We investigate preferences for smartwatches and the delivery of smart bracelets, smartglasses and smart earbuds, respectively, and smart rings, smart glasses, and smart earbuds. We investigate preferences for smartwatches and the delivery of smart bracelets, smartglasses and smart earbuds, respectively, and smart rings, smart glasses, and smart earbuds.

1 Introduction

Smart wearables, such as smartwatches, smart bracelets, and smart glasses, are the most popular types of smart wearables. They are used to monitor health, fitness, and other personal data. They are also used to interact with ambient intelligence applications and services. In this paper, we investigate the preferences of people with motor impairments for smart wearables to access and interact with ambient intelligence applications and services. We investigate preferences for smartwatches and the delivery of smart bracelets, smartglasses and smart earbuds, respectively, and smart rings, smart glasses, and smart earbuds.

Ovidiu-Ciprian Ungureanu, Radu-Daniel 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*. Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, 10 pages. **Best Paper Application Award** 🏆



Springer

2.3. Evaluare TRL-3 a interacțiunilor pentru ceas, inel și ochelari smart

Aplicațiile software realizate pentru achiziția datelor experimentale prezentate în secțiunile anterioare implementează două tipuri de tehnici de interacțiune în conformitate cu condițiile variabilei MODALITY: gesturi de atingere (*stroke-gestures*) și de mișcare (*motion-gestures*). În funcție de dispozitivul wearable, interacțiunile implementează mișcări ale degetului (inel), mâinii și încheieturii (ceas), respectiv ale capului (ochelari). Pentru a confirma atingerea nivelului de maturitate TRL-3 (*i.e.*, demonstrarea conceptului de interacțiune cu dispozitive wearable smart de tip inel, ceas, ochelari pentru utilizatori cu dizabilități motorii privind funcționalitățile critice sau caracteristicile la nivel analitic sau experimental), am analizat datele experimentale obținute în cadrul acestei etape vizând următoarele două aspecte:

- Înțelegerea viabilității tehnicilor de interacțiune bazate pe gesturi prin compararea performanței utilizatorilor cu dizabilități motorii cu cea a utilizatorilor fără dizabilități (secțiunea 2.3.1).
- Identificarea interacțiunilor eficiente pentru utilizatorii cu dizabilități motorii (secțiunea 2.3.2).

2.3.1. Evaluare comparativă a performanței de interacțiune a utilizatorilor cu dizabilități motorii față de un grup de control cu utilizatori fără dizabilități

Am analizat interacțiunile utilizatorilor cu dizabilități motorii de tipul gesturilor de atingere și de mișcare folosind un număr de opt mărimi de performanță, după cum urmează: **(1) timpul de execuție al unui gest**, măsurat în secunde, reprezintă o instanță a mărimii generice folosită în domeniul HCI pentru timpul de finalizare a unei sarcini (Vatavu *et al.*, 2011; Leiva *et al.*, 2018a; 2018b; Cao și Zhai, 2007); **(2) consistența în articulația gesturilor**, calculată folosind formula:

$$\max \left(0, 1 - \frac{\text{average}_h \{ \delta(g, h) \}}{\text{average}_{h^*} \{ \delta(g, h^*) \}} \right)$$

unde g reprezintă gestul pentru care consistența este calculată (de exemplu, o articulație a gestului *asterisc*), h reprezintă alte gesturi de același tip (alte articulații de tip *asterisc*), h^* se referă la alte tipuri de gesturi, iar δ reprezintă o funcție de disimilaritate, cum ar fi Dynamic Time Warping (DTW) (Taranta *et al.*, 2017; Vatavu, 2013); **(3) numărul de componente** ale unui gest reprezintă o mărime de structură ce caracterizează preferința utilizatorilor în execuția gesturilor (Anthony *et al.*, 2013; Rekik *et al.*, 2014), respectiv abilitatea de a atinge suprafața unui ecran și executa gesturi într-o manieră stabilă pe aceasta (Kane *et al.*, 2011; Vatavu și Ungurean, 2019); **(4) lungimea unui gest**, în centimetri, calculată ca suma lungimilor componentelor gestului, conform Vatavu *et al.* (2013), Rekik *et al.* (2014) și Vatavu și Ungurean (2019); **(5) unghiul total de curbura**, raportat în radiani și calculat ca suma unghiurilor definite de perechi de trei puncte consecutive de pe traiectoria unui gest (Vatavu *et al.*, 2013; Rekik *et al.*, 2014; Vatavu și Ungurean, 2019); **(6) accelerația medie**, în m/s^2 , reprezentând un indicator al efortului de a produce un gest de mișcare (Hong *et al.*, 2016; Rico și Brewster, 2010); **(7) media derivatei accelerației (en.: mean jerk)**, în m/s^3 , ca indicator al impulsului cinematic aferent mișcării necesare pentru a produce un gest (Ruiz *et al.*, 2011); și **(8) numărul de dimensiuni** ale unui gest de mișcare, interpretat conform taxonomiei (Ruiz *et al.*, 2011). Rezultatele sunt ilustrate în figurile 8 și 9. Am identificat un timp dublu de realizare a gesturilor de atingere pentru utilizatorii cu dizabilități motorii față de utilizatorii fără dizabilități (3.15s vs. 1.56s, $p < .001$), o consistență în articulație mai mică pentru utilizatorii cu dizabilități

(0.55 vs. 0.67, $p < .05$), precum și gesturi de atingere cu mai multe componente (2.12 vs. 1.60, $p < .05$), mai lungi (4.60 vs. 4.14cm, $p < .005$) și cu un unghi total de curbura semnificativ mai mare (53.71 vs. 27.21rad, $p < .005$). Privind gesturile de mișcare, rezultatele au arătat aceleași caracteristici cinematice privind timpul de execuție (1.73s vs. 1.72s, *n.s.*), accelerația medie (1.86 vs. 1.85m/s², *n.s.*) și derivata accelerației (28.91 vs. 33.49m/s³, *n.s.*) pentru cele două grupuri de utilizatori, dar o consistență mai mică pentru utilizatorii cu dizabilități motorii (0.45 vs. 0.52, $p < .001$); vezi figurile 8 și 9. Aceste rezultate experimentale cu diverse caracteristici reliefate de mărimile de performanță numerică, împreună cu rata de finalizare de 90.4%, respectiv 88.9% pentru gesturi de atingere și mișcare și utilizatori cu dizabilități motorii (tabelul 1), demonstrează conceptul de interacțiune cu ceas, inel și ochelari smart ca fiind viabil și, prin urmare, validează nivelul de maturitate tehnologică TRL-3.

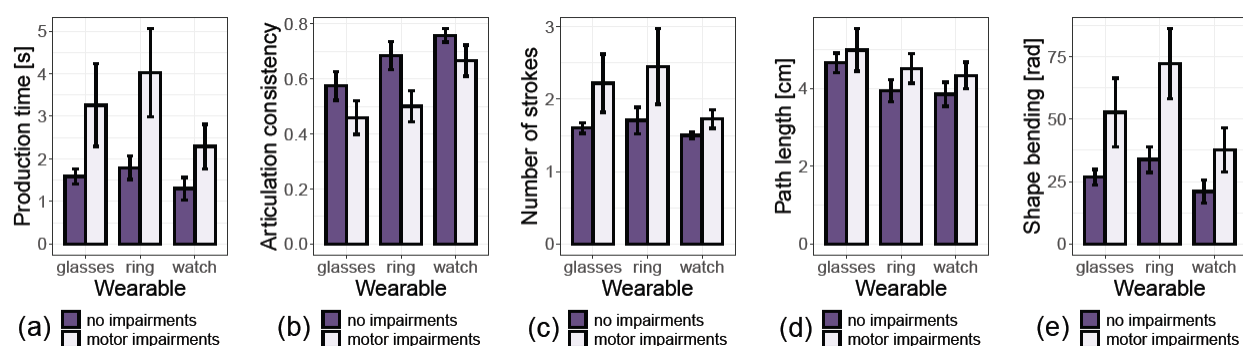


Figura 8. Performanța utilizatorilor în execuția gesturilor de atingere cu un ceas, inel și ochelari.

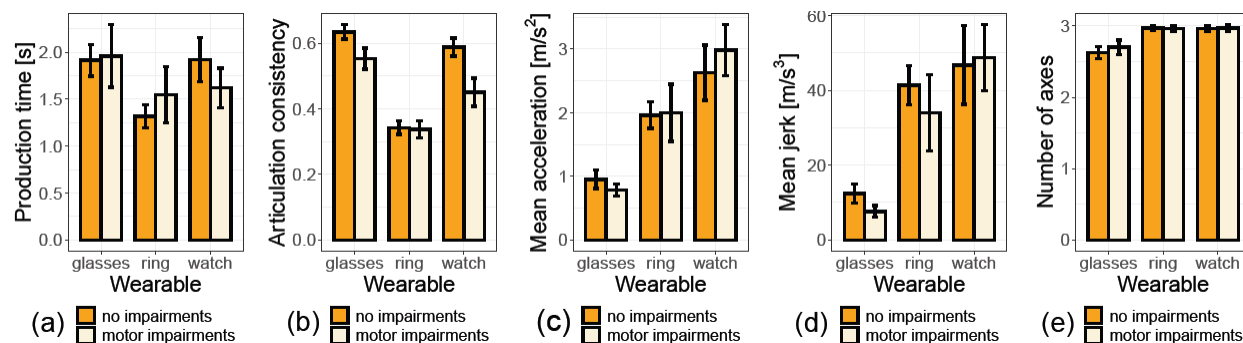


Figura 9. Performanța utilizatorilor în execuția gesturilor de mișcare cu un ceas, inel și ochelari.

Pentru a pune în context interacțiunile analizate în cadrul acestei etape, le-am comparat cu cele propuse în literatura științifică, studiate în etapa anterioară a acestui proiect. Figura 10 ilustrează un set de gesturi extras dintr-un număr de 57 lucrări științifice publicate între anii 2005 și 2020 privind interacțiuni wearable proiectate pentru utilizatori cu dizabilități motorii (Șiean și Vatavu, 2021). Față de aceste interacțiuni, analiza experimentală realizată în cadrul etapei a inclus gesturi de atingere cu expresivitate mai mare decât cele direcționale, precum și criterii de proiectare a acestor gesturi (Vatavu *et al.*, 2011; Isokoski, 2001; Leiva *et al.*, 2018a; 2018b; Gheran *et al.*, 2018; Shimon *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2019; Yan *et al.*, 2018; Vanderdonckt *et al.*, 2019) care extind nivelul cunoașterii în această direcție dincolo de

stadiul actual. Mai multe detalii sunt disponibile în lucrarea (Șiean și Vatau, 2021) publicată în volumul conferinței ACM ASSETS 2021 (o conferință de rang A, conform clasificării curente ARC CORE 2021).

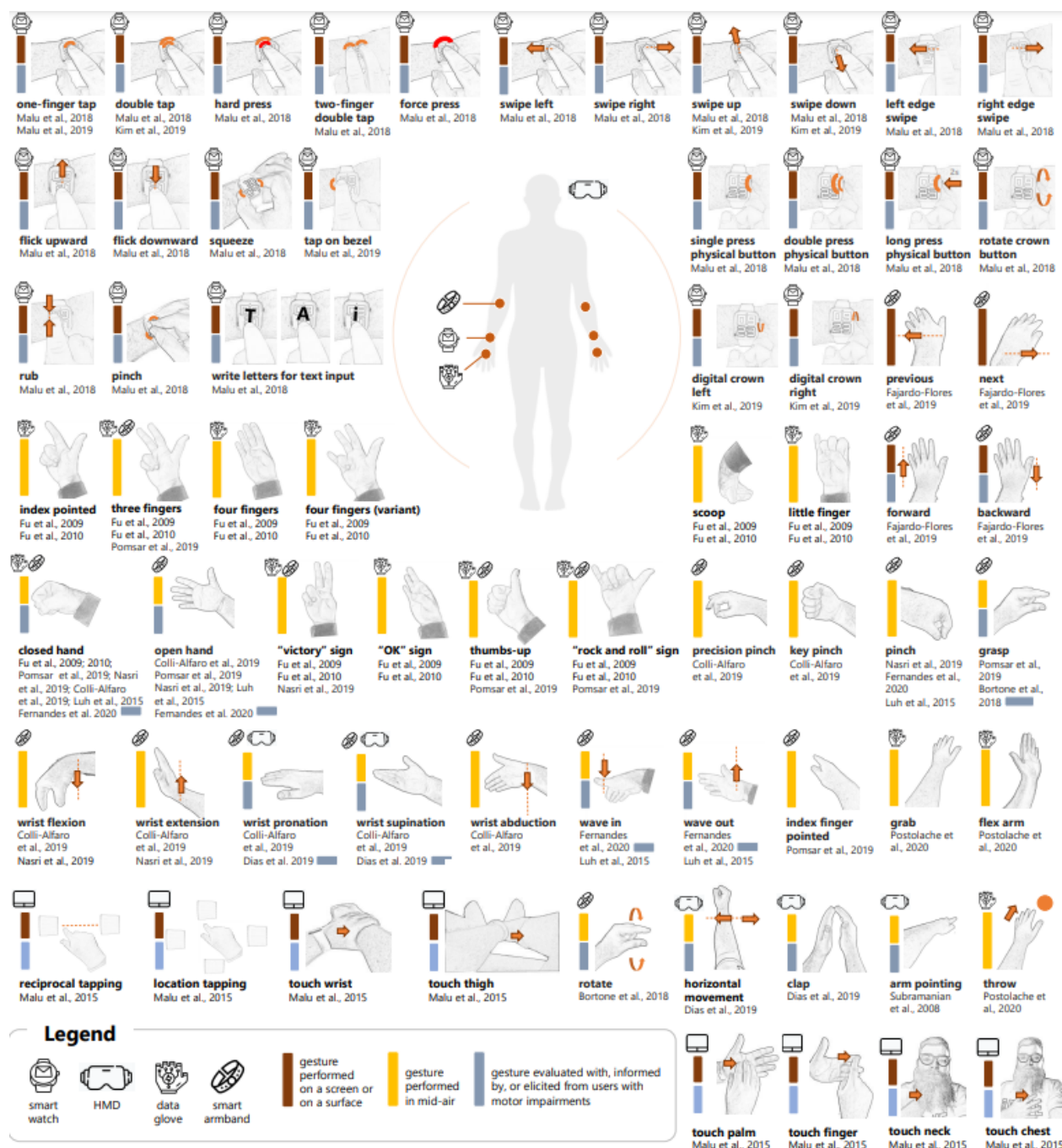


Figura 10. Interacțiuni cu dispozitive wearable cu gesturi ale degetelor, mâinii și încheieturii, extrase din literatura științifică în cadrul unui studiu de tip Systematic Literature Review (Șiean și Vatau, 2021).



Ionuț-Alexandru Șiean, Radu-Daniel Vatavu. (2021). Wearable Interactions for Users with Motor Impairments: Systematic Review, Inventory, and Research Implications. *Proceedings of ASSETS '21, the 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. ACM, New York, NY, USA. Article no. 7, 1-15. <https://doi.org/10.1145/3441852.3471212>



Spre deosebire de alte dispozitive wearable, cum ar fi ceasuri și ochelari smart, pentru care diverse tipuri de interacțiuni au fost propuse în literatura științifică a domeniului, rezultatele noastre (Șiean și Vatavu, 2021) au arătat faptul că inelele smart nu au fost examinate pentru utilizatorii cu dizabilități motorii. Prin urmare, am realizat un nou studiu de tip SLR (Siddaway *et al.*, 2019) în care am identificat și analizat un număr de 84 de lucrări științifice publicate între anii 1997 și 2020 care au adresat interacțiunea prin gesturi cu inele smart pentru utilizatori fără dizabilități, cu scopul de a încadra rezultatele acestei etape în contextul literaturii științifice a domeniului. Am centralizat rezultatele obținute sub forma unei librării de interacțiuni gestuale, pe care am făcut-o disponibilă în cadrul unei aplicații web denumită GestuRING (<http://www.eed.usv.ro/~vatavu/projects/GestuRING>). Aplicația permite explorarea unei baze de date cu 579 de înregistrări reprezentând gesturi ce pot fi realizate cu inele smart și conține referințe (DOI) către literatura științifică, reprezentări numerice ale gesturilor achiziționate cu un accelerometru cu trei axe purtat pe degetul arătător, precum și filme care ilustrează gesturile alcătuind o librărie video YouTube; vezi figura 11. Acest rezultat a fost publicat sub forma a două lucrări în cadrul conferinței ACM UIST 2021, o conferință de rang A*, conform clasificării curente ARC CORE 2021.³

GestuRING: A Web-based Tool for Designing Gesture Input with Rings, Ring-Like, and Ring-Ready Devices



Radu-Daniel Vatavu, Laura-Bianca Bilius. (2021). GestuRING: A Web-based Tool for Designing Gesture Input with Rings, Ring-Like, and Ring-Ready Devices. *Proceedings of UIST '21, the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. ACM, New York, NY, USA, 710-723. <https://doi.org/10.1145/3472749.3474780>



Demonstration of GestuRING, a Web Tool for Ring Gesture Input



Laura-Bianca Bilius, Radu-Daniel Vatavu. (2021). Demonstration of GestuRING, a Web Tool for Ring Gesture Input. *The Adjunct Publication of UIST '21, the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. ACM, New York, NY, USA, 124-125. <https://doi.org/10.1145/3474349.3480199>



³ CORE (Computing Research & Education) Conference Portal, <http://portal.core.edu.au/conf-ranks>



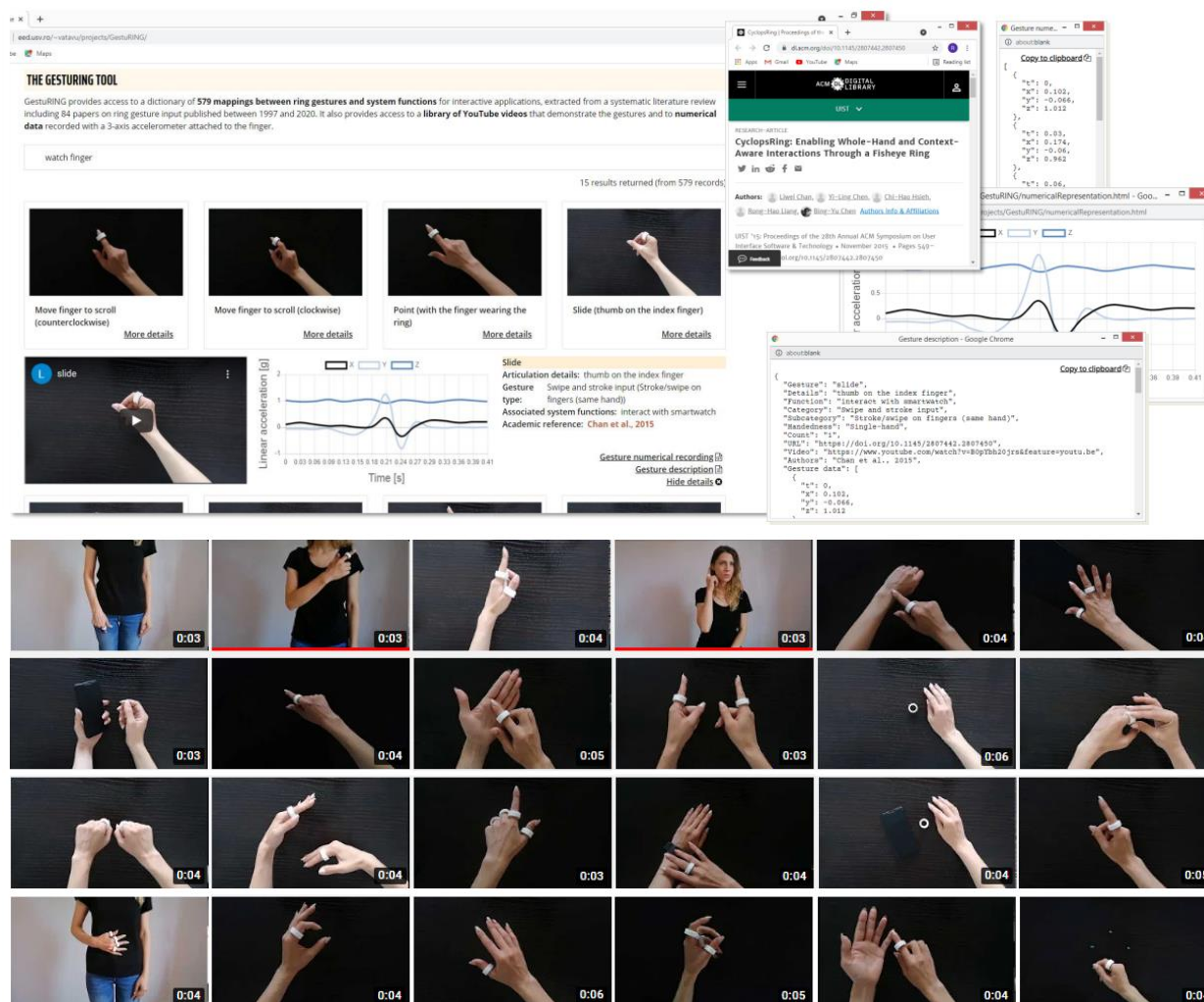


Figura 11. Aplicația GestuRING oferă acces la gesturi ce pot fi realizate cu inele smart, asocieri dintre gesturi și funcții de executat în diverse aplicații, referințe științifice și o librărie video YouTube.

2.3.2. Identificarea de interacțiuni eficiente cu ceas, inel și ochelari pentru utilizatori cu dizabilități motorii în funcție de abilități specifice

Pentru a identifica interacțiuni eficiente pentru utilizatori cu diverse tipuri de dizabilități motorii (tabelul 1 listează diagnosticul medical și simptomele raportate de către participanții din experimentul nostru), am calculat un nou indicator de performanță reprezentat de raportul dintre timpul de execuție al unui gest (o mărime a eficienței – cu cât gestul poate fi efectuat mai repede, cu atât interacțiunea este mai eficientă) și consistența articulației gestuale (o mărime a eficacității – cu cât gesturile sunt executate în mod similar de la o articulație la alta, cu atât interacțiunea este mai eficace). Figura 12 prezintă rezultatele obținute pentru fiecare gest și pentru fiecare dintre participanții cu dizabilități motorii din tabelul 1. Gesturile de atingere sunt ordonate de la 1 la 12 (1 indică gestul cel mai performant conform criteriului introdus mai sus) iar gesturile de mișcare de la 1 la 6 în cadrul fiecărui set (mișcări ale degetului, mâinii, respectiv capului). Celulele negre indică situațiile în care participanții nu au reușit să

realizeze gesturi, de exemplu, participanții P_8 (leziune la nivelul coloanei vertebrale), P_7 (scleroză multiplă) și P_9 (Parkinson) nu au putut ridica mâna la nivelul ochelarilor pentru a realiza interacțiuni de atingere pe rama acestora. Gesturile direcționale (*swipe left* și *swipe right*) au fost realizate cu performanța cea mai ridicată, cu doar câteva excepții pentru anumiți participanți, unde s-au aflat pe pozițiile 3 sau 4. În ordine, alte gesturi cu o performanță ridicată au fost *check mark* și *letter "X"* pentru interacțiuni prin atingere, respectiv *lean forward* pentru gesturi de mișcare detectate cu ochelari smart, *thumb-to-index* pentru gesturi implicând mișcarea degetului care poartă un inel smart, respectiv *circle* și *tap* pentru mișcări ale încheieturii mâinii. De asemenea, gesturile *six-point star*, *asterisk* și *heart* s-au situat printre cele mai puțin performante din perspectiva raportului timp de execuție/consistența articulației gestuale, un rezultat care arată dificultatea lor, estimată corect în timpul proiectării experimentului nostru (a se vedea indicatorul Difficulty Ranking (DR) din figura 1). Variații pot fi observate în ceea ce privește ordinea gesturilor pentru cei 14 participanți cu dizabilități motorii, un rezultat care recomandă adoptarea principiului de proiectare bazată pe abilități (*en.*: ability-based design) introdus de către Wobbrock *et al.* (2011; 2018).

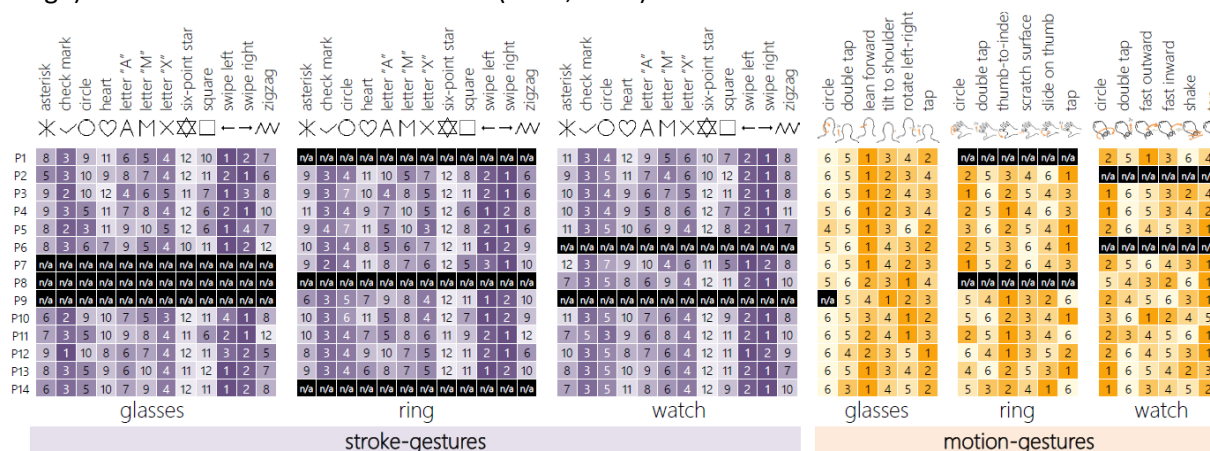


Figura 12. Ordinea performanței interacțiunilor gestuale cu ceas, inel și ochelari în funcție de raportul dintre timpul de execuție (ca o mărime a eficienței) și consistența articulației (o mărime a eficacității).

3. ALTE ACTIVITĂȚI REALIZATE ÎN CADRUL ETAPEI

În cadrul etapei nr. 2 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 proiectului în comunitatea științifică prin participarea la conferințele ACM UIST 2021 (rang A*), ACM ASSETS 2021 (rang A), ISAMI 2021, MUM 2021 (rang B), respectiv diseminarea rezultatelor proiectului către publicul larg prin intermediul canalului YouTube al directorului de proiect: <https://www.youtube.com/user/raduvro/videos>

4. PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE ALE ETAPEI

- [1] Radu-Daniel Vatavu, Laura-Bianca Bilius. (2021). GestuRING: A Web-based Tool for Designing Gesture Input with Rings, Ring-Like, and Ring-Ready Devices. *Proceedings of UIST '21, the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. ACM, New York, NY, USA, 710-723. <https://doi.org/10.1145/3472749.3474780> (rang A*, cf. ARC CORE 2021)
- [2] Laura-Bianca Bilius, Radu-Daniel Vatavu. (2021). Demonstration of GestuRING, a Web Tool for Ring Gesture Input. *Proceedings of the Adjunct Publication of UIST '21, the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. ACM, New York, NY, USA, 124-125. <https://doi.org/10.1145/3474349.3480199> (rang A*, cf. ARC CORE 2021)
- [3] Ionuț-Alexandru Șiean, Radu-Daniel Vatavu. (2021). Wearable Interactions for Users with Motor Impairments: Systematic Review, Inventory, and Research Implications. *Proceedings of ASSETS '21, the 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. ACM, New York, NY, USA, Article No. 7, 1-15. <https://doi.org/10.1145/3441852.3471212> (rang A, cf. ARC CORE 2021)
- [4] Ovidiu-Ciprian Ungurean, Radu-Daniel 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*. Lecture Notes in Networks and Systems, Springer Nature Switzerland, 10 pages. **Best Paper Application Award** 🏆
- [5] Ovidiu-Andrei Schipor, Radu-Daniel Vatavu. (2021). Software Architecture Based on Web Standards for Gesture Input with Smartwatches and Smartglasses. In *Proceedings of MUM '21, the 20th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. ACM, New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1145/3490632.3497780> (rang B, cf. ARC CORE 2021)

În conformitate cu activitățile desfășurate, rezultatele obținute în perioada ianuarie – decembrie 2021 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. 2 îndeplinite în procent de 100%.

REFERINȚE

- | | |
|---------------------------------|---|
| Anthony <i>et al.</i> ,
2013 | Lisa Anthony, Radu-Daniel Vatavu, Jacob O. Wobbrock. 2013. Understanding the Consistency of Users' Pen and Finger Stroke Gesture Articulation. <i>Proceedings of GI'13, the 39th Graphics Interface Conference</i> . New York, NY, USA: ACM Press, 87-94. http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2532129.2532145 |
| Cao și Zhai, 2007 | Xiang Cao, Shumin Zhai. 2007. Modeling human performance of pen stroke gestures. In <i>Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '07)</i> . ACM, New York, NY, USA, 1495–1504. https://doi.org/10.1145/1240624.1240850 |
| Findlater <i>et al.</i> , | Leah Findlater, Alex Jansen, Kristen Shinohara, Morgan Dixon, Peter Kamb, Joshua Rakita, Jacob O. Wobbrock. 2010. Enhanced Area Cursors: Reducing Fine Pointing |

- 2010 Demands for People with Motor Impairments. In *Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '10)*. ACM, New York, NY, USA, 153–162. <https://doi.org/10.1145/1866029.1866055>
- Gheran *et al.*, 2018 Bogdan-Florin Gheran, Jean Vanderdonckt, Radu-Daniel Vatavu. 2018. Gestures for Smart Rings: Empirical Results, Insights, and Design Implications. In *Proceedings of the 2018 Designing Interactive Systems Conference (DIS '18)*. ACM, New York, NY, USA, 623–635. <https://doi.org/10.1145/3196709.3196741>
- Hong *et al.*, 2016 F. Hong, S. You, M. Wei, Y. Zhang, and Z. Guo. 2016. MGRA: Motion Gesture Recognition via Accelerometer. *Sensors* 16, 4 (2016), 530. <https://doi.org/10.3390/s16040530>
- Isokoski, 2001 Poika Isokoski. 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. <https://doi.org/10.1145/365024.365299>
- Kane *et al.*, 2011 Shaun K. Kane, Jacob O. Wobbrock, and Richard E. Ladner. 2011. Usable Gestures for Blind People: Understanding Preference and Performance. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA, 413–422. <https://doi.org/10.1145/1978942.1979001>
- Leiva *et al.*, 2018a Luis A. Leiva, Daniel Martín-Albo, Réjean Plamondon, and Radu-Daniel Vatavu. 2018. KeyTime: Super-Accurate Prediction of Stroke Gesture Production Times. In *Proc. of the 2018 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. ACM, New York, NY, USA, 239:1-12. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173813>
- Leiva *et al.*, 2018b Luis A. Leiva, Daniel Martín-Albo, Radu-Daniel Vatavu. 2018. GATO: predicting human performance with multistroke and multitouch gesture input. In *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '18)*. ACM, New York, NY, USA, Article 32, 1–11. <https://doi.org/10.1145/3229434.3229478>
- Liu *et al.*, 2019 Qi Feng Liu, Keiko Katsuragawa, and Edward Lank. 2019. Eliciting Wrist and Finger Gestures to Guide Recognizer Design. In *Proceedings of the 45th Graphics Interface Conference on Proceedings of Graphics Interface 2019 (GI'19)*. Canadian Human-Computer Communications Society, Waterloo, CAN, Article no. 9, 1–9. <https://doi.org/10.20380/GI2019.09>
- Rekik *et al.*, 2014 Yosra Rekik, Radu-Daniel Vatavu, Laurent Grisoni. (2014). Understanding Users' Perceived Difficulty of Multi-Touch Gesture Articulation. In *Proceedings of ICMI'14, the 16th ACM International Conference on Multimodal Interaction*. New York, NY, USA: ACM Press, 232-239. <https://dx.doi.org/10.1145/2663204.2663273>
- Rico și Brewster, 2010 Julie Rico, Stephen Brewster. 2010. Usable Gestures for Mobile Interfaces: Evaluating Social Acceptability. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human*



- Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA, 887–896.
<https://doi.org/10.1145/1753326.1753458>
- Ruiz *et al.*, 2011 Jaime Ruiz, Yang Li, Edward Lank. 2011. User-Defined Motion Gestures for Mobile Interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA, 197–206.
<https://doi.org/10.1145/1978942.1978971>
- Shimon *et al.*, 2016 Shaikh Shawon Arefin Shimon, Courtney Lutton, Zichun Xu, Sarah Morrison-Smith, Christina Boucher, Jaime Ruiz. 2016. Exploring Non-touchscreen Gestures for Smartwatches. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*. ACM, New York, NY, USA, 3822–3833.
<https://doi.org/10.1145/2858036.2858385>
- Siddaway *et al.*, 2019 Andy P. Siddaway, Alex M. Wood, Larry V. Hedges. 2019. How to Do a Systematic Review: A Best Practice Guide for Conducting and Reporting Narrative Reviews, Meta-Analyses, and Meta-Syntheses. *Annual Review of Psychology* 70, 1 (2019), 747–770. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102803>
- Șiean și Vataavu, 2021 Ionuț-Alexandru Șiean, Radu-Daniel Vataavu. 2021. Wearable Interactions for Users with Motor Impairments: Systematic Review, Inventory, and Research Implications. In *Proceedings of ASSETS '21, the 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. ACM, New York, NY, USA.
<https://doi.org/10.1145/3441852.3471212>
- Taranta *et al.*, 2017 Eugene M. Taranta II, Amirreza Samiei, Mehran Maghoumi, Pooya Khaloo, Corey R. Pittman, and 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*. ACM, New York, NY, USA, 5850–5861.
<https://doi.org/10.1145/3025453.3026002>
- Vanderdonckt *et al.*, 2019 Jean Vanderdonckt, Nathan Magrofuoco, Suzanne Kieffer, Jorge Pérez, Ysabelle Rase, Paolo Roselli, and Santiago Villarreal. 2019. Head and Shoulders Gestures: Exploring User-Defined Gestures with Upper Body. In *Proceedings of HCI 2019. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 11584. Springer, Cham, 192–213.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-23541-3_15
- Vataavu *et al.*, 2011 Radu-Daniel Vataavu, Daniel Vogel, Géry Casiez, Laurent Grisoni. 2011. Estimating the Perceived Difficulty of Pen Gestures. In *Proceedings of INTERACT'11, the 13th IFIP TC13 Conference on Human-Computer Interaction*. Springer, 89–106.
http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-23771-3_9
- Vataavu, 2013 Radu-Daniel Vataavu. 2013. The Impact of Motion Dimensionality and Bit Cardinality on the Design of 3D Gesture Recognizers. *International Journal of Human-Computer Studies* 71, 4 (2013), 387–409.

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2012.11.005>
- Vatavu *et al.*, 2013 Radu-Daniel Vatavu, Lisa Anthony, Jacob O. Wobbrock. 2013. Relative Accuracy Measures for Stroke Gestures. *Proceedings of ICMII'13, the 15th ACM International Conference on Multimodal Interaction*. New York, NY, USA: ACM Press, 279-286. <http://dx.doi.org/10.1145/2522848.2522875>
- Vatavu și Ungurean, 2019 Radu-Daniel Vatavu, Ovidiu-Ciprian Ungurean. 2019. Stroke-Gesture Input for People with Motor Impairments: Empirical Results & Research Roadmap. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA, 1–14. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300445>
- WHODAS, 2018 WHO. 2018. WHO Disability Assessment Schedule 2.0 (WHODAS 2.0). June 2018. <http://www.who.int/classifications/icf/whodasii/en>
- 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 (May 2018), 62–71. <https://doi.org/10.1145/3148051>
- Yan *et al.*, 2018 Yukang Yan, Chun Yu, Xin Yi, Yuanchun Shi. 2018. HeadGesture: Hands-Free Input Approach Leveraging Head Movements for HMD Devices. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.* 2, 4, Article 198 (December 2018), 23 pages. <https://doi.org/10.1145/3287076>

Director proiect,

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

