

RAPORT ȘTIINȚIFIC FINAL

privind implementarea proiectului **REALITĂȚI SENZORIMOTORII** în
perioada ianuarie 2021 – decembrie 2023

Cod proiect	PN-III-P4-ID-PCE-2020-0434
Nr. contract	PCE29/2021
Acronim	SensorimotorReality
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/SensorimotorRealities

Cuprins

1. REZUMATUL PROIECTULUI.....	2
1.1 Obiective	2
1.2 Membrii echipei de cercetare.....	2
1.3 Rezultate așteptate, conform planului de realizare, și rezultate obținute.....	3
2. DESCRIEREA REZULTATELOR ȘTIINȚIFICE OBȚINUTE	4
2.1. Fundamente pentru Realități Sensorimotorii	4
2.2. Dispozitive portabile și medii inteligente pentru implementarea Realităților Sensorimotorii	10
2.3. Metafore și tehnici de interacțiune pentru Realitățile Sensorimotorii	15
3. IMPACTUL REZULTATELOR OBȚINUTE, CU SUBLINIAREA CELUI MAI SEMNIFICATIV REZULTAT	22

1. REZUMATUL PROIECTULUI

1.1. Obiective

Acest proiect își propune conceptualizarea, proiectarea și evaluarea de noi dispozitive portabile și medii inteligente în scopul susținerii abilităților sensorimotorii existente, precum și furnizării de noi abilități persoanelor cu și fără deficiențe motorii. Conceptul principal explorat în cadrul proiectului este acela al **„Realităților Sensorimotorii” (SRs), reprezentând un nou tip de realitate hibridă** cu fundamente teoretice în mediile de realitate mixtă și mediată și proiectarea de sisteme interactive centrate pe abilitățile utilizatorilor. Obiectivul principal al proiectului constă în conceptualizarea Realităților Sensorimotorii prin folosirea conjugată a dispozitivelor portabile (*en.*: Wearable Computing) și a mediilor de inteligență ambientală (*en.*: Ambient Intelligence) la intersecția cu realitatea mixtă și mediată (*en.*: Mixed/Mediated Reality). Alte rezultate estimate includ: proiectarea unui spațiu conceptual pentru Realitățile Sensorimotorii, propunerea unei taxonomii privind abilitățile motorii augmentate, realizarea de prototipuri de dispozitive portabile, medii inteligente și propunerea de metafore de interacțiune pentru Realitățile Sensorimotorii, colectarea de date experimentale, publicații științifice în reviste și participări la conferințe de prestigiu. În acest scop, proiectul își fixează următoarele obiective concrete:

- O1. Conceptualizarea Realităților Sensorimotorii, un nou tip de realitate hibridă pentru augmentarea abilităților sensorimotorii ale utilizatorilor prin folosirea conjugată a dispozitivelor portabile și mediilor de inteligență ambientală la intersecția cu realitatea mixtă și mediată.
- O2. Explorarea posibilităților oferite de Realitățile Sensorimotorii prin proiectarea și implementarea de noi dispozitive portabile și medii de inteligență ambientală.
- O3. Explorarea de metafore de interacțiune specifice Realităților Sensorimotorii.

1.2. Membrii echipei de cercetare

Echipa implicată în activitățile proiectului de cercetare este alcătuită din:

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., membru cercetător în domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației)
3. Ovidiu-Ciprian Ungurean (dr. ing., membru cercetător în domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației)
4. Alexandru Dancu (dr., membru cercetător în domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației)
5. Otilia Clipa (conf. univ. dr., membru cercetător în domeniul Pedagogie)
6. Maria-Doina Schipor (conf. univ. dr., membru al Colegiului Psihologilor din România, membru cercetător în domeniul Psihologie în cadrul proiectului)
7. Bogdan Popoveniuc (prof. univ. dr., conducător de doctorat în domeniul Filosofie, membru cercetător în Filosofie în cadrul proiectului)
8. Adrian-Vasile Catană (doctorand în domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației)
9. Alexandru-Tudor Andrei (doctorand în domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației)
10. Cristian Pamparău (doctorand în domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației)



1.3. Rezultate așteptate, conform planului de realizare, și rezultate obținute

- **Rezultat așteptat:** Rapoarte de cercetare
Rezultat realizat: Trei rapoarte științifice, aferente anilor de implementare 2021-2023, detaliind rezultatele obținute. Rapoartele sunt disponibile pe pagina web a proiectului de cercetare.
- **Rezultat așteptat:** Pagina web a proiectului de cercetare
Rezultat realizat: Pagina web <http://www.eed.usv.ro/mintviz/projects/SensorimotorRealities> cuprinzând rezumatul, obiectivele, echipa, publicațiile științifice, resursele și media (YouTube).
- **Rezultat așteptat:** Spațiu conceptual pentru SRs și taxonomie a abilităților motorii augmentate
Rezultat realizat: Un spațiu conceptual cu șase dimensiuni, formalizând posibilitățile oferite de augmentarea abilităților sensorimotorii, mediile virtuale și imaginare și dispozitivele purtabile și ambientale, respectiv o taxonomie a abilităților augmentate. Aceste rezultate au fost diseminate în diverse publicații (Vatavu, 2022a; Vatavu, 2023a; Vatavu et al., 2022), dintre care lucrarea (Vatavu, 2022a), publicată în cadrul IEEE ISMAR 2022 (rang A*, cf. ARC CORE și cea mai prestigioasă conferință a domeniului realității augmentate/mixte), a introdus noul concept SRs.
- **Rezultat așteptat:** Prototipuri de dispozitive purtabile și medii inteligente pentru SRs
Rezultat realizat: Un număr de 5 prototipuri de dispozitive purtabile și ambientale publicate: Fingerhints (Catană și Vatavu, 2023), Possi(a)bilities (Vatavu, 2022b), Tap4Light (Andrei et al., 2022), dispozitive purtabile iFAD (Vatavu, 2023b), HoloLens ARTV pentru conceptul SRs aplicat pentru un caz de dizabilitate motorie rară, focomelia (Vatavu, 2022a). Detalii în secțiunea 2.2.
- **Rezultat așteptat:** Prototipuri de tehnici de interacțiune implementate pentru SRs
Rezultat realizat: Un număr de 6 tehnici și metafore de interacțiune publicate: SAPIENS-in-XR (Pamparau et al., 2023), interacțiuni realizate pe corp și scaunul cu roțile on-body/on-wheelchair (Bilius et al., 2023a; 2023b), interacțiune directă vs. asistată în spații publice pentru utilizatorii scaunelor cu roțile (Vatavu et al., 2022), experiența utilizator a tranzițiilor între diverse niveluri de augmentare a realității (Pamparău și Vatavu, 2022), interacțiuni cu sisteme de divertisment de tip televiziune augmentată (Ungurean și Vatavu, 2021; 2022; Popovici et al., 2021). De asemenea, conceptul “non-natural interaction” (Vatavu, 2023c), distins cu **1st Place Blue Sky Award** la ACM ICMI 2023 pentru noua viziune și direcție de cercetare introduse (Secțiunea 2.3).
- **Rezultat așteptat:** Articole științifice în reviste și/sau participări la conferințe de prestigiu
Rezultat realizat: Rezultatele au fost diseminate în **25 de lucrări științifice** în conferințe și reviste reprezentative pentru domeniile interacțiunii om-calculator, realității augmentate, mixte și virtuale, mediei interactive și tehnologiilor asistive, alături de alte 4 comunicări. Dintre acestea, 8 lucrări au fost publicate la conferințe clasificate cu **rang A*** conform ARC CORE (ACM CHI, ACM UIST și IEEE ISMAR), o lucrare în revista de top a domeniului realității virtuale (**Virtual Reality**, Q1, IF=4.2, 5-Year IF=5.5), o lucrare în revista de top a domeniului interacțiunii om-calculator (**ACM Transactions on Computer-Human Interaction**, Q2, IF=3.7, 5-Year IF=4.6), iar **5 lucrări (5/25=20%) au fost distinse cu premii la conferințe organizate de către ACM**.

Pe lângă aceste rezultate așteptate din planul de realizare, am obținut trei seturi de date, disponibile pe pagina proiectului, și 17 materiale media (disponibile YouTube) pentru diseminarea către publicul larg.

2. DESCRIEREA REZULTATELOR ȘTIINȚIFICE OBȚINUTE

2.1. Fundamente pentru Realități Sensorimotorii

Abilitățile umane sunt diverse, variază de la o persoană la alta, pentru aceeași persoană la momente de timp diferite, precum și în funcție de contextul în care sunt folosite (Anderson *et al.*, 2021; Magill și Anderson, 2014). Acestea sunt determinate de anatomia și fiziologia corpului uman și sunt influențate de experiențe de învățare, interacțiuni cu alte persoane și cu mediul înconjurător, precum și de îmbătrânire, boală sau accidente. Plecând de la eterogenitatea abilităților sensorimotorii (Anderson *et al.*, 2021; Magill și Anderson, 2014; Wobbrock *et al.*, 2011), diversitatea mediilor hibride (Adamovich *et al.*, 2009; Azuma, 1997; Billinghamurst *et al.*, 2015; Milgram și Kishino, 1994; Speicher *et al.*, 2019), precum și calitatea esențială a procesului de mediere în cadrul realității mediate (Mann, 1999; Mann și Barfield, 2003; Mann *et al.*, 2018), am identificat trei principii care conturează **Realitățile Sensorimotorii (SRs) drept un nou tip de realitate hibridă în cadrul spectrului XR** (Realitatea Extinsă, un termen folosit în industria domeniului¹ pentru a face referire la ansamblul realităților augmentate, mixte și virtuale):

- P1. **Principiul relativității abilităților sensorimotorii.** Abilitățile umane variază în timp și spațiu și, în general, în contextul în care lumea exterioară este percepută și interacțiunile cu lumea fizică au loc, ceea ce face ca toate abilitățile sensorimotorii să fie *relative*. Acest principiu enunță faptul că fiecare dintre noi experimentăm o varietate de realități sensorimotorii în fiecare zi.
- P2. **Principiul lumilor multiple.** SRs adresează experiențe furnizate de interacțiuni în medii hibride, reprezentând diverse moduri de a combina lumea fizică, virtuală (Adamovich *et al.*, 2009) și imaginară (Baudisch *et al.*, 2013; Gustafson *et al.*, 2010), ce necesită diverse abilități.
- P3. **Principiul medierii.** SRs au drept scop medierea abilităților utilizatorilor prin folosirea conjugată a dispozitivelor portabile și mediilor de inteligență ambientală. Cu un scop diferit de cel al tehnologiilor asistive (Hersh și Johnson, 2008; WHO, 2018), respectiv al sistemelor adaptive care încearcă cea mai bună potrivire cu abilitățile utilizatorilor, ca o consecință directă a proiectării acestora (Wobbrock *et al.*, 2011; 2018), abilitățile mediate determină noi experiențe și, prin urmare, sunt compatibile atât cu tehnologiile asistive cât și cu proiectarea bazată pe abilități.

Aceste principii au condus la următoarea definiție a Realităților Sensorimotorii:

Definiție. Realitățile Sensorimotorii (SRs) reprezintă manifestări dinamice ale realității experimentate subiectiv de utilizatorul unui sistem informatic, ca urmare a asocierii percepției senzoriale cu acțiunea mediată în timpul cuplării sensorimotorii de dispozitive portabile și medii ale inteligenței ambientale.

Plecând de la această definiție, trei concepte fundamentale pot fi identificate pentru SRs: (1) individul în context, (2) lumea ca substrat al percepției și acțiunii prin aplicarea abilităților sensorimotorii, respectiv (3) dispozitivele, portabile sau ambientale, ce implementează medierea abilităților; a se vedea figura 1 pentru o prezentare a acestor concepte, precum și a altora conexe. Pentru a contextualiza aceste contribuții în cadrul literaturii științifice, am realizat 4 studii de analiză a stadiului actual al cunoașterii științifice vizând accesibilitatea experiențelor media pentru utilizatori cu diverse dizabilități (Vatavu,

¹ <https://www.qualcomm.com/research/extended-reality>



2021; Nevsky et al., 2023), tehnologiile asistive propuse la intersecția dintre inteligența ambientală și realitatea augmentată/mixtă pentru persoane cu dizabilități motorii (Șiean et al., 2021), respectiv interpretarea contribuțiilor din domeniile tehnologiilor asistive folosind principiile SRs (Vatavu, 2023a).

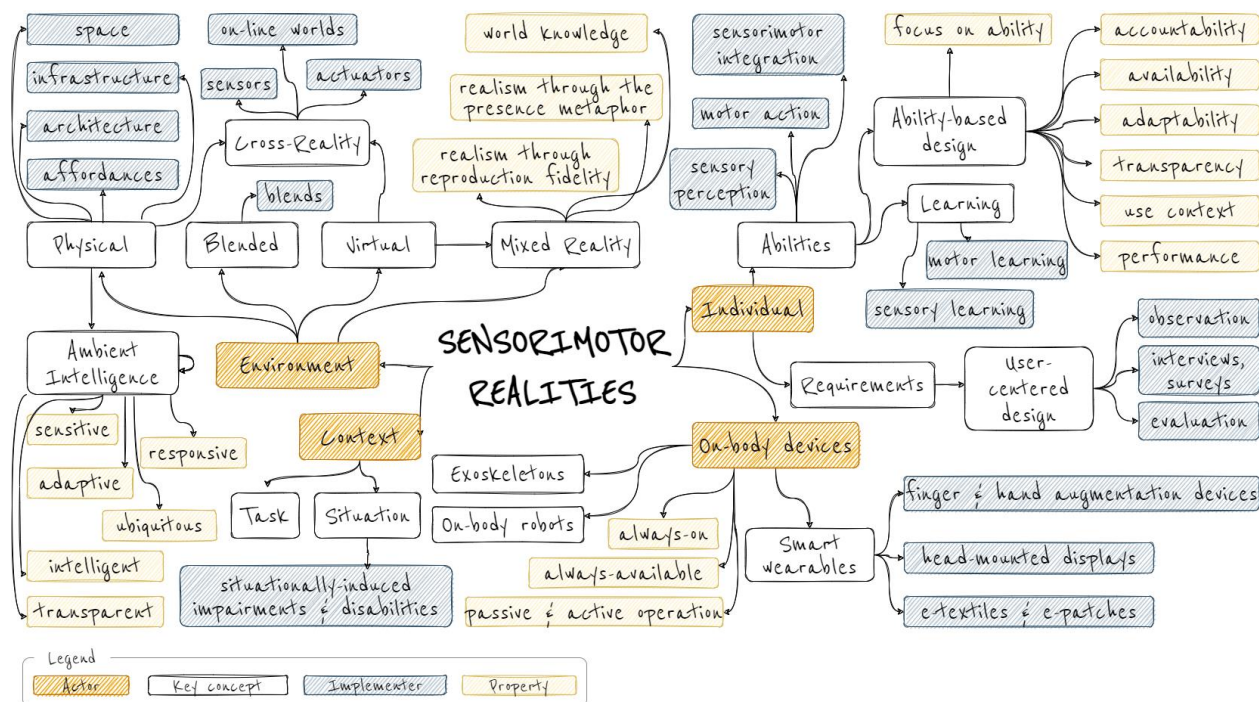


Figura 1. Hartă de concepte pentru specificarea Realităților Sensorimotorii, rezultată în urma unui proces de ideeție cu scopul de a identifica proprietăți caracteristice și concepte conexe.

Plecând de la principiile definitorii propuse pentru conturarea SRs, am introdus un spațiu conceptual cu șase dimensiuni calitative (D1-D6) pentru medierea abilităților (figura 2):

- D1. Mediarea senzorială** specifică natura și gradul de mediere a percepției utilizatorului, pentru care distingem patru categorii: *amplificarea*, *extensia*, *diminuarea* și *contractia*. *Amplificarea senzorială* se referă la îmbunătățirea abilităților unei persoane de a detecta stimuli, cum ar fi o percepție crescută a culorilor cu dispozitive HMD (Langlotz et al., 2018). *Extensia senzorială* reprezintă îmbunătățirea abilităților dincolo de posibilitățile oferite în mod natural de corpul uman, e.g., vederea în alte domenii ale spectrului electromagnetic (Abdelrahman și Schmidt, 2018). Opusă amplificării, *diminuarea senzorială* conduce la o înrăutățire dorită a percepției, e.g., ochelarii Cambridge Simulation Glasses² pentru a experimenta modul în care persoanele cu deficiențe de vedere percep lumea. Opusă extinderii, *contractia* refuză o anumită abilitate în totalitate, cum ar fi antrenamentele în VR cu simularea lipsei auzului (Sadek et al., 2010).
- D2. Mediarea motorie** specifică natura și gradul de mediere a acțiunii motorii a utilizatorului, cu aceleași patru categorii: *amplificarea*, *extensia*, *diminuarea* și *contractia*. În timpul *amplificării*, o abilitate motorie este îmbunătățită, cum ar fi cazul unui exoschelet care asistă prinderea și

² <http://www.inclusivedesigntoolkit.com/csg/csg.html>

manipularea obiectelor (Tong *et al.*, 2010) sau folosirea electrostimulării musculare pentru un răspuns motric mai rapid (Kasahara *et al.*, 2019). Prin *extensie*, noi abilități pot fi dobândite dincolo de posibilitățile corpului uman, e.g., un al șaselea deget pentru manipularea eficientă a obiectelor mari (Prattichizzo *et al.*, 2014). La polul opus, *diminuarea* și *contractia* restricționează acțiunile, fie prin reducerea unei abilități sau refuzarea ei în totalitate. Exemple includ costume de tip *age suit* (Lavallière *et al.*, 2017), care permit experimentarea navigării din perspectiva persoanelor în vârstă, sau impunerea unor constrângeri asupra mișcărilor corpului (Ruiz și Vogel, 2015), cum ar fi în timpul studiilor de solicitare a preferințelor utilizatorilor pentru gesturi.

D3. **Virtualitatea**, implementată sub forma spectrului continuu Real-Virtual (Milgram și Kishino, 1994), specifică întrepătrunderea dintre lumea fizică și cea virtuală. Acest cadru teoretic permite formalizarea conceptuală, dar și instanțierea practică, a diverselor tipuri de realități mixte, respectiv definirea realității augmentate ca prima parte a spectrului Real-Virtual.

D4. **Imaginaritatea**, implementată în analogie cu spectrul continuu Real-Virtual, pentru care una dintre extremități o reprezintă o lume imaginară. Pe acest spectru se poziționează interfețele utilizator imaginare (Baudisch *et al.*, 2013; Gustafson *et al.*, 2010; Schipor și Vatavu, 2018).

D5. **Augmentarea corpului uman** specifică gradul de folosire a dispozitivelor portabile care mediază senzații, de exemplu prin intermediul dispozitivelor de tip HMD (Langlotz *et al.*, 2018), sau mișcarea corpului, de exemplu prin electrostimulare musculară (Kasahara *et al.*, 2019).

D6. **Augmentarea mediului ambiant** specifică gradul de integrare a senzorilor și dispozitivelor de procesare, comunicații și vizualizare a informației în mediul fizic pentru medierea abilităților sensorimotorii. Exemple includ proiecții video în spațiul fizic (Vermeulen *et al.*, 2009), feedback auditiv (Baudisch *et al.*, 2013) sau dispozitive și obiecte fizice care își pot modifica forma (Vink *et al.*, 2015) ca urmare a unui efect ale cărui origini se regăsesc într-un spațiu virtual.

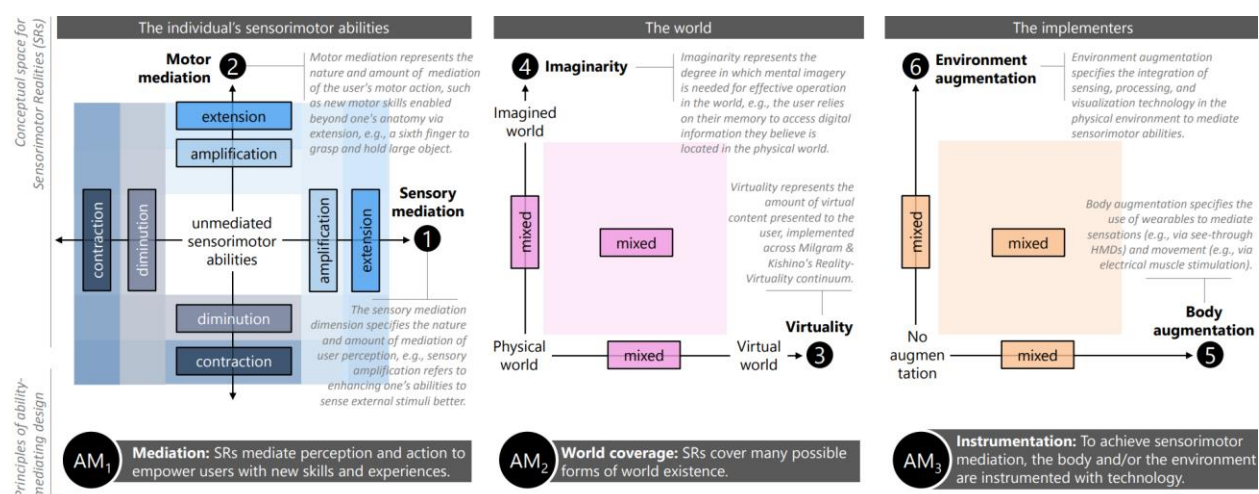


Figura 2. Spațiul conceptual al Realităților Sensorimotorii cu șase dimensiuni: medierea senzorială, medierea motorie, virtualitatea, imaginarietatea, augmentarea corpului uman și augmentarea mediului ambiant. În partea de jos a figurii sunt prezentate cele trei principii ale augmentării abilităților sensorimotorii: medierea, diversitatea lumilor și instrumentarea.

Figura 2 ilustrează dimensiunile SRs grupate câte două pentru a forma domenii, conform teoriei spațiilor conceptuale (Bechberger și Kühnberger, 2017). Originea spațiului indică lipsa medierii sau lumea fizică fără mediere. Dimensiunea D3 este spectrul continuu descris de Milgram și Kishino (1994), iar domeniul D3×D1 reprezintă Realitatea Mediată (XYR) definită de Mann (1999) ca bază pentru realitatea multimediată (Mann et al., 2018). Domeniul D1×D2 reprezintă punctul de start pentru specificarea unei taxonomii privind modurile în care abilitățile senzoriale și motorii pot fi mediate independent prin *amplificare*, *extensie*, *diminuare* și *contractie*, rezultând un număr total de 16 posibilități în cuplarea sensorimotorie. De exemplu, abilitatea vizuală poate fi *diminuată* în cadrul unui mediu VR, dar în același timp acest lucru poate fi compensat printr-o *amplificare* a abilității motorii a utilizatorului de a apuca obiecte virtuale, oferită cu o mânășă tip exoschelet, sau printr-o *extensie* a abilității de a manipula cu precizie obiectele de dimensiuni mici (*finger dexterity*, conform Fleishman, 1967) din cadrul mediului virtual. De asemenea, percepția poate fi *amplificată* auditiv în realitatea augmentată (Baudisch et al., 2013) sau haptic pentru un dispozitiv purtabil (Vatavu et al., 2016), în timp ce abilitățile motorii pot fi *extinse* prin membre artificiale (Prattichizzo et al., 2014) pentru a accesa noi posibilități de manipulare a obiectelor. Întrucât SRs sunt centrate pe medierea abilităților, am propus și formalizat noțiunea de proiectare a sistemelor interactive pentru medierea abilităților, cu trei principii:

- AM1. **Principiul medierii** constă în aplicarea SRs pentru a media percepția și acțiunea în vederea accesului la noi tipuri de abilități și experiențe, în conformitate cu dimensiunile D₁ și D₂. Principiul medierii conectează SRs cu realitatea mediată, cu observația că SRs includ și alte tipuri de realități.
- AM2. **Principiul diversității lumilor** constă în aplicarea conceptului SRs pentru a explora diverse lumi (fizică, virtuală, augmentată, mixtă, mediată, multimediată, imaginată) în proiectarea sistemelor interactive, în conformitate cu dimensiunile D₃ și D₄ ale spațiului SRs.
- AM3. **Principiul instrumentării** specifică augmentarea cu tehnologie a corpului uman și/sau a mediului ambiental, în conformitate cu dimensiunile D₅ și D₆. Dispozitivele portabile, în contact cu corpul, implementează o mediere a abilităților din interior (e.g., un exoskelet care asistă utilizatorul în manipularea mai precisă a unui obiect) iar mediul ambiental oferă posibilitatea medierii din exterior (e.g., un sistem inteligent de iluminat poate oferi o percepție vizuală îmbunătățită).

Principiile AM1-AM3 specifică cadrul conceptual al proiectării pentru medierea abilităților (*en.*: ability-mediating design) ca o abordare distinctă și complementară proiectării bazate pe abilități (Wobbrock et al., 2011; 2018), în cadrul căreia sistemele interactive se adaptează pentru o potrivire cât mai bună cu abilitățile individuale ale utilizatorului. Aceste rezultate au fost publicate în lucrarea (Vatavu, 2022a) la conferința ISMAR 2022 (rang A*), evenimentul științific de top al realității augmentate și mixte.

Am continuat fundamentarea SRs prin examinarea similarităților existente la nivel conceptual, filosofic și de viziune a domeniilor realității augmentate (AR) și inteligenței ambientale (Aml), pentru care am propus și adus argumente pentru trei postulate (a se vedea figura 3):

- **Postulatul nr. 1.** Conceptul de mediu reprezintă fundamentul necesar pentru ca orice augmentare să poată avea loc și, în consecință, este esențial existenței sistemelor AR și Aml.
- **Postulatul nr. 2.** Integrarea reprezintă procesul necesar pentru existența sistemelor AR și Aml iar, în cadrul acestui proces, mediul fizic este augmentat cu elemente care nu îi sunt native.

- **Postulatul nr. 3.** Procesul de integrare care conduce la augmentarea mediului fizic determină, atât pentru sistemele AR cât și Aml, apariția unei forme specifice de media care reflectă caracteristicile mediului în care conținutul media este creat, transmis și consumat.

Ambient Intelligence

Frequent descriptors:*

adaptive, anticipatory, conscious, context aware, distributed, embedded, emphatic, integrated, intelligent, personalized, responsive, sensitive, socialized, transparent, ubiquitous, unobtrusive



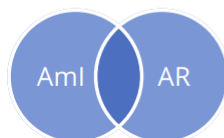
Augmented Reality

Frequent descriptors:**

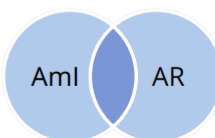
aligning and combining real and virtual objects, extent of presence metaphor, extent of world knowledge, immersion, interactive in real time, interface and gateway between the real and digital world, 3D registered, reproduction fidelity, specific form of media

*Epstein (1998); Ducatel *et al.* (2001); Aarts & Encarnação (2006); Aarts & de Ruter (2009); Cook *et al.* (2009); Augusto *et al.* (2013); Acampora *et al.* (2013)

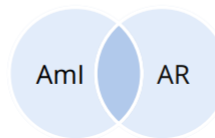
**Wellner *et al.* (1993); Milgram & Kishino (1994); Azuma (1997); Azuma *et al.* (2001); Azuma (2006); Azuma (2009); Billinghurst *et al.* (2015)



concept of an environment



process of an integration



media and medium are congruent

Figura 3. Privire de ansamblu asupra domeniilor inteligenței ambientale și realității augmentate prin prisma cuvintelor cheie folosite frecvent în literatura științifică pentru descrierea contribuțiilor acestora.

Aceste rezultate au fost publicate în cadrul conferinței **ACM CHI 2022 (rang A*)**, evenimentul științific de top al domeniului interacțiunii om-calculator ([Vatavu, 2022c](#)). De asemenea, pentru a poziționa SRs într-un context filosofic corespunzător, am explorat paradigma mișcării transumaniste pentru a realiza o paralelă între realitatea mixtă (aflată între realitatea fizică și cea virtuală) și transumanism (situat între umanism și postumanism). În acest sens, am identificat patru niveluri de aplicare SRs (figura 4): (1) la nivelul instrumentării, augmentarea umană poate fi implementată progresiv plecând de la dispozitive purtabile obișnuite, cum ar fi ceasurile inteligente, până la dispozitive invazive, cum ar fi căștile de realitate mixtă sau virtuală; (2) la nivelul integrării, SRs pot necesita sau nu prezența utilizatorului în cadrul unui anumit spațiu; (3) la nivelul controlului, acesta poate fi centralizat la utilizator sau distribuit, atât în ceea ce privește dispozitivele de control cât și alți utilizatori; (4) la nivelul senzațiilor, diverse modalități de feedback pot fi folosite pentru augmentarea percepției umane. Rezultate au fost publicate în cadrul conferinței **AH 2022** dedicată augmentării umane ([Popoveniuc și Vatavu, 2022](#)).

Pentru a putea studia interacțiunile în cadrul SRs, am extins o metodă populară în domeniul interacțiunii om-calculator pentru analiza preferințelor utilizatorilor privind comenzi în interacțiunea cu sistemele informatice ([Wobbrock *et al.*, 2009](#); [Vatavu și Wobbrock, 2015](#)), des aplicată pentru interfețe gestuale. În acest sens, am propus un model din șase etape (figura 5), care formalizează metoda pentru diverse aplicații posibile, inclusiv sisteme centrate pe abilitățile utilizatorilor și medierea acestora. Aceste rezultate au fost publicate în cadrul revistei **ACM Transactions on Computer-Human Interaction (IF=3.7, 5-Year IF=4.6)**, cea mai importantă revistă a domeniului interacțiunii om-calculator ([Vatavu și Wobbrock, 2022](#)) în timp ce aspecte privind reproducerea rezultatelor în lucrarea ([Gheran *et al.*, 2022](#)).

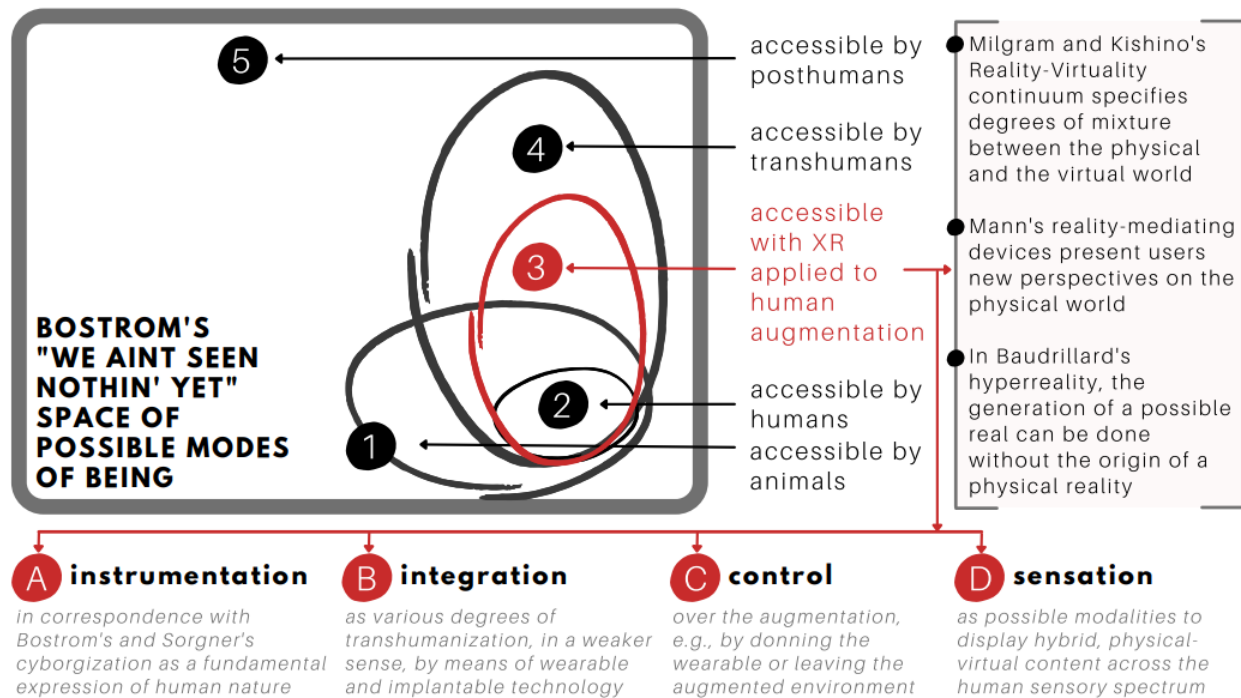


Figura 4. Adaptare a reprezentării diverselor moduri posibile de a exista (Bostrom, 2005) cu evidențierea augmentării umane folosind tehnologiile realității extinse și nivelurile de aplicare ale SRs; detalii în lucrarea (Popoveniuc și Vatavu, 2022).

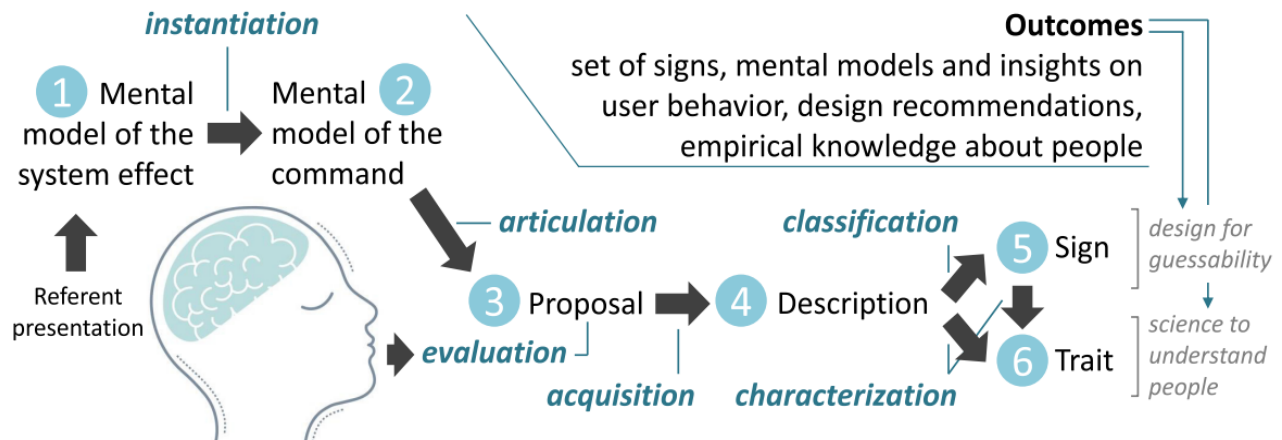


Figura 5. Un model pentru studii generice de solicitare a preferințelor utilizatorilor cu aplicare în proiectarea interfețelor sistemelor interactive, inclusiv sisteme centrate pe medierea abilităților: (1) stimulii prezentați utilizatorului conduc la reprezentări ale comenzii (2), care este realizată într-o formă specifică (3), achiziționată de un dispozitiv (4), grupată și clasificată (5), respectiv folosită pentru a caracteriza interacțiunea (6); detalii în lucrările (Vatavu și Wobbrock, 2022) și (Gheran et al., 2022).

2.2. Dispozitive portabile și medii inteligente pentru implementarea Realităților Sensorimotorii

Am explorat în cadrul proiectului diverse oportunități pentru proiectarea de dispozitive portabile și medii inteligente informate de spațiul conceptual și caracteristicile SRs, după cum urmează: (1) aplicație ARTV pentru casca de realitate mixtă HoloLens cu un studiu centrat pe mediarea abilităților unui utilizator cu o condiție motorie foarte rară, focomelia (Vatavu, 2022a); (2) interfață gestuală pentru un dispozitiv portabil și controlul iluminatului ambiental inteligent (Andrei *et al.*, 2022); (3) Posi(a)bilities pentru augmentarea corpului uman cu o mână virtuală proiectată în spațiul fizic (Vatavu, 2022b); (4) dispozitivul Fingerhints pentru oferirea de feedback kinestezic și transmiterea de informații prin corpul utilizatorului (Catană și Vatavu, 2023), (5) gesturi cu dispozitive portabile de tip iFAD (Vatavu, 2023b).

2.2.1. HoloLens ARTV pentru dizabilități motorii. Figura 6 prezintă secvențe din derularea unui studiu cu o persoană cu o condiție motorie rară, focomelia, și o aplicație ARTV implementată pentru HoloLens³, ce afișează un ecran TV virtual și permite repoziționarea acestuia. Pentru repoziționare, am implementat modelul standard de interacțiune “gaze-and-commit”⁴ al HoloLens ce folosește gestul “air tap” pentru a fixa ecranul TV într-o nouă poziție. Aceast tip de interacțiune necesită abilități motorii staționare, stabilitate a corpului, dexteritate manuală și un control precis, conform (Fleishman, 1967; 1972; Gentile, 2000). Folosind dimensiunile D_4 , D_5 și D_6 ale spațiului conceptual SRs, am propus o telecomandă imaginară (fig. 6h, 6i), augmentarea degetului (fig. 6j, 6k) și mediului fizic (fig. 6l) pentru a contracara problemele de accesibilitate (fig. 6a-6f), într-o proiectare centrată pe abilități; detalii în (Vatavu, 2022a).



Figura 6. Studiu cu un participant cu dizabilități motorii efectuat pentru evaluarea proiectării bazate pe mediarea abilităților în cadrul SRs: (a-c) probleme de accesibilitate în folosirea telefonului, mouse-ului și telecomenzii TV; (d-f) încercări eșuate de a realiza gestul “air-tap”, implicit în HoloLens; (g) folosirea cu succes a HoloLens Clicker; (h) postură a mâinii demonstrând folosirea unei telecomenzi imaginare; (i) telecomandă TV imaginară folosită cu două mâini; (j) augmentarea degetului cu un accelerometru integrat într-o formă de inel tipărit 3D; (k) diverse modalități de feedback (aer, vibrații, termic) pentru a susține modelul telecomenzii imaginare; (l) plasarea precisă a unui marker Vicon pe un perete.

³ <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>

⁴ <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/design/gaze-and-commit>



2.2.2. Interacțiune gestuală cu un dispozitiv portabil pentru toate degetele. Am dezvoltat Tap4Light (Andrei *et al.*, 2022), o aplicație software pentru recunoașterea gesturilor de mișcare efectuate cu degetele în aer, respectiv atingeri pe o suprafață în scopul controlului unui sistem ambiental de iluminat inteligent. Pentru implementare am folosit dispozitivul portabil TapStrap2 și lămpi Philips Hue controlate de o aplicație Android prin Bluetooth, cu un set de gesturi proiectat pentru operații specifice (figura 7). Aplicația Tap4Light a fost diseminată în cadrul conferinței **AH 2022** dedicată augmentării umane.

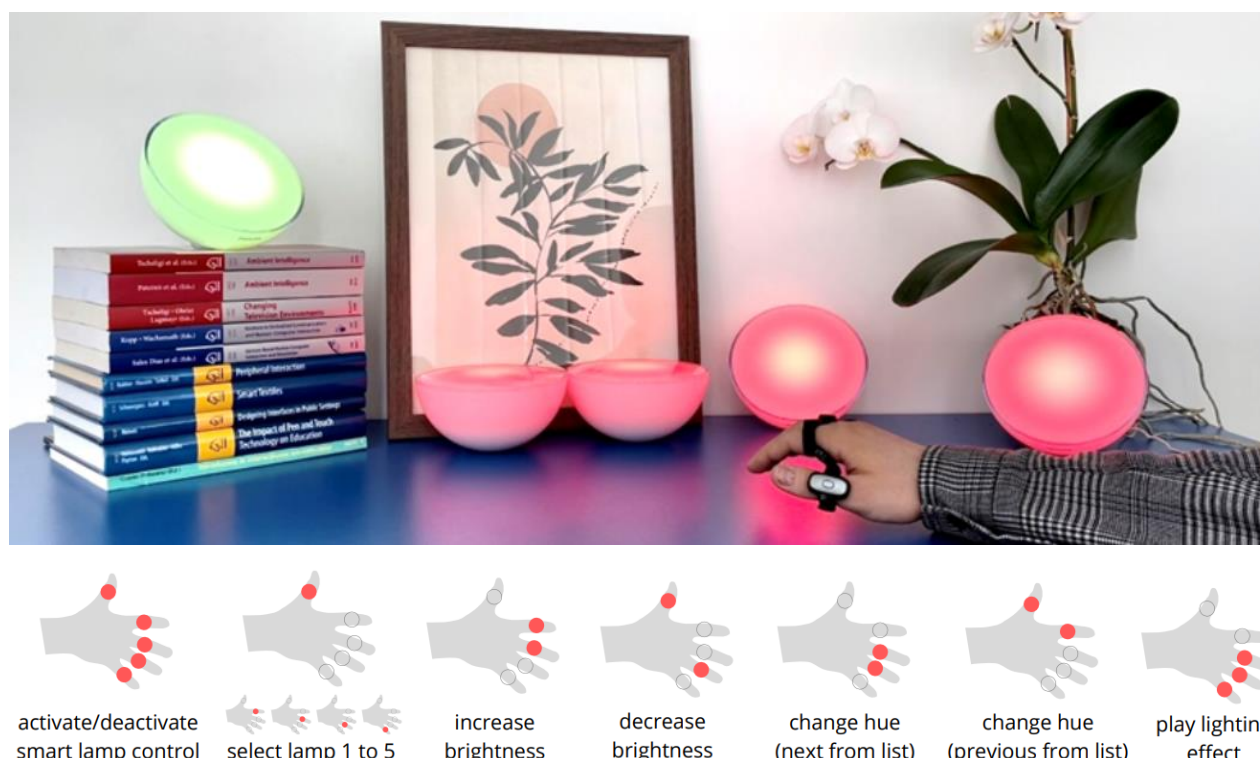


Figura 7. Tap4Light demonstrează folosirea conjugată a dispozitivelor portabile și ambientale în SRs.

2.2.3. Percepția unei mâini virtuale aliniată cu corpul fizic al utilizatorului. Possi(A)bilities (Vatavu, 2022b) reprezintă un prototip SRs care folosește proiecții video pentru a afișa o mână virtuală aliniată cu corpul fizic al utilizatorului (figura 8) și care redă înregistrări ale unor diverse acțiuni, cum ar fi mișcarea degetelor, rotația mâinii, manipularea obiectelor. Pe lângă realizarea tehnică conform principiilor SRs, Possi(A)bilities invită la reflecții privind autonomia controlului asupra propriului corp în cadrul sistemelor hibride care combină realitatea fizică cu cea virtuală, conform dimensiunii D_3 a spațiului conceptual SRs. Prototipul Possi(A)bilities a fost diseminat în cadrul conferinței **ISEA 2022** dedicată artei electronice.

2.2.4. Dispozitiv portabil pentru feedback kinestezic la nivelul degetelor. Fingerhints (Catană și Vatavu, 2023) reprezintă un dispozitiv portabil destinat augmentării mâinii și degetelor, care implementează feedback kinestezic prin mișcarea controlată a degetului arătător și menținerea acestuia într-o stare de hiperextensie, respectiv mișcări între diverse astfel de stări (figura 9). În urma unei evaluări ample cu 33 de participanți și diverse condiții experimentale (figura 10), rezultatele au indicat percepții pozitive ale

participanților privind utilizabilitatea, acceptabilitatea și confortul purtării și folosirii Fingerhints (figura 11). Fingerhints (Catană și Vatu, 2023) a fost diseminat în cadrul ACM CHI 2023, cea mai prestigioasă conferință a domeniului interacțiunii om-calculator (rang A*, cf. ARC CORE). De asemenea, am început recent examinarea aspectelor privind impactul, siguranța și vulnerabilitatea unor astfel de dispozitive (Vatu, 2023d), respectiv folosirea lor pentru restricționarea abilităților motorii (Catană et al., 2022).

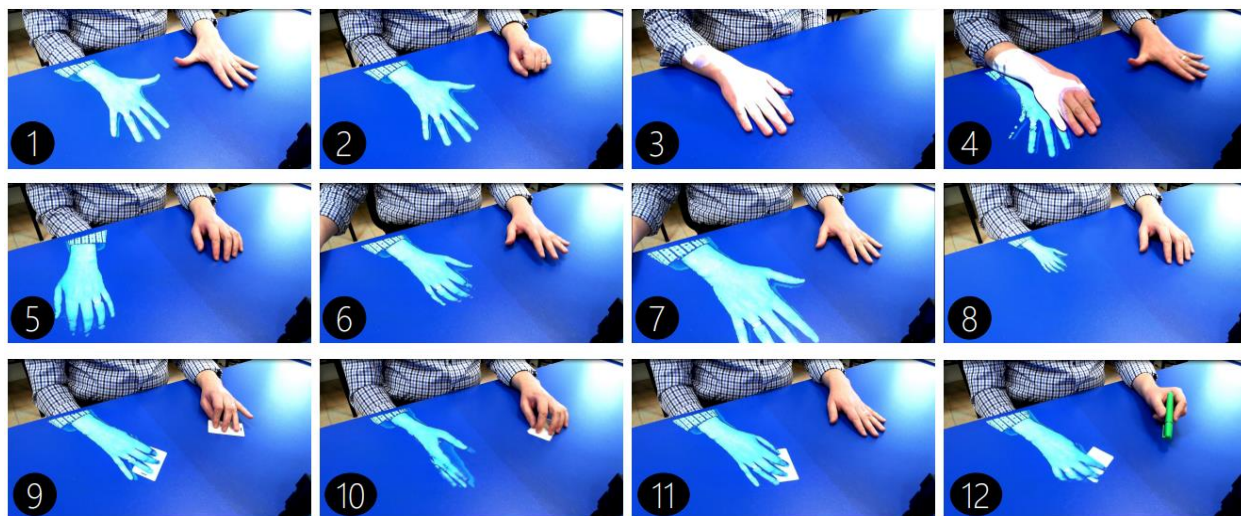


Figura 8. Prototipul Possi(A)bilities demonstrează augmentarea corpului uman cu o mână virtuală.

2.2.5. Interacțiune gestuală cu dispozitive portabile iFAD. iFADs (Vatu, 2023b) reprezintă o categorie specifică de dispozitive portabile (en.: index-Finger Augmentation Devices), respectiv o taxonomie de gesturi ce pot fi realizate cu ajutorul acestor dispozitive (figura 12) folosind exclusiv mișcarea degetului arătător. Rezultatele unui studiu amplu realizat cu un număr de 20 de participanți, de la care au fost achiziționate 6.369 de gesturi, au arătat că gesturile iFAD sunt rapide, ușor de executat, acceptabile social și pot fi recunoscute cu o acuratețe de până la 98.7% (figura 13). Rezultatele au fost diseminate în cadrul ACM CHI 2023, cea mai prestigioasă conferință a domeniului interacțiunii om-calculator (rang A*, conform ARC CORE), iar lucrarea a fost distinsă cu premiul **Honorable Mention Award**.



Figura 9. Prototipul Fingerhints implementează feedback kinestezic pe deget (a) introducând un limbaj descriptiv și un spațiu de proiectare corespunzător unor astfel de interacțiuni. Fingerhints valorifică forța mecanică a unui servomecanism pentru a oferi utilizatorului informații (e.g., notificări) exclusiv prin mișcarea degetului arătător, de exemplu, de la o extensie subtilă (b) la una alertă (c).



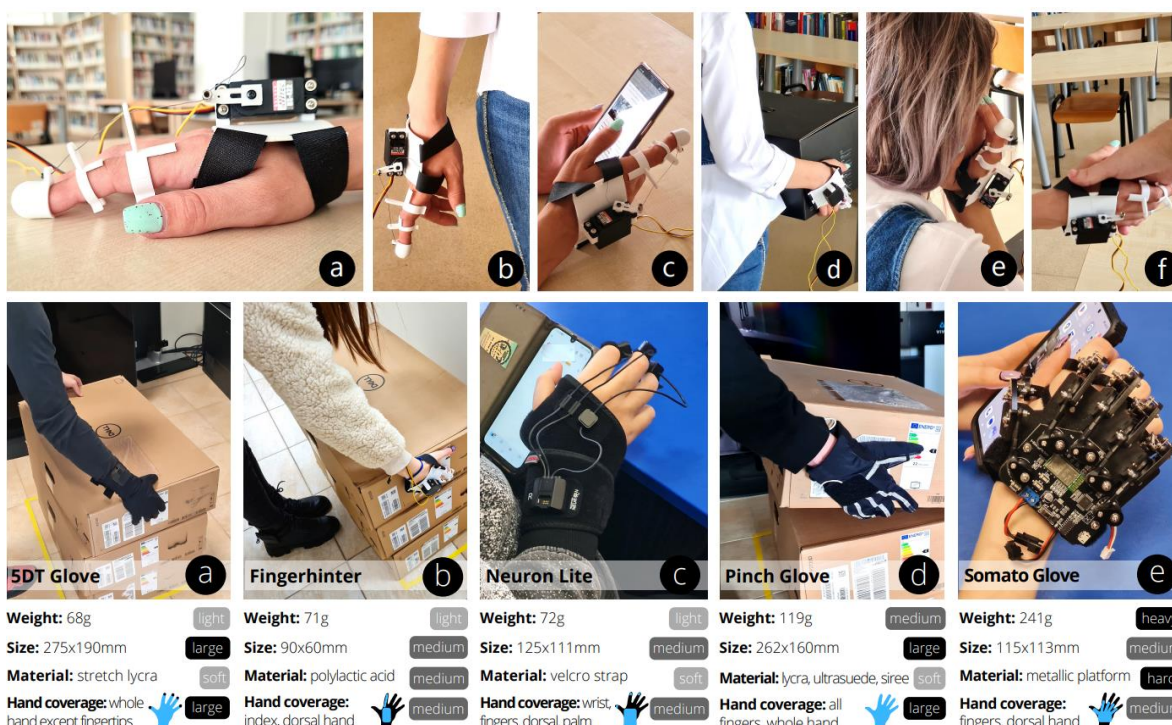


Figura 10. Imaginea de sus: condiții experimentale pentru evaluarea Fingerhints în diverse activități din viața de zi cu zi. Jos: dispozitive de augmentare a mâinii folosite pentru a evalua comparativ Fingerhints.

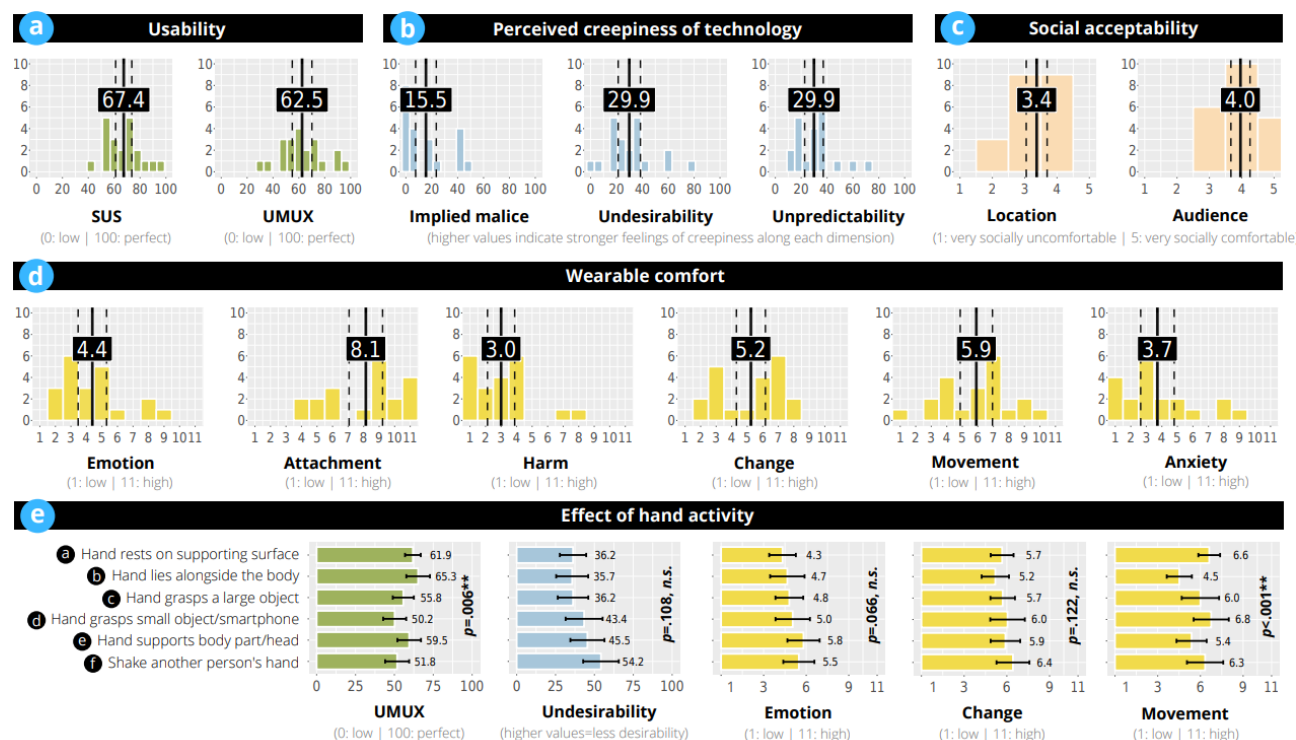


Figura 11. Rezultatele evaluării experienței folosirii Fingerhints; detalii în [Catană și Vatau \(2023\)](#).

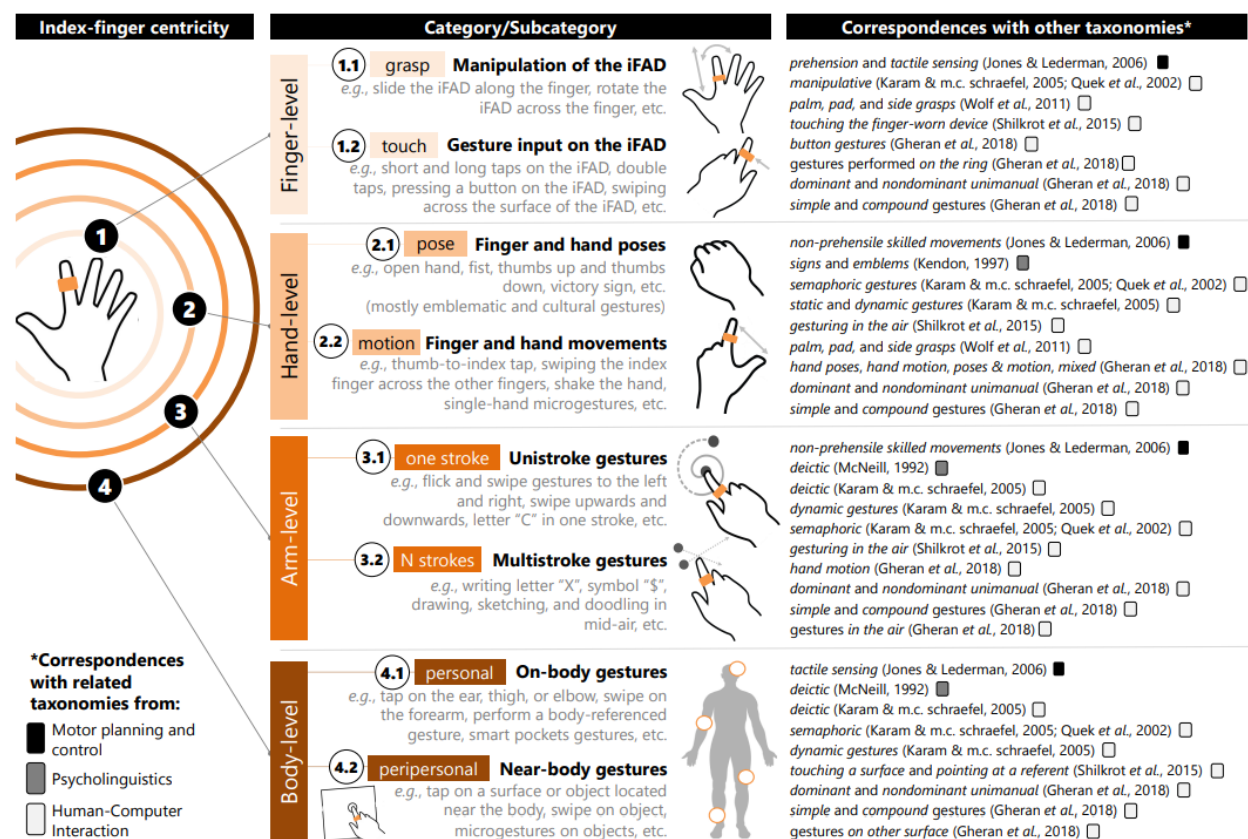


Figura 12. Taxonomia de gesturi iFAD, ilustrând o diversitate de categorii de gesturi care pot fi executate la nivelul degetului, mâinii, braţului, respectiv al întregului corp; detalii în [Vatavu \(2023b\)](#).

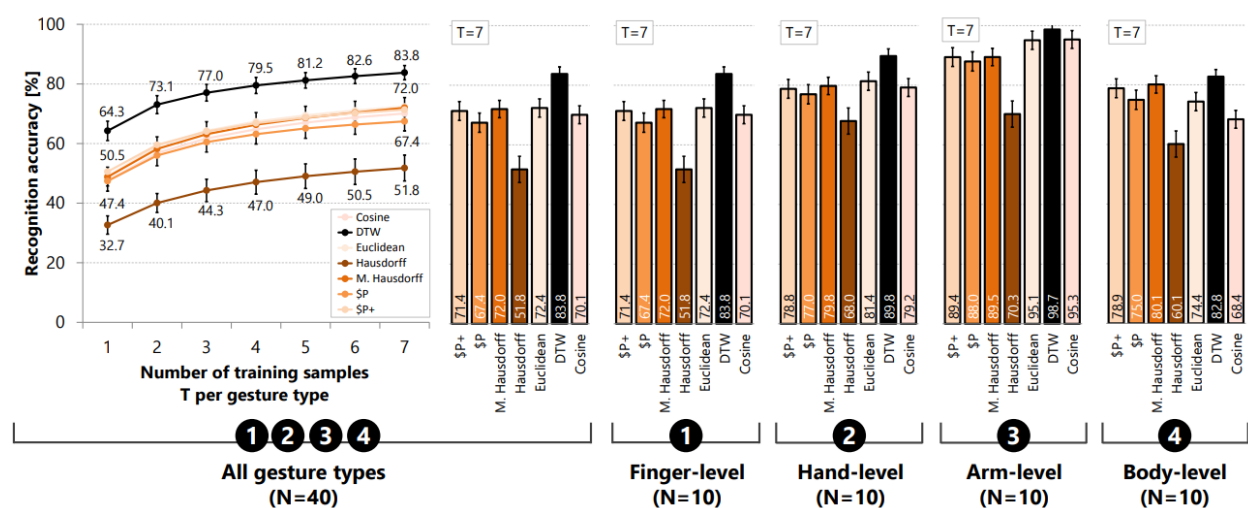


Figura 13. Acurateţea recunoaşterii gesturilor folosind un dispozitiv iFAD, în diverse condiţii experimentale specificate de algoritmul de recunoaştere (e.g., NN cu \$P\$, \$P+\$, DTW, etc.), dimensiunea mulţimii de antrenare (T=1-7) şi numărul de gesturi iFAD (N=10-40); detalii în [Vatavu \(2023b\)](#).

2.3. Metafore și tehnici de interacțiune pentru Realitățile Sensorimotorii

Am explorat în cadrul proiectului noi metafore și tehnici de interacțiune informate de spațiul SRs, după cum urmează: (1) aplicarea conceptului SRs pentru interacțiune directă vs. asistată în spații publice și utilizatori ai scaunelor cu roțile (Vatavu *et al.*, 2022), (2) experiența tranzițiilor între diverse niveluri de augmentare a realității fizice (Pamparău și Vatavu, 2022), (3) interacțiuni cu sisteme de divertisment la domiciliu de tip televiziunea augmentată (Ungurean și Vatavu, 2021; 2022; Popovici *et al.*, 2021), (4) SAPIENS-in-XR (Pamparau *et al.*, 2023), (5) interacțiuni realizate pe corp și pe scaunul cu roțile de tip on-body/on-wheelchair (Bilius *et al.*, 2023), respectiv (6) conceptul non-natural interaction (Vatavu, 2023c).

2.3.1. SRs pentru accesibilitatea interacțiunilor în spații publice. Figura 14 ilustrează aplicarea SRs în contextul ecranelor ambientale, pentru care am examinat accesibilitatea interacțiunii pentru utilizatorii cu dizabilități motorii și de mobilitate. În acest sens, am plecat de la probleme de accesibilitate (figura 15), rezultatele unei analize sistematice proprii asupra literaturii științifice și un studiu cu 11 participanți cu dizabilități motorii (28-59 ani, $M=42.9$ și $SD=9.4$ ani, scoruri WHODAS 2.0 între 16.7 și 70.8, $M=41.1$ și $SD=19.5$, cei mai mulți participanți cu leziuni traumatice ale coloanei vertebrale) pentru a înțelege percepții privind ecranele ambientale și colecta preferințe privind tehnici accesibile pentru interacțiunea cu acestea; figurile 16 și 17 prezintă câteva dintre rezultatele obținute, detalii în (Vatavu *et al.*, 2022).

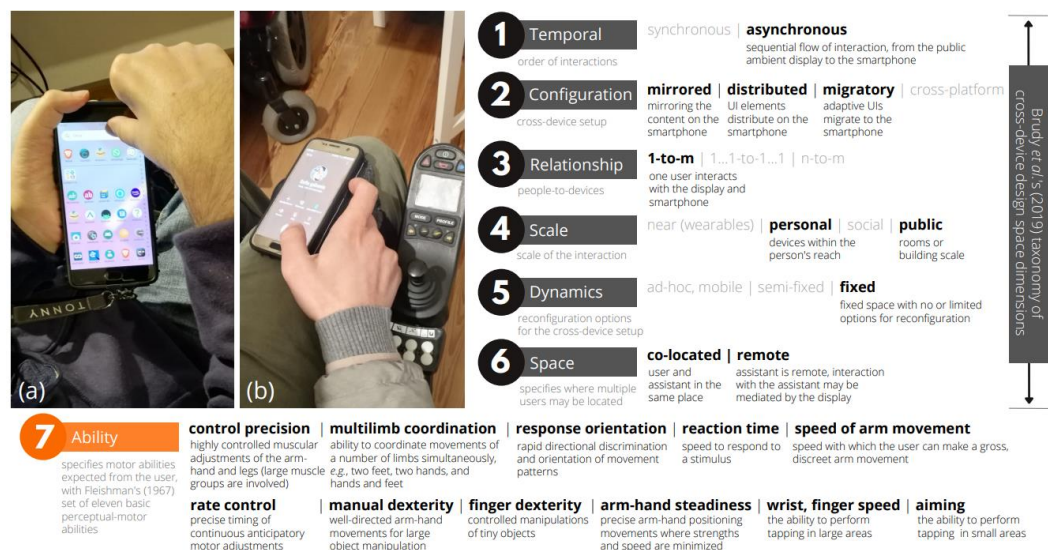
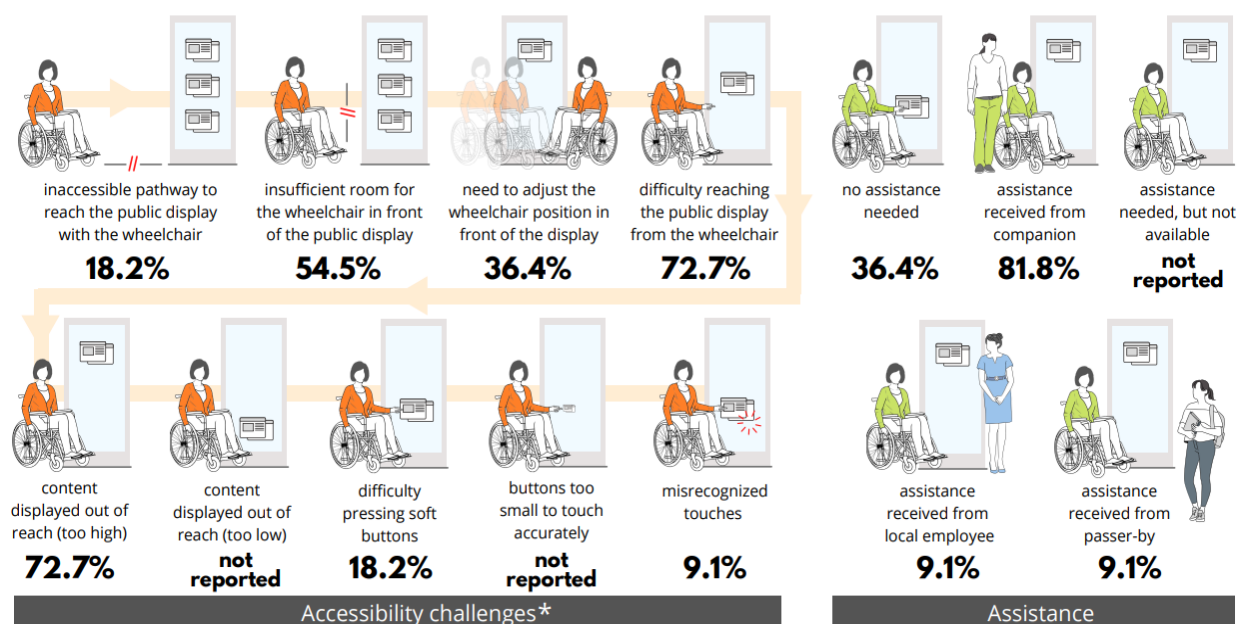


Figura 14. Extinderea taxonomiei interacțiunilor interdispozitiv (Brudy *et al.*, 2019) cu dimensiunea abilităților (nr. 7).



Figura 15. Probleme de accesibilitate a ecranelor publice pentru utilizatori ai scaunelor cu roțile: partea superioară a ecranului (a) nu poate fi atinsă confortabil și, chiar dacă unele ecrane au funcții de accesibilitate (b), acestea generează noi probleme (c), ceea ce conduce la solicitarea asistenței (d).



*Our illustrations depict wheelchair users since they were mentioned the most in the sources analyzed in our SLR (100%) and SVR (83.3%) studies.

Figura 16. Categorii de probleme de accesibilitate a ecranelor publice (stânga) și nevoi de asistență (dreapta) identificate cu 11 participanți cu dizabilități motorii; detalii în (Vatavu et al., 2022).

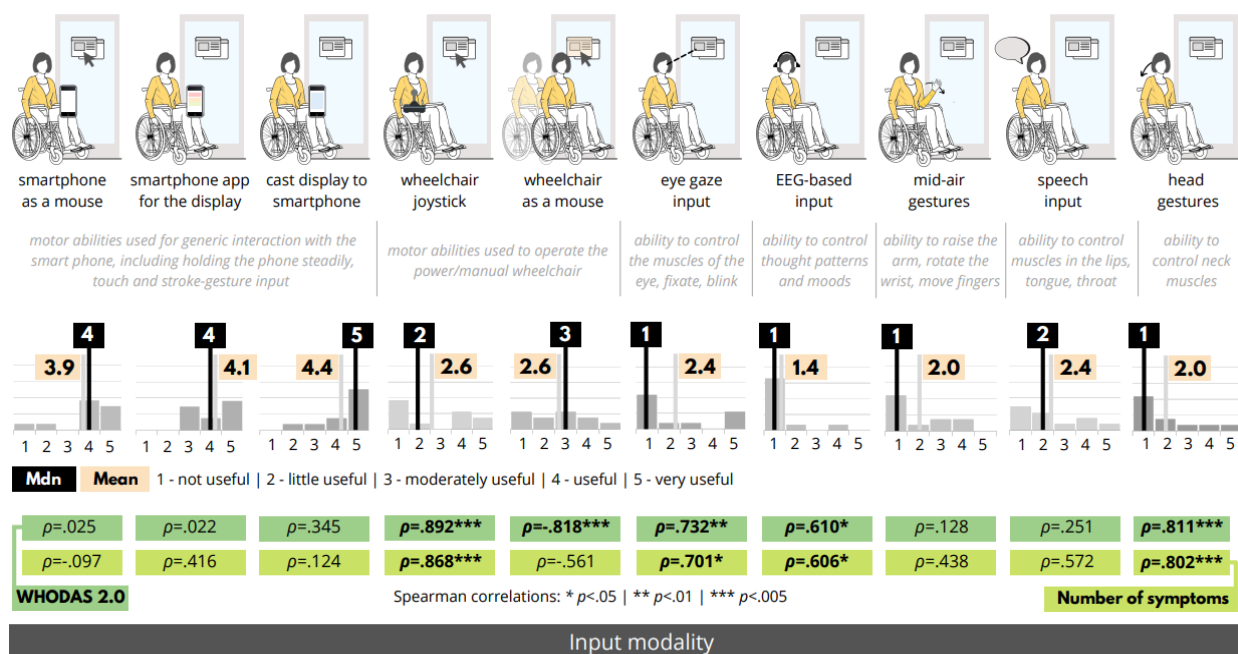


Figura 17. Preferințe pentru dispozitive și tehnici de interacțiune accesibile pentru ecrane publice identificate în cadrul studiului nostru efectuat cu 11 participanți cu dizabilități motorii și de mobilitate. **Notă:** partea de jos a figurii prezintă corelații între preferințele participanților și gradul de dizabilitate, evaluat cu WHODAS 2.0 și numărul de simptome raportate; detalii în (Vatavu et al., 2022).

2.3.2. SRs pentru tranziții între diverse niveluri de augmentare a realității. Dimensiunea D_3 a spațiului conceptual SRs specifică gradul de augmentare a realității fizice, implementat de aplicațiile SR și, în același timp, permite proiectarea de tranziții între diverse niveluri de augmentare. Pentru a înțelege percepția utilizatorilor asupra unor astfel de posibilități interactive, am efectuat un studiu cu 14 participanți (figura 18, sus) în cadrul căruia am măsurat aspecte ale utilizabilității, experienței, prezenței și imersiunii pentru patru tipuri de tranziții între lumi augmentate. Rezultatele (figura 18, jos) au fost publicate în cadrul **IMX 2022**, conferința ACM dedicată mediei interactive ([Pamparău și Vatavu, 2022](#)).



Figura 18. Rezultate privind experiența utilizator a tranzițiilor între diverse niveluri de augmentare a realității fizice, conform dimensiunii D_3 a spațiului conceptual SRs; detalii în ([Pamparău și Vatavu, 2022](#)).

2.3.3. SRs pentru interacțiuni accesibile cu sisteme de divertisment augmentate (ARTV). Pentru a înțelege abilitățile sensorimotorii în contexte aplicative specifice, am realizat trei studii ([Popovici et al., 2021](#); [Ungurean și Vatavu, 2021](#); [Ungurean și Vatavu, 2022](#)) implicând utilizatori cu și fără dizabilități motorii. În primul studiu ([Popovici et al., 2021](#)), am pus accent pe înțelegerea preferințelor și nevoilor exprimate de utilizatori potențiali ai mediei interactive în contextul televiziunii augmentate (ARTV), pentru care am examinat diferențe determinate de influențe culturale. Folosind chestionare online, am obținut răspunsuri de la un număr de 147 de participanți fără dizabilități din R.P. Chineză, pe care le-am

comparat cu stadiul actual al cunoașterii, reprezentat de analiza anterioară a preferințelor unui număr de 172 de persoane din țări europene (Popovici și Vatavu, 2019). Rezultatele au fost diseminate în cadrul IMX 2021, o conferință ACM dedicată mediei interactive, lucrarea primind distincția **Best Paper Award**. În cadrul unui al doilea studiu (Ungurean și Vatavu, 2021), am implicat un număr de 41 de persoane cu dizabilități motorii, majoritatea cauzate de leziuni traumatice la nivelul coloanei vertebrale, pentru a înțelege efectele diverselor abilități ale mâinii și degetelor în folosirea unui dispozitiv prevalent de intrare, telecomanda, folosit pentru controlul a nenumărate echipamente în contextul casnic, inclusiv televizorul. Caracteristicile demografice ale participanților, categoriile de dizabilități raportate, precum și rezultatele evaluării WHODAS 2.0 (WHO Disability Assessment Schedule)⁵ sunt prezentate în figura 19. Rezultatele au scos în evidență efectul diverselor abilități motorii asupra capacității de a folosi eficient dispozitive de tip telecomandă, pe care le-am interpretat din perspectiva distinctă a unei combinații de strategii de adaptare (en.: *coping*), ajustare a tehnologiei (en.: *hacking*), respectiv fabricare personalizată (en.: *do-it-yourself*, *DIY*). Rezultatele unui al treilea studiu (Ungurean și Vatavu, 2022), efectuat cu aceeași participanți cu dizabilități, au permis analiza preferințelor privind dispozitive și tehnici interactive pentru controlul TV în acord cu abilitățile motorii; câteva rezultate sunt prezentate în figura 20.

Participant	Health condition [‡]	Since	Self-reported impairments [†]											WHODAS
			Mo	Sp	St	Tr	Co	Fa	Gr	Ho	Se	Dir	Dis	2.0 score
P ₁ (54 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	1997		✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓	43.8
P ₂ (37 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C4,C5)	2002		✓	✓				✓	✓		✓		14.6
P ₃ (46 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5,C6)	1995							✓		✓			52.1
P ₄ (23 yrs., female)	Spinal Cord Injury (C6)	2008							✓					25.0
P ₅ (10 yrs., female)	Congenital Muscular Dystrophy	2008	✓		✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	66.7
P ₆ (41 yrs., male)	Traumatic Brain Injury	1996							✓	✓				29.2
P ₇ (28 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5,C6)	2017	✓		✓			✓	✓	✓		✓		16.7
P ₈ (35 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C4,C5)	2015	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	60.4
P ₉ (38 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C4,C5)	2003	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	41.7
P ₁₀ (34 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	2000	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	58.3
P ₁₁ (47 yrs., female)	Spinal Cord Injury (C5,C6)	2003						✓	✓	✓				70.8
P ₁₂ (34 yrs., female)	Ataxia (Friedreich's)	1996	✓		✓			✓						31.3
P ₁₃ (65 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6)	2011							✓					56.3
P ₁₄ (35 yrs., male)	Cerebral Palsy	1983		✓	✓									47.9
P ₁₅ (72 yrs., female)	Ataxia	2013					✓	✓						33.3
P ₁₆ (38 yrs., male)	Ataxia (Friedreich's)	2002	✓				✓	✓				✓	✓	54.2
P ₁₇ (54 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	2017		✓			✓	✓		✓				35.4
P ₁₈ (34 yrs., female)	Friedreich's ataxia	1996	✓						✓			✓	✓	47.9
P ₁₉ (54 yrs., male)	Traumatic Brain Injury	1996	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	70.8
P ₂₀ (43 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6)	2003		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		37.5
P ₂₁ (45 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6)	2013		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		35.4
P ₂₂ (15 yrs., female)	Spinal Cord Injury (C6)	2015	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	45.8
P ₂₃ (41 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6,C7)	1998		✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	43.8
P ₂₄ (55 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5,C6)	1998	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	60.4
P ₂₅ (49 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C3,C4)	2004	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	47.9
P ₂₆ (20 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C7)	2001										✓		35.4
P ₂₇ (24 yrs., female)	Spinal Cord Injury (C5,C6)	2016			✓		✓	✓	✓	✓		✓		43.8
P ₂₈ (63 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C2,C3)	1999			✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	66.7
P ₂₉ (24 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5)	2010	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	58.3
P ₃₀ (51 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C5,C6)	1992	✓		✓		✓		✓		✓	✓	✓	54.2
P ₃₁ (46 yrs., male)	Cerebral Palsy	1972	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	89.6
P ₃₂ (43 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6)	1999					✓		✓	✓	✓	✓	✓	43.8
P ₃₃ (42 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6,C7)	1996					✓		✓	✓	✓	✓	✓	37.5
P ₃₄ (55 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6,C7)	1998	✓		✓		✓		✓		✓	✓	✓	41.7
P ₃₅ (45 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C3,C4)	1997	✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓	62.5
P ₃₆ (57 yrs., male)	Cerebral Palsy	1961	✓	✓									✓	8.3
P ₃₇ (36 yrs., female)	SMA 3	1985	✓					✓	✓				✓	47.9
P ₃₈ (62 yrs., female)	Brain aneurysm	2015	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓		85.4
P ₃₉ (43 yrs., male)	Spinal Cord Injury (C6)	1998		✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓	43.8
P ₄₀ (50 yrs., female)	Cerebral anoxia	2017	✓							✓				83.3
P ₄₁ (42 yrs., female)	Cerebral Palsy	1976	✓	✓			✓							39.6
Summary			22	18	22	2	28	20	31	28	15	27	23	48.0

[†]Mo = Slow movements; Sp = Spasm; St = Low strength; Tr = Tremor; Co = Poor coordination; Fa = Rapid fatigue; Gr = Difficulty gripping; Ho = Difficulty holding; Se = Lack of sensation; Dir = Difficulty controlling direction; Dis = difficulty controlling distance.

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

Figura 19.
Detalii demografice privind participanții cu dizabilități motorii din studiile (Ungurean și Vatavu, 2021; 2022).

⁵ <https://www.who.int/standards/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health/who-disability-assessment-schedule>

Aceste rezultate indică potențialul utilizării formalismului SRs pentru a caracteriza și înțelege experiența cu tehnologia interactivă în diverse contexte de utilizare, la intersecția dintre abilitățile individuale și posibilitățile de mediere a acestora (domeniul D1×D2 din spațiul SRs), mediile hibride (domeniul D3×D4), respectiv dispozitivele pentru augmentarea corpului uman și a mediului ambiant (D5×D6).

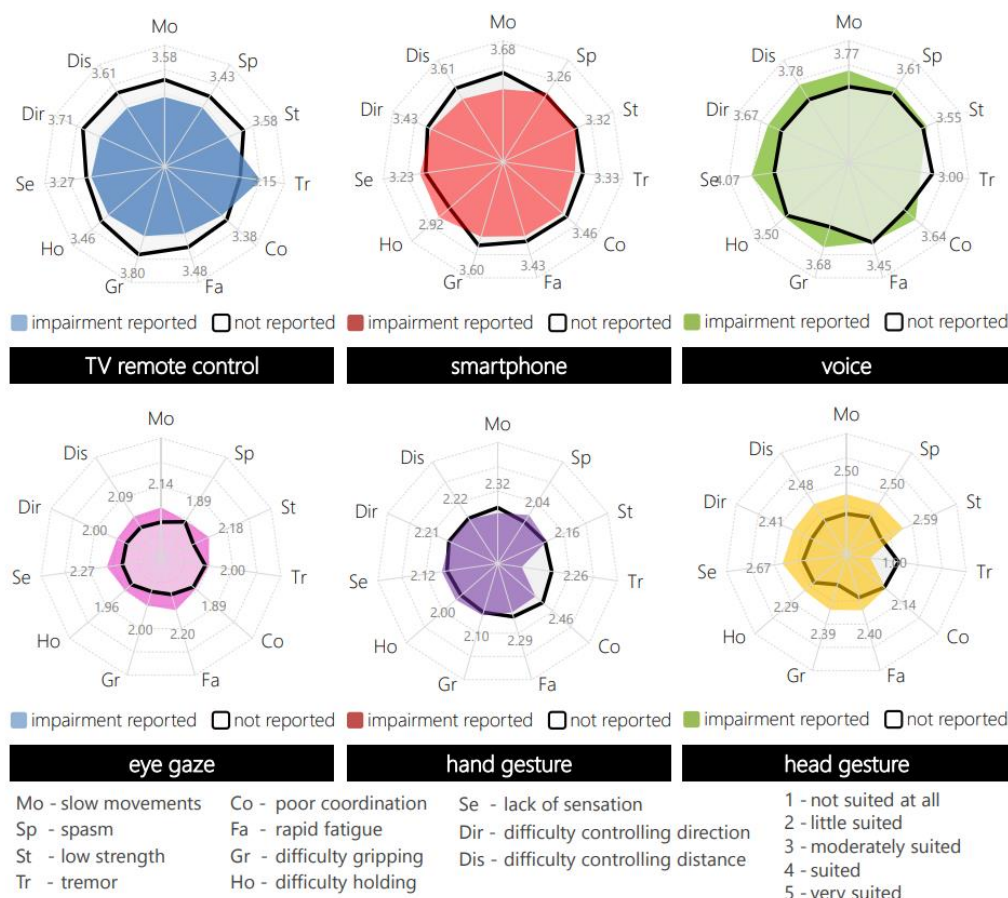


Figura 20. Preferințe pentru dispozitive și tehnici de interacțiune pentru controlul TV în funcție de prezența dizabilităților motorii specifice (eșantion cu N=41 de participanți); detalii în (Ungurean și Vatau, 2022).

2.3.4. SRs aplicat pentru interacțiuni periferice în medii inteligente. Pentru a adresa aspecte privind eterogenitatea dispozitivelor portabile și ambientale ce pot fi utilizate pentru augmentarea și medierea abilităților sensorimotorii, cu efect asupra atenției utilizatorului în timpul interacțiunii, respectiv aspecte de ordin tehnic privind implementarea sistemelor interactive care combină mai multe astfel de dispozitive, am propus arhitectura software SAPIENS-in-XR (Software Architecture for Peripheral Interactions in Smart Environments and Extended Reality). Pentru acest lucru, am formalizat conceptul “XR display” pentru a extinde ecranele media din lumea fizică către realități hibride și extinse, am implementat un simulator software (figura 21) pentru a evalua scenarii interactive implicând diverse tipuri de dispozitive portabile și ambientale, respectiv am realizat un studiu cu 15 participanți pentru a evalua impactul acestor contribuții tehnice privind folosirea atenției periferice în interacțiunea în spațiul fizic, respectiv în realitatea mixtă (aplicație HoloLens). Aceste rezultate (Pamparau et al., 2023) au fost publicate în revista de top a domeniului realității virtuale (Virtual Reality, Q1, IF=4.2, 5-Year IF=5.5).



Figura 21. Captură de ecran SAPIENS-in-XR pentru simularea interacțiunii în medii de realitate extinsă, unde diverse tipuri de dispozitive portabile și ambientale sunt folosite pentru medierea abilităților sensorimotorii și atenției utilizatorului. Mai multe detalii sunt disponibile în lucrarea (Pamparau *et al.*, 2023) iar SAPIENS-in-XR se află la adresa <http://www.eed.usv.ro/mintviz/resources/SAPIENS/in-XR.html>.

2.3.5. SRs aplicat pentru interacțiuni gestuale efectuate din spațiul scaunului cu roțile. Am continuat proiectarea de interacțiuni centrate pe abilități mediate de spațiul disponibil în jurul corpului și, în cazul utilizatorilor cu dizabilități motorii și de mobilitate, de spațiul din jurul scaunului cu roțile. În acest scop, am diferențiat gesturile efectuate în acest spațiu în gesturi în aer (*en.*: in-air), pe corp (*en.*: on-body), respectiv gesturi care folosesc drept suport scaunul cu roțile (*en.*: on-chair). Pentru a înțelege preferințele utilizatorilor pentru astfel de interacțiuni, am efectuat un studiu de solicitare folosind cea mai recentă variantă a metodei, introdusă în cadrul acestui proiect (Vatavu și Wobbrock, 2022), cu un grup de 11 participanți cu diverse tipuri de dizabilități motorii și simptome. Rezultatele au indicat o preferință mare pentru gesturi de tip on-body (47.6%) și in-air (40.7%) față de gesturi on-wheelchair (doar 11.7%), care au fost efectuate majoritar cu o singură mână (76.3%) sub formă de atingeri simple (34.2%) și posturi ale mâinii (22.5%); câteva exemple sunt furnizate în figura 22. O analiză a consensului dintre gesturile realizate de participanți a scos în evidență o valoare foarte scăzută (doar 5.5% consens), ceea ce a condus la nevoia proiectării de interacțiuni în funcție de abilitățile specifice fiecărui utilizator. Rezultatele au fost publicate în cadrul a două lucrări (Bilius *et al.*, 2023a; 2023b) la conferința ACM CHI 2023, cea mai prestigioasă conferință a domeniului interacțiunii om-calculator (**rang A***, conform **ARC CORE**), iar una dintre lucrări a fost distinsă cu premiul **Honorable Mention Award**.

2.3.6. Noi direcții pentru interacțiuni specifice SRs. Dispozitivele, tehnicile și metaforele de interacțiune explorate în cadrul proiectului în contextul cadrului conceptual al Realităților Sensorimotorii au condus la observații ce au permis conturarea și propunerea unei noi viziuni privind interacțiunea în medii hibride, cu caracteristici distincte față de paradigma predominantă a interacțiunilor naturale (Wigdor și

11 Physical conditions of participants:

- 1. Spina bifida
- 2. Cerebral palsy
- 3. Osteogenesis imperfecta
- 4. Traumatic brain injury
- 5. Parkinson's
- 6. Multiple sclerosis
- 7. Friedreich's ataxia
- 8. Spinal cord injury
- 9. Cerebral palsy
- 10. Osteogenesis imperfecta
- 11. Traumatic brain injury

Gesture Distribution (Sunburst Chart):

- on-body gestures: 47.6%
- in-air gestures: 40.7%
- on-wheelchair gestures: 11.7%

Gesture Distribution by Region (Diagram):

- CENTER (27.7%):**
 - Right hand (1.7%)
 - Right forearm (1.7%)
 - Right elbow (0.9%)
 - Right shoulder (2.2%)
 - Right joystick (1.3%)
 - Right armrest (2.2%)
 - Right knee (1.3%)
 - Right wheel (0.8%)
 - Right thigh (3.9%)
 - Right leg (1.3%)
- PERIPHERY (7.8%):**
 - Upper right (0.4%)
 - Right (0.9%)
 - Lower right (1.7%)
- EXTREME PERIPHERY (3.0%):**
 - Upper left (0.4%)
 - Left (0%)
 - Lower left (0.9%)

Gesture Distribution by Body Part (Diagram):

- Head (1.7%)
- Eyes (1.7%)
- Right ear (2.2%)
- Chin (1.3%)
- Right shoulder (2.2%)
- Right elbow (0.9%)
- Right forearm (1.7%)
- Right hand (1.7%)
- Right armrest (2.2%)
- Right joystick (1.3%)
- Right thigh (3.9%)
- Right wheel (0.8%)
- Right knee (1.3%)
- Right leg (1.3%)

Gesture Distribution by Wheelchair Component (Diagram):

- Backrest (1.3%)
- On the right (1.3%)
- On the left (2.2%)
- Left shoulder (2.2%)
- Left elbow (0.9%)
- Left forearm (1.3%)
- Left hand (1.3%)
- Left armrest (3.9%)
- Left joystick (2.2%)
- Left thigh (3.5%)
- Left knee (0.4%)

Legend:

- on-body gestures
- in-air gestures
- on-wheelchair gestures

Figura 22. *Imaginea de sus, stânga:* exemple de gesturi efectuate de utilizatori cu dizabilități motorii pe corp (on-body), în aer (in-air) și pe scaunul cu roțile (on-wheelchair) pentru controlul unor dispozitive de la distanță, respectiv accesarea de conținut digital. *Sus, dreapta:* legătura dintre preferințele comenzilor gestuale și abilitățile motorii ale utilizatorilor, e.g., doar 5.6% dintre gesturile de tip on-body au fost propuse de utilizatori care au raportat o forță slabă (St, low strength). *Imaginile de jos:* rezultate experimentale privind locațiile din spațiul corpului și al scaunului cu roțile unde participanții au propus gesturi; mai multe detalii se află în lucrările (Bilius *et al.*, 2023a; 2023b).

3. IMPACTUL REZULTATELOR OBTINUTE, CU SUBLINIAREA CELUI MAI SEMNIFICATIV REZULTAT

Cel mai semnificativ rezultat al proiectului este reprezentat de introducerea și formalizarea unui nou tip de realitate (SRs) cu caracteristici distincte, prin centrarea pe abilitățile sensorimotorii ale utilizatorului, în cadrul spectrului realităților extense (XR). Acest rezultat a fost validat prin prototipuri, tehnici și metafore de interacțiune și evaluări cu utilizatori cu și fără dizabilități motorii în cadrul a **25 de publicații științifice**, dintre care **8 (8/25=32%) au fost publicate la manifestări științifice prestigioase (rang A*, cf. ARC CORE)** din domeniul acestui proiect, iar **5 lucrări (5/25=20%) au fost distinse cu premii (ACM):**

- [1] Radu-Daniel Vatavu. (2023). From Natural to Non-Natural Interaction: Embracing Interaction Design Beyond the Accepted Convention of Natural. *Proc. ICMI '23, the 25th ACM Int. Conf. on Multimodal Interaction*. ACM, New York, NY, USA, 684-688. <https://doi.org/10.1145/3577190.3616122>



1st place Blue Sky Award* | ARC CORE B | AR: 18.8% (3/16)

***Premiul Blue Sky se acordă pentru lucrări de viziune, care introduc noi direcții de cercetare**

- [2] Alexandre Nevsky, Timothy Neate, Radu-Daniel Vatavu, Elena Simperl. (2023). Accessibility Research in Digital Audiovisual Media: What Has Been Achieved and What Should Be Done Next?. *Proc. of IMX'23, the ACM International Conference on Interactive Media Experiences*. ACM, New York, NY, USA, 94-114. <https://doi.org/10.1145/3573381.3596159>



Honorable Mention Award | AR: 38.9% (14/36)

- [3] Radu-Daniel Vatavu. (2023). Leveraging Sensorimotor Realities for Assistive Technology Design Bridging Smart Environments and Virtual Worlds. *Proc. of PETRA '23, the 16th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. ACM, New York, NY, USA, 247-253. <https://doi.org/10.1145/3594806.3594834> | **AR: 51.6% (79/153)**
- [4] Milad Jamalzadeh, Yosra Rekik, Laurent Grisoni, Radu-Daniel Vatavu, Gualtiero Volpe, Alexandru Dancu. (2023). Effects of Moving Speed and Phone Location on Eyes-Free Gesture Input with Mobile Devices. *Proc. INTERACT '23, the 19th IFIP Int. Conf. on Human-Computer Interaction*. Springer, 469-478. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42280-5_30 | **ARC CORE B | AR: 18.8.1% (3/16)**
- [5] Cristian Pamparău, Ovidiu-Andrei Schipor, Alexandru Dancu, Radu-Daniel Vatavu. (2023). SAPIENS in XR: Operationalizing Interaction-Attention in Extended Reality. *Virtual Reality* (27). Springer, 1765–1781. <https://dx.doi.org/10.1007/s10055-023-00776-1>
Q1 | IF: 4.2, 5-YEAR IF: 5.5 | WOS: 000937114600002
- [6] Adrian-Vasile Catană, Radu-Daniel Vatavu. (2023). Fingerhints: Understanding Users' Perceptions of and Preferences for On-Finger Kinesthetic Notifications. *Proc. CHI '23, the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA, Article No. 518, 17 pagini.
<https://doi.org/10.1145/3544548.3581022>
A* (ARC CORE) | WOS: 001037809506001 | AR: 27.6% (879/3182)
- [7] Laura-Bianca Bilius, Ovidiu-Ciprian Ungurean, Radu-Daniel Vatavu. (2023). An Expressivity-Complexity Tradeoff?: User-Defined Gestures from the Wheelchair Space are Mostly Deictic. *CHI EA*



'23, *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA, Article No. 35, 8 pagini. <https://doi.org/10.1145/3544549.3585695>

A* (ARC CORE) | AR: 33.8% (327/967)

- [8] Laura-Bianca Bilius, Ovidiu-Ciprian Ungurean, Radu-Daniel Vatavu. (2023). Understanding Wheelchair Users' Preferences for On-Body, In-Air, and On-Wheelchair Gestures. *Proceedings of CHI '23, the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA, Article No. 78, 16 pagini. <https://doi.org/10.1145/3544548.3580929>



Honorable Mention Award | A* (ARC CORE) | WOS: 001037809504027 | AR: 27.6% (879/3182)

- [9] Radu-Daniel Vatavu. (2023). iFAD Gestures: Understanding Users' Gesture Input Performance with Index-Finger Augmentation Devices. *Proceedings of CHI '23, the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA, Article No. 576, 17 pagini. <https://doi.org/10.1145/3544548.3580928>



Honorable Mention Award | A* (ARC CORE) | WOS: 001037809504026 | AR: 27.6% (879/3182)

- [10] Radu-Daniel Vatavu. (2023). Vulnerabilities of Mediated Embodiment: Towards Unmasking Security and Privacy Risks of Ability-Mediating Wearables. *Proc. of WAMWB '23, the Workshop on Advances of Mobile and Wearable Biometrics* (the 25th ACM Int. Conference on Mobile Human-Computer Interaction). CEUR-WS vol. 3517, Article no. 6, 65-59. <https://ceur-ws.org/Vol-3517/paper6.pdf>

- [11] Radu-Daniel Vatavu. (2022). Sensorimotor Realities: Formalizing Ability-Mediating Design for Computer-Mediated Reality Environments. *Proc. ISMAR '22, the 21st IEEE Int. Symposium on Mixed and Augmented Reality*. IEEE, USA, 685-694. <https://dx.doi.org/10.1109/ISMAR55827.2022.00086>

A* (ARC CORE) | AR: 21.1% (93/441)

- [12] Radu-Daniel Vatavu, Ovidiu-Ciprian Ungurean, Laura-Bianca Bilius. (2022). Interactive Public Displays and Wheelchair Users: Between Direct, Personal and Indirect, Assisted Interaction. *Proc. of UIST '22, the 35th ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. ACM, New York, NY, USA, 45, 1-17. <https://doi.org/10.1145/3526113.3545662>

A* (ARC CORE) | AR: 26.3% (98/372)

- [13] Ovidiu-Ciprian Ungurean, Radu-Daniel Vatavu. (2022). Ability-Centered Examination of People with Motor Impairments' Interaction with Television Towards More Accessible Smart Home Entertainment Environments. *Proc. of ISAmI '22, the 13th Int. Symposium on Ambient Intelligence*. LNNS 603. Springer, 32-43. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22356-3_4 | **WOS: 000927582100004**

- [14] Cristian Pamparău, Radu-Daniel Vatavu. (2022). The User Experience of Journeys in the Realm of Augmented Reality Television. *Proc. of IMX '22, the ACM Int. Conf. on Interactive Media Experiences*. ACM, New York, NY, USA, 161-174. <https://doi.org/10.1145/3505284.3529969> | **AR: 40.4% (19/47)**

- [15] Radu-Daniel Vatavu. (2022). Possi(A)bilities: Augmented Reality Experiences of Possible Motor Abilities Enabled by a Video-Projected Virtual Hand. *Proc. ISEA '22, the 27th Int. Symposium on Electronic Art*, 825-828. <https://doi.org/10.7238/ISEA2022.Proceedings> | **AR: 28.0% (308/1100)**

- [16]Radu-Daniel Vatavu, Jacob O. Wobbrock. (2022). Clarifying Agreement Calculations and Analysis for End-User Elicitation Studies. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 29(1), Article No. 5, 1-70. <https://doi.org/10.1145/3476101>

Q2 | IF: 3.7, 5-YEAR IF: 4.6 | WOS: 000921867700005

- [17]Bogdan-Florin Gheran, Santiago Villarreal-Narvaez, Radu-Daniel Vatavu, Jean Vanderdonckt. (2022). RepliGES and GESTory: Visual Tools for Systematizing and Consolidating Knowledge on User-Defined Gestures. *Proc. AVI '22, the Int. Conf. on Advanced Visual Interfaces*. ACM, New York, NY, USA, 5:1-5:9. <https://doi.org/10.1145/3531073.3531112>

ARC CORE B | WOS: 001051742000014 | AR: 24.2% (15/62)

- [18]Bogdan Popoveniuc, Radu-Daniel Vatavu. (2022). Transhumanism as a Philosophical and Cultural Framework for Extended Reality Applied to Human Augmentation. *Proc. of AH '22, the 13th Augmented Human International Conference*. ACM, New York, NY, USA, 6:1-6:8.

<https://doi.org/10.1145/3532525.3532528> | **WOS: 000944005200003**

- [19]Alexandru-Tudor Andrei, Alexandru-Ionut Șiean, Radu-Daniel Vatavu. (2022). Tap4Light: Smart Lighting Interactions by Tapping with a Five-Finger Augmentation Device. *Proc. of AH '22, the 13th Augmented Human International Conference*. ACM, New York, NY, USA, 4:1-4:2.

<https://doi.org/10.1145/3532525.3532535> | **WOS: 000944005200008**

- [20]Radu-Daniel Vatavu. (2022). Are Ambient Intelligence and Augmented Reality Two Sides of the Same Coin? Implications for Human-Computer Interaction. *Proceedings of CHI '22 EA, the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts*. ACM, New York, NY, USA, Article no. 362, 1-8. <https://doi.org/10.1145/3491101.3519710>

A* (ARC CORE) | AR: 35.7% (258/722)

- [21]Irina Popovici, Radu-Daniel Vatavu, Pu Feng, Wenjun Wu. (2021). AR-TV and AR-Diànshì: Cultural Differences in Users' Preferences for Augmented Reality Television. *Proc. IMX '21, the ACM Int. Conf. on Interactive Media Experiences*. ACM, NY, USA, 50-60. <https://doi.org/10.1145/3452918.3458801>



Best Paper Award | AR: 42.5% (17/40)

- [22]Ovidiu-Ciprian Ungurean, Radu-Daniel Vatavu. (2021). Coping, Hacking, and DIY: Reframing the Accessibility of Interactions with Television for People with Motor Impairments. *Proceedings of IMX '21, the ACM International Conference on Interactive Media Experiences*. ACM, New York, NY, USA, 37-49. <https://doi.org/10.1145/3452918.3458802> | **AR: 42.5% (17/40)**

- [23]Radu-Daniel Vatavu. (2021). Accessibility of Interactive Television and Media Experiences: Users with Disabilities Have Been Little Voiced at IMX and TVX. *Proc. of IMX '21, the ACM Int. Conf. on Interactive Media Experiences*. ACM, NY, USA, 218-222. <https://doi.org/10.1145/3452918.3465485>

- [24]Radu-Daniel Vatavu, Ovidiu-Andrei Schipor. (2021). Formalizing Digital Proprioception for Devices, Environments, and Users. *Proceedings of ISAmI '21, the 12th International Symposium on Ambient Intelligence*. LNNS 483. Springer, 1-10. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06894-2_1

- [25]Alexandru-Ionuț Șiean, Laura-Bianca Bilius, Radu-Daniel Vatavu. (2021). Assistive Technology in the Synchrony between Ambient Intelligence and Mixed Reality for People with Motor Disabilities. *Proc.*



of ISAmI '21, the 12th International Symposium on Ambient Intelligence. LNNS 483. Springer, 23-33.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-06894-2_3

Rezultatele au fost diseminate și sub forma de participări în cadrul unor workshop-uri și panel-uri, un curs susținut la o conferință de prestigiu (ACM CHI 2022, A*), respectiv în cadrul unei lucrări invitate:

- [26] Adrian-Vasile Catană, Cristian Pamparău, Radu-Daniel Vatavu. (2022). Using Mediated Reality to Induce Sensorimotor Impairments. *Proc. of the Workshop on Multidisciplinary Perspectives on Designing Accessible Systems for Users with Multiple Impairments (ACM ASSETS 2022)*.
<http://www.eed.usv.ro/mintviz/publications/2022.MPDAS.pdf>
- [27] David Geerts, Radu-Daniel Vatavu, Alisa Burova, Vinoba Vinayagamoorthy, Martez Mott, Michael Crabb, Kathrin Gerling. (2021). Challenges in Designing Inclusive Immersive Technologies. *Proc. of MUM '21, the 20th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. ACM, New York, NY, USA, 182-185. <https://doi.org/10.1145/3490632.3497751> | **ARC CORE B**
- [28] Radu-Daniel Vatavu. (2022). Designing Interactive Experiences in the Interplay between Ambient Intelligence and Mixed Reality. *Proc. of CHI '22 Extended Abstracts, the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts*. ACM, New York, NY, USA, Article no. 140, 1-3.
<https://doi.org/10.1145/3491101.3503763> | **ARC CORE A***
- [29] Radu-Daniel Vatavu. (2022). Designing Interactive Computer Systems within the Framework of Sensorimotor Realities. Lucrare invitată în cadrul *ECCO '22, the International Conference on Electronics, Communications, and Computing*. <http://repository.utm.md/handle/5014/21894>

Pe lângă publicații științifice, rezultatele obținute în cadrul proiectului au fost făcute disponibile sub forma de diverse resurse (aplicații software, cod sursă, spații conceptuale și seturi de date) cu licențe de folosire în regim liber în scopuri de cercetare științifică, disponibile pe [pagina web](#) a proiectului. Dintre acestea, amintim în special următoarele seturi de date, pentru care am realizat și pagini dedicate:

- Setul de gesturi iFAD: 6.639 gesturi, 20 de participanți, împreună cu cod sursă C# și R. Pagina web dedicată: <http://www.eed.usv.ro/~vatavu/projects/2023-GESTURES-IFAD>
- Setul de date Fingerhints: 210 înregistrări, 21 de participanți, împreună cu cod sursă R. Pagina web dedicată: <http://www.eed.usv.ro/~vatavu/projects/2023-FINGERHINTS>
- Setul de date on-body/on-wheelchair: 231 de gesturi achiziționate de la 11 participanți utilizatori de scaun cu roțile, cod R. Pagina web: <http://www.eed.usv.ro/~vatavu/projects/2023-GESTURES-BAW>

De asemenea, publicarea rezultatelor în comunitatea științifică a fost completată de 17 filme realizate pentru **diseminarea către publicul larg** prin intermediul [canalului YouTube](#) al directorului de proiect, disponibile din pagina web a proiectului. În conformitate cu activitățile desfășurate, rezultatele și publicațiile științifice realizate, considerăm obiectivele proiectului îndeplinite în procent de 100%.

Director proiect,

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