

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

privind implementarea proiectului **REALITĂȚI SENZORIMOTORII** în
perioada ianuarie – decembrie 2021 (etapa nr. 1)

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 ETAPEI	2
Obiectivele proiectului.....	2
Membrii echipei de cercetare	2
Obiectivele și activitățile etapei.....	3
Rezultate așteptate pentru etapa nr. 1, conform planului de realizare	3
2. DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ	4
2.1. Premisele și fundamentarea Realităților Sensorimotorii în contextul realității mixte și mediate și a proiectării centrate pe abilități	4
2.2. Specificarea Realităților Sensorimotorii.....	5
2.3. Contextualizarea Realităților Sensorimotorii în literatura științifică a tehnologiilor asistive și accesibilității mediei interactive	6
2.4. Spațiu conceptual pentru Realitățile Sensorimotorii.....	9
2.5. Taxonomie a abilităților sensorimotorii augmentate și rezultate experimentale din studii utilizator	11
3. PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE ALE ETAPEI.....	16
REFERINȚE	17

1. REZUMATUL ETAPEI

Obiectivele proiectului

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, teoria controlului motor, calculul antropologic, precum 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 pentru acest proiect de cercetare fundamentală includ: proiectarea unui spațiu conceptual pentru Realitățile Sensorimotorii, propunerea unei taxonomii privind abilitățile motorii augmentate, realizarea de prototipuri de dispozitive portabile, medii inteligente și 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 pentru Realitățile Sensorimotorii.

Membrii echipei de cercetare

Echipa proiectului de cercetare implicată în activitățile acestei etape 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. Otilia Clipa (conf. univ. dr., membru cercetător în domeniul Pedagogie)
5. Maria-Doina Schipor (conf. univ. dr., membru al Colegiului Psihologilor din România, membru cercetător în domeniul Psihologie în cadrul proiectului)
6. Bogdan Popoveniuc (prof. univ. dr., Conducător de doctorat în domeniul Filosofie, membru cercetător în Filosofie în cadrul proiectului)
7. Adrian-Vasile Catană (doctorand în domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației)
8. Alexandru-Tudor Andrei (doctorand în domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației)



Obiectivele și activitățile etapei

Activitățile de cercetare ale proiectului (de tip A1, Cercetare fundamentală), 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. 1 de implementare a proiectului de cercetare având drept obiectiv “Fundamente pentru Realități Sensorimotorii”, după cum urmează:

- Act. 1.1 – Prototipuri ilustrative preliminare pentru idee și formulare conceptuală
- Act. 1.2 – Idee, bodystorming, design participativ și studii pentru conturarea cerințelor
- Act. 1.3 – Spațiu conceptual pentru Realități Sensorimotorii
- Act. 1.4 – Taxonomie pentru abilități sensorimotorii augmentate în SRs
- Act. 1.5 – Modele conceptuale pentru dispozitive portabile și medii inteligente care implementează Realități Sensorimotorii
- Act. 1.6 – Metodologie pentru evaluarea experienței în SRs

Rezultate așteptate pentru etapa nr. 1, conform planului de realizare

- **Rezultat așteptat:** Raportul științific al etapei
Rezultat realizat: Raport tehnic și științific cuprinzând un număr de 20 de pagini (număr maxim de pagini, conform specificațiilor UEFISCDI) detaliind progresul realizat și rezultatele științifice obținute în cadrul etapei nr. 1 de implementare a proiectului de cercetare (acest raport).
- **Rezultat așteptat:** Pagina web a proiectului de cercetare
Rezultat realizat: Pagina proiectului, cuprinzând rezumatul, obiectivele, echipa și rezultatele, este disponibilă la adresa web: <http://www.eed.usv.ro/mintviz/projects/SensorimotorRealities>. Pagina cuprinde și informații destinate publicului larg sub forma de scurte filme YouTube.
- **Rezultat așteptat:** Spațiu conceptual pentru Realități Sensorimotorii
Rezultat realizat: A fost realizat un spațiu conceptual cu șase dimensiuni care formalizează și specifică posibilitățile oferite de augmentarea abilităților senzoriale și motorii, mediile virtuale și imaginare, precum și de folosirea dispozitivelor portabile și a mediilor inteligenței ambientale pentru Realitățile Sensorimotorii.
- **Rezultat așteptat:** Taxonomie a abilităților sensorimotorii augmentate
Rezultat realizat: În legătură cu spațiul conceptual SRs, a fost propusă o taxonomie a modificării abilităților sensorimotorii prin medierea SRs cu un număr total de 16 posibilități distincte.
- **Rezultat așteptat:** Articole științifice în reviste și/sau participări la conferințe de prestigiu
Rezultat realizat: Au fost publicate **cinci lucrări științifice** în cadrul conferințelor ACM IMX 2021, the ACM International Conference on Interactive Media Experiences și ISAmI 2021, the 12th Int. Symposium on Ambient Intelligence. O lucrare a primit distincția **Best Paper Award**. 🏆

Pe lângă aceste rezultate așteptate conform planului de realizare, am obținut două seturi de date empirice prin implicarea unui număr de 41 de persoane cu diverse dizabilități motorii, respectiv a 188 de persoane fără dizabilități în cadrul a două studii informative.

2. DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ

În cadrul acestei etape am întreprins activități de cercetare fundamentală privind formalizarea conceptului Realităților Sensorimotorii (SRs), având drept rezultate principale un spațiu conceptual pentru SRs, respectiv o taxonomie a abilităților sensorimotorii augmentate, în conformitate cu rezultatele așteptate din planul de realizare a proiectului. De asemenea, am realizat prototipuri ilustrative preliminare și am colectat date de la persoane cu și fără dizabilități motorii în vederea susținerii formalizării conceptului SRs. Conform planului de realizare, aceste rezultate vor fi folosite în cadrul Etapei nr. 2 de implementare a proiectului, prevăzută pentru anul 2022, în vederea proiectării de dispozitive portabile și medii inteligente pentru implementarea Realităților Sensorimotorii.

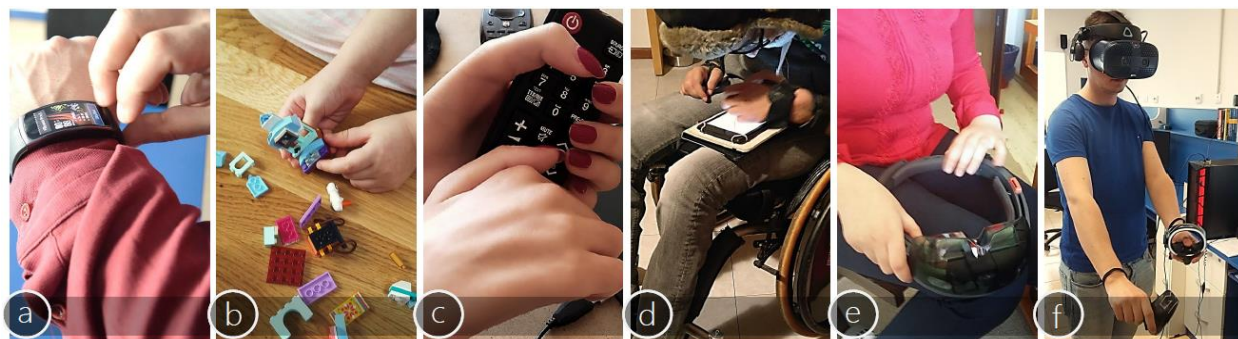


Figura 1. Diverse abilități sensorimotorii în viața de zi cu zi: (a) atingerea precisă a unui adult pe un dispozitiv portabil cu un ecran de dimensiuni reduse; (b) un copil de șase ani care assemblează piese Lego; (c) o persoană cu leziuni la nivelul coloanei vertebrale manevrând o telecomandă TV cu o prindere fermă folosind ambele mâini; (d) un utilizator în scaun cu roțile care interacționează cu o tabletă sprijinită pe coapsă; (e) o persoană nevăzătoare care examinează un dispozitiv HMD pentru a înțelege forma acestuia; (f) un utilizator imersat în VR care manipulează obiecte virtuale.

2.1. Premisele și fundamentarea Realităților Sensorimotorii în contextul realității mixte și mediate și a proiectării centrate pe abilități

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 umană și sunt influențate de experiențe de învățare, interacțiuni cu alte persoane și cu mediul înconjurător, precum și de îmbătrânire, boală sau accidente. Figura 1 exemplifică o diversitate de abilități sensorimotorii aplicate în context, de la interacțiunea cu ecranul de dimensiuni reduse al unui dispozitiv portabil (figura 1a) la strategii de coping adoptate de persoane cu dizabilități (figurile 1c-1e) pentru a face obiectele din viața de zi cu zi mai accesibile, respectiv lumea înconjurătoare mai ușor de perceput și înțeles. De asemenea, aceleași abilități sensorimotorii sunt folosite pentru a interacționa în noi medii de realitate mediată (Mann, 1999), simulată (Adamovich *et al.*, 2009) și augmentată (Azuma, 1997; Milgram și Kishino, 1994; Speicher *et al.*, 2019), cum este cazul unui utilizator VR (figura 1f). Astfel de noi medii permit experiențe sensorimotorii distincte, cum ar fi percepție amplificată (Abdelrahman și Schmidt, 2018; Langlotz *et al.*,

2018; Zhao *et al.*, 2019), abilități motorii îmbunătățite (Prattichizzo *et al.*, 2014; Shein, 2019), precum și percepții diminuate (Sadek *et al.*, 2010) sau motricitate redusă (Nishida *et al.*, 2020).

În astfel de medii hibride, abilitățile sensorimotorii ale utilizatorilor sunt refolosite în procesul de mediere controlat de tehnologia și sistemele interactive în scopul de a furniza noi abilități și, respectiv, noi experiențe utilizatorilor acestor sisteme. Realitățile Sensorimotorii caracterizează acest proces de mediere a abilităților, delimitându-se prin urmare de alte tipuri de realități augmentate, virtuale, mixte, sau mediate prin centrarea pe abilitățile utilizatorilor și pe medierea acestora.

2.2. Specificarea Realităților Sensorimotorii

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; Billinghurst *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 drept un nou tip de realitate hibridă în cadrul XR (Realitatea Extinsă, un termen umbrelă 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 abilitățile sensorimotorii să fie *relative*, o caracteristică esențială a naturii acestora. Acest principiu enunță faptul că fiecare dintre noi trăim, respectiv experimentăm o varietate de realități sensorimotorii în fiecare zi în funcție de contextul percepției și interacțiunii.
- P2. **Principiul lumilor multiple.** Realitățile Sensorimotorii adresează experiențe furnizate de interacțiuni realizate în medii hibride, reprezentând diverse modalități de a combina lumea fizică, virtuală (Adamovich *et al.*, 2009) și imaginară (Baudisch *et al.*, 2013; Gustafson *et al.*, 2010; Schipor și Vataavu, 2018), pentru care sunt necesare diverse abilități sensorimotorii.
- P3. **Principiul medierii.** Realitățile Sensorimotorii au drept scop medierea abilităților utilizatorilor prin folosirea conjugată a dispozitivelor purtabile și a mediilor de inteligență ambiantă. Cu un scop diferit de cel al tehnologiilor asistive (Hersh și Johnson, 2008; US Congress, 1988; WHO, 2018), respectiv al sistemelor adaptive care realizează 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 principiile proiectării bazate pe abilități (*en.*: ability-based design).

Plecând de la aceste principii, am implementat un proces de ideeție pentru identificarea de concepte conexe, precum și a legăturilor cu alte tipuri de realități hibride (Adamovich *et al.*, 2009; Azuma, 1997; Billinghurst *et al.*, 2015; Mann, 1999; Mann și Barfield, 2003; Mann *et al.*, 2018; Milgram și Kishino, 1994; Speicher *et al.*, 2019) și caracteristici ale mediilor inteligente (Cook *et al.*, 2009; Cook și Song,

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

2009), în urma căruia am realizat harta de concepte ilustrată în figura 2. Am folosit aceste rezultate pentru a propune următoarea definiție a Realităților Sensorimotorii:

Definiție. Realitățile Sensorimotorii (acronim: SRs) reprezintă manifestări dinamice ale realității experimentate subiectiv de către utilizatorul unui sistem informatic drept rezultat al asocierii percepției senzoriale cu acțiunea motrică mediată în timpul cuplării sensorimotorii de către 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 motrice prin aplicarea abilităților sensorimotorii ale individului, respectiv (3) dispozitivele (portabile sau prezente în mediul ambiental) ce implementează mediarea abilităților sensorimotorii; a se vedea figura 2 pentru o prezentare vizuală a acestor concepte, precum și a altor concepte conexe.

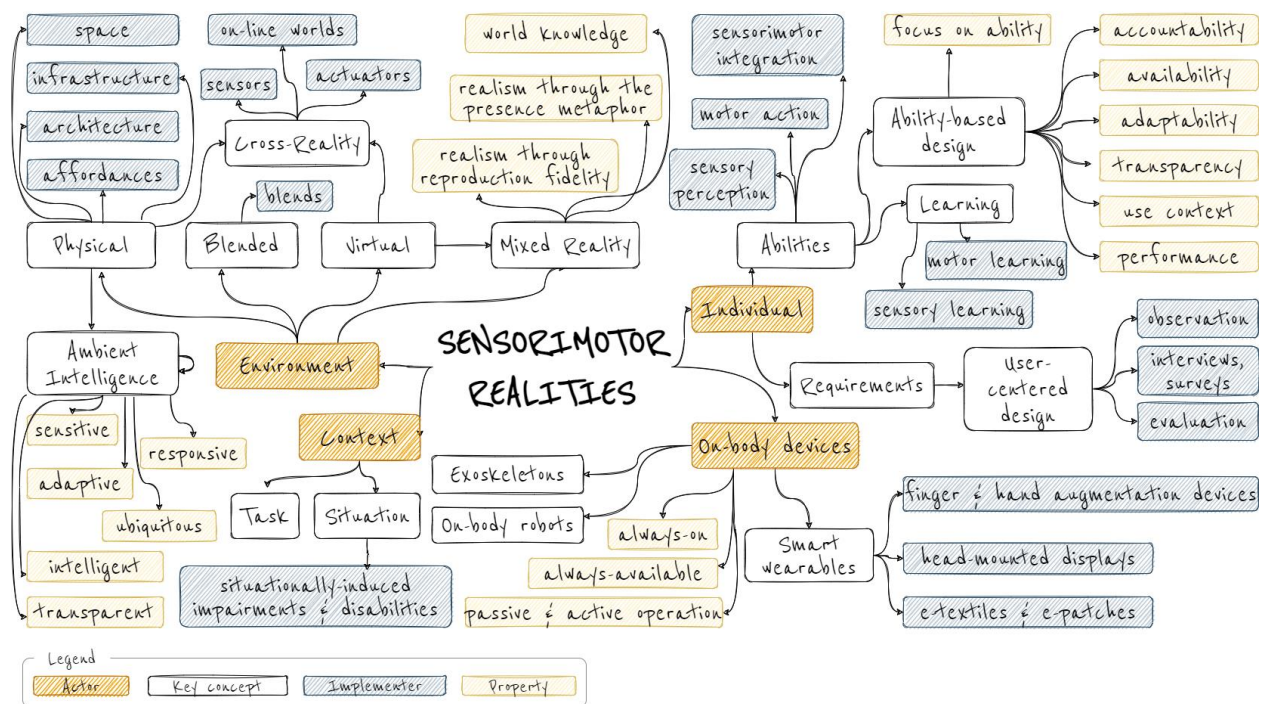


Figura 2. Hartă de concepte pentru specificarea Realităților Sensorimotorii rezultată în urma unui proces de ideeție și brainstorming pentru identificarea de concepte conexe (e.g., alte tipuri de realități, medii inteligente, cerințe pentru sistemele interactive, categorii de dispozitive, etc.) și legături cu SRs.

2.3. Contextualizarea Realităților Sensorimotorii în literatura științifică a tehnologiilor asistive și accesibilității mediei interactive

Pentru a contextualiza aceste contribuții în cadrul literaturii științifice, am realizat două studii de analiză a stadiului actual prin care am adresat atât accesibilitatea experiențelor media (Vatavu, 2021) cât și tehnologiile asistive propuse la intersecția dintre inteligența ambientală și realitatea augmentată și

mixtă pentru persoane cu dizabilități motorii (Şiean *et al.*, 2021). În cadrul primului studiu, am analizat un număr de 449 de lucrări publicate între anii 2003 și 2020 în cadrul conferințelor specializate ACM IMX, ACM TVX, respectiv EuroITV, pentru care am identificat 19 lucrări (4.23%) care au abordat teme relevante pentru utilizatori cu dizabilități, dintre care doar 9 (2.00%) au implicat persoane cu dizabilități ca participanți în cadrul studiilor; a se vedea figura 3 pentru un rezumat vizual și Vatavu (2021) pentru detalii. În cadrul celui de-al doilea studiu, am adoptat procedura Systematic Literature Review (Siddaway *et al.*, 2019) și am identificat în bazele de date ACM DL și IEEE Xplore un număr de 17 lucrări tratând tehnologii asistive la intersecția dintre inteligența ambiantă și realitatea augmentată și mixtă.

Figura 4 prezintă rezultatele obținute în ceea ce privește categoriile de contribuții tehnice și științifice, aplicații, utilizatori, dispozitive, modalități de intrare și ieșire, dar și implementarea diverselor caracteristici ale mediilor inteligenței ambientale (Cook *et al.*, 2009; Cook și Song, 2009), respectiv a dimensiunilor realității mixte (Speicher *et al.*, 2019) în cadrul lucrărilor din literatura științifică. Rezultatele noastre au arătat o atenție redusă a comunității științifice pentru accesibilitatea mediei interactive, respectiv pentru combinarea avantajelor tehnologiilor inteligenței ambientale și realității augmentate/mixte pentru noi tehnologii asistive destinate persoanelor cu dizabilități motorii. Prin urmare, Realitățile Sensorimotorii vin să completeze acest spațiu explorat insuficient în comunitatea științifică, pentru care cele trei principii propuse în cadrul etapei formalizează și specifică domeniul de aplicabilitate precum și oportunitățile de inovare furnizate de medierea abilităților sensorimotorii.

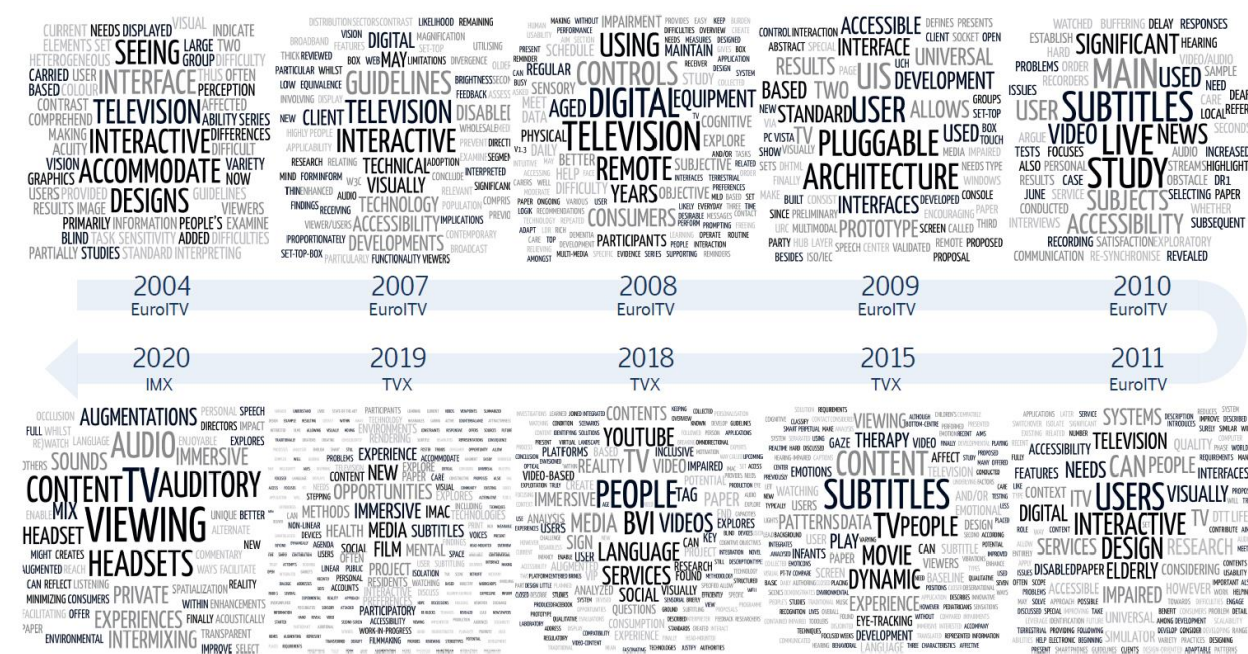


Figura 3. Nori de cuvinte obținuți din rezumatele lucrărilor științifice care au abordat accesibilitatea mediei interactive, aranjați conform cronologiei conferințelor ACM TVX și ACM IMX specializate în subiectul mediei interactive. Detalii privind acest studiu se află în Vatavu (2021).

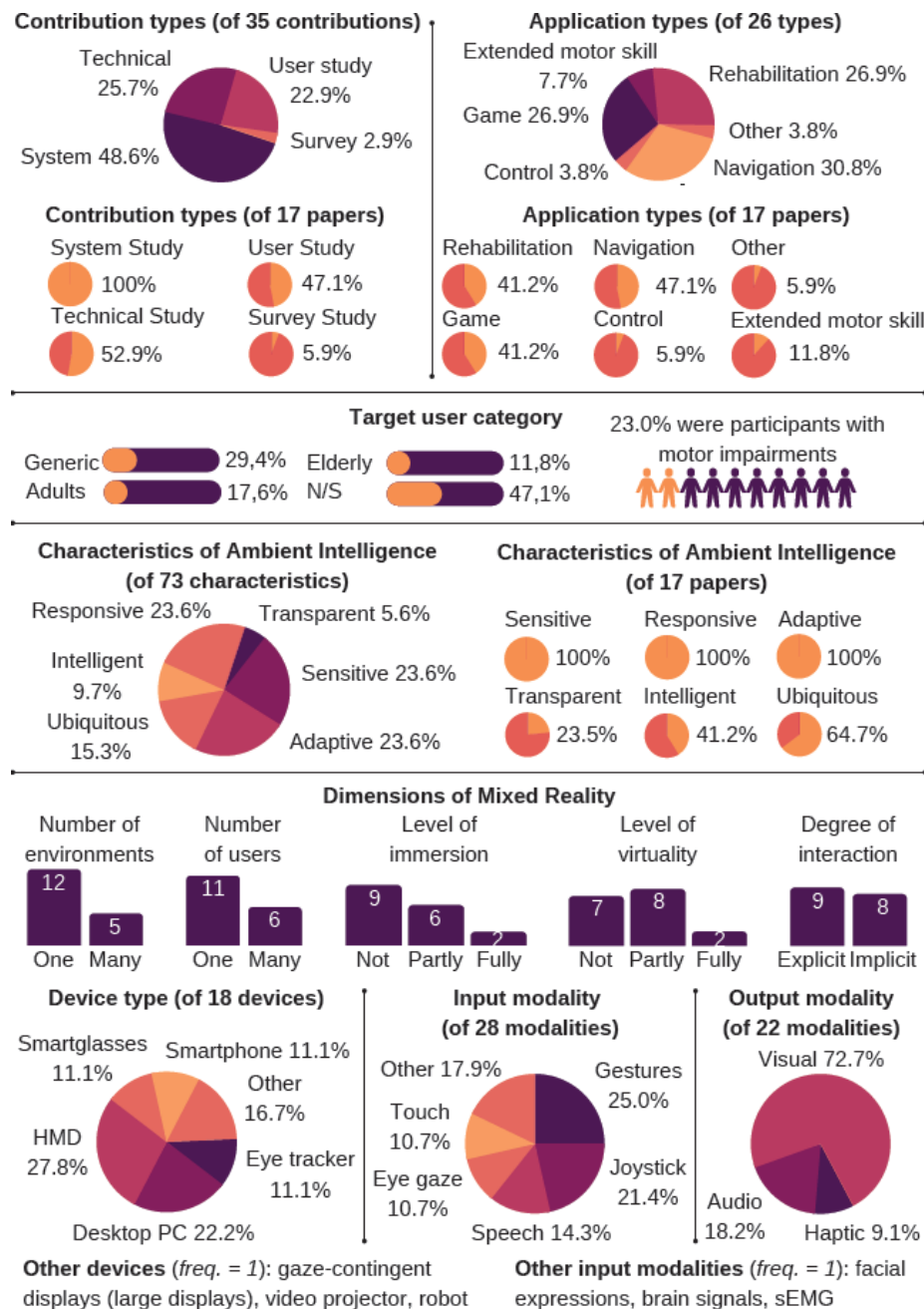


Figura 4. Rezultate ale studiului de tip Systematic Literature Review (SLR) realizat în cadrul etapei pentru identificarea contribuțiilor științifice și tehnice privind tehnologii asistive aflate la intersecția dintre mediile de inteligență ambientală și sistemele de realitate augmentată/mixtă (Șiean *et al.*, 2021). Rezultatele au indicat folosirea predominantă a dispozitivelor head-mounted displays (HMD) în sistemele descrise în literatura științifică, a interacțiunilor bazate pe gesturi, folosirea feedback-ului vizual, dar și o implicare redusă a persoanelor cu dizabilități motorii în cadrul studiilor realizate la intersecția Aml și AR/MR.

Aceste rezultate au fost publicate sub forma a două articole în cadrul conferințelor IMX'21 și ISAmI'21:



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



Assistive Technology in the Synchrony between
Ambient Intelligence and Mixed Reality for
People with Motor Disabilities

Alexandru-Ionuț Șiean, Laura-Bianca Bilius, Radu-Daniel Vatavu

Abstract We conduct a meta-analysis of scientific contributions in assistive technology, ambient intelligence, and mixed reality to explore the potential of these technologies in the synchrony between ambient intelligence and mixed reality for people with motor disabilities. Our findings show that the use of these technologies can be used to support people with motor disabilities and improve their quality of life. We also identify the need for further research in this area.

1 Introduction

People with motor disabilities often face significant challenges in their daily lives. Assistive technology, ambient intelligence, and mixed reality can be used to support people with motor disabilities and improve their quality of life. Our findings show that the use of these technologies can be used to support people with motor disabilities and improve their quality of life. We also identify the need for further research in this area.

Keywords: Assistive Technology, Ambient Intelligence, Mixed Reality, People with Motor Disabilities

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 Int. Symposium on Ambient Intelligence*. Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, 10 pages



Figura 5 prezintă Realitățile Sensorimotorii în relație cu alte tipuri de realități hibride (Adamovich *et al.*, 2009; Azuma, 1997; Billinghurst *et al.*, 2015; Mann, 1999; Mann și Barfield, 2003; Mann *et al.*, 2018; Milgram și Kishino, 1994; Speicher *et al.*, 2019), adoptând formalismul diagramelor Venn din Mann *et al.* (2018) pentru a ilustra diversele concepte de realități ca submulțimi și supramulțimi.

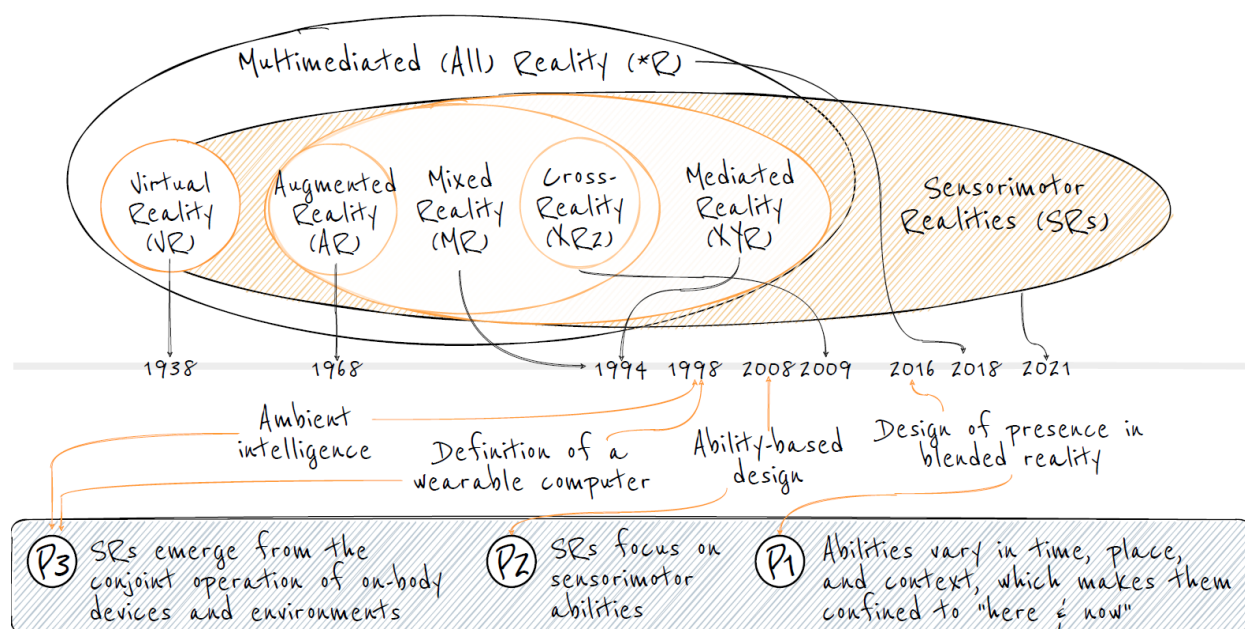


Figura 5. Trei principii identificate pentru Realitățile Sensorimotorii disting acest concept de alte tipuri de realități hibride – virtuală, augmentată, mixtă, mediată sau multimediată.

2.4. Spațiu conceptual pentru Realitățile Sensorimotorii

Plecând de la principiile definitorii propuse pentru conturarea Realităților Sensorimotorii, am introdus un spațiu conceptual cu șase dimensiuni calitative (D1-D6) pentru mediarea abilităților (figura 6):

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 externi, cum ar fi o percepție crescută a culorilor prin purtarea de dispozitive HMD (Langlotz *et al.*, 2018). *Extensia senzorială* reprezintă îmbunătățirea abilităților dincolo de posibilitățile oferite de anatomia și fiziologia corpului uman, cum ar fi vederea în alte domenii ale spectrului electromagnetic (Abdelrahman și Schmidt, 2018). Opusă amplificării, *diminuarea senzorială*

conduce la o înrăutățire dorită a percepției, cum ar fi ochelarii Cambridge Simulation Glasses² folosiți de designerii de produs pentru a experimenta modul în care persoanele cu deficiențe de vedere percep lumea. Opusă extinderii, *contractia senzorială* refuză o anumită abilitate în totalitate, cum ar fi pentru antrenamente în VR cu simularea lipsei auzului (Sadek *et al.*, 2010).

- D2. **Medierea motorie** specifică natura și gradul de mediere a acțiunii motrice a utilizatorului, cu aceleași patru categorii: *amplificarea*, *extensia*, *diminuarea* și *contractia*. În timpul *amplificării*, o abilitate motorie existentă este îmbunătățită, cum ar fi cazul unui exoschelet care asistă prinderea și manipularea obiectelor (Tong *et al.*, 2010) sau prin electrostimulare musculară pentru un răspuns mai rapid la stimuli (Kasahara *et al.*, 2019). Prin *extensie*, noi abilități motorii pot fi dobândite dincolo de posibilitățile anatomiei corpului uman, cum ar fi un al șaselea deget pentru manipularea eficientă a obiectelor mari (Prattichizzo *et al.*, 2014). La polul opus, *diminuarea* și *contractia* restricționează acțiunile motrice, fie prin reducerea unei abilități sau prin refuzarea ei în totalitate. Exemple includ costume de tip *age suit* (Lavallière *et al.*, 2017) care permit designerilor să experimenteze navigarea din perspectiva persoanelor în vârstă, sau constrângeri impuse asupra mișcărilor corpului (Ruiz și Vogel, 2015) folosite în timpul studiilor de solicitare a preferințelor utilizatorilor pentru gesturi în comanda sistemelor interactive.
- D3. **Virtualitatea**, implementată sub forma continuumului Real-Virtual al lui Milgram și Kishino (1994), specifică întrepătrunderea dintre lumea fizică și cea virtuală. Acest cadru teoretic permite formalizarea conceptuală dar și instanțierea în practică a diverselor tipuri de realități mixte, respectiv definirea realității augmentate ca prima parte a continuumului lângă extrema lumii fizice. De asemenea, virtualitatea augmentată rezultă ca opoziție a realității augmentate.
- D4. **Imaginaritatea**, implementată în analogie cu continuumul Real-Virtual pentru care una dintre extremități o reprezintă lumea imaginată. Pe acest continuum se poziționează interfețele 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 HMD (Langlotz *et al.*, 2018), sau mișcare, de exemplu prin electrostimulare musculară (Kasahara *et al.*, 2019).
- D6. **Augmentarea mediului ambiantal** 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 cu origini într-un spațiu virtual.

Figura 6 ilustrează aceste dimensiuni grupate câte două pentru a forma domeniul, conform teoriei spațiilor conceptuale (Bechberger și Kühnberger, 2017). Originea spațiului indică lipsa medierii sau lumea fizică fără tehnologia de mediere. Dimensiunea D3 este continuumul Milgram și Kishino (1994). 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 a abilităților sensorimotorii augmentate, discutată în secțiunea următoare a acestui raport.

² <http://www.inclusivedesign toolkit.com/csg/csg.html>



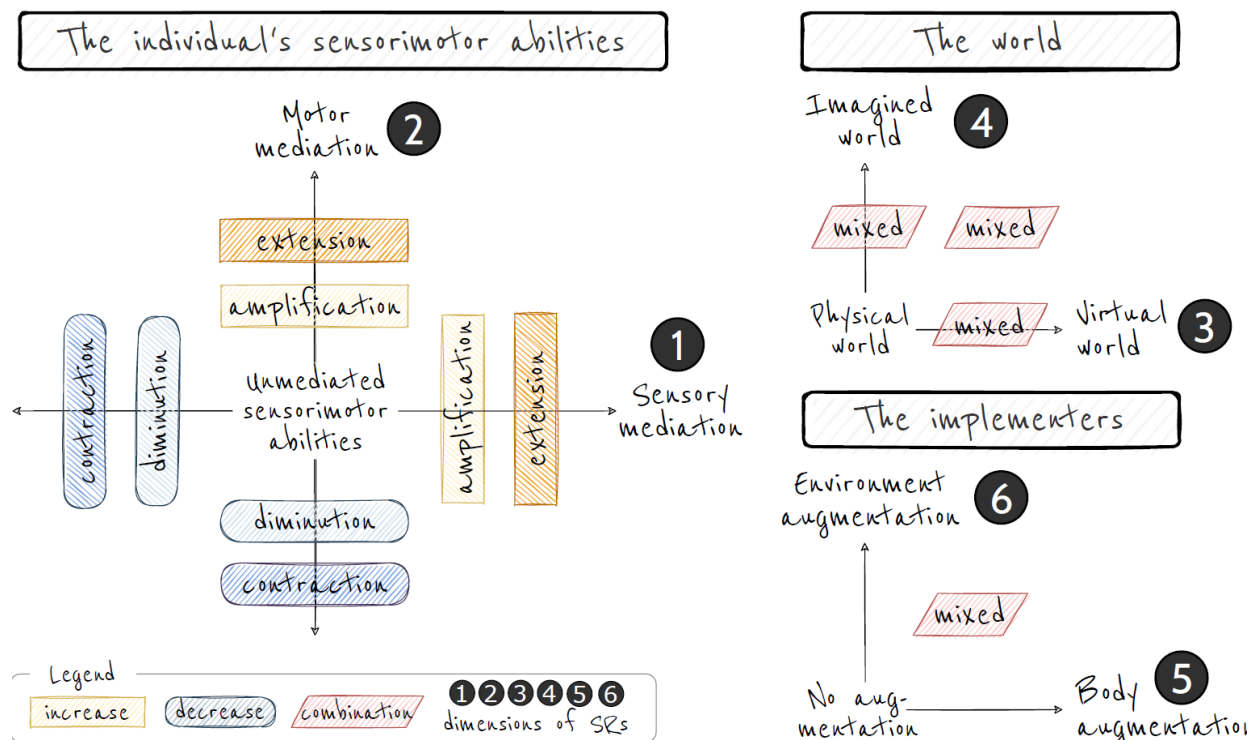


Figura 6. Spațiu conceptual pentru Realitățile Sensorimotorii. *Note:* axa 3 este continuumul Real-Virtual al lui Milgram și Kishino (1994); axele 3 și 1 formează realitatea mediată definită de Mann (1999; 2003); axele 5 și 6 conectează Realitățile Sensorimotorii la domeniile wearable computing și ambient intelligence prin augmentarea corpului uman, respectiv augmentarea mediului ambiantal.

2.5. Taxonomie a abilităților sensorimotorii augmentate și rezultate experimentale din studii utilizator

Fleishman (1972) definește abilitățile umane prin referire la caracteristicile generale care constituie “*organismic factors that the individual brings with him when he begins to learn a new task*” (p. 1018) și folosește această definiție în cadrul unui program amplu de descriere a calificărilor (*en.*: skills) în funcție de un număr restrâns de abilități fundamentale. Această abordare a fost adoptată în teoria controlului motor, învățarea motorie și psihologia diferențelor individuale (Magill și Anderson, 2014). Fleishman (1967, 1972) propune o taxonomie alcătuită din 11 abilități sensorimotorii, cu următoarele categorii: (1) *multilimb coordination*, reprezentând abilitatea de a coordona mișcările mai multor membre, (2) *control precision*, ajustarea precisă a grupelor de mușchi mari, (3) *response orientation*, abilitatea de a selecta rapid un răspuns motor ca urmare a percepției unui stimul, (4) *reaction time* reprezentând abilitatea de a răspunde rapid la un stimul, (5) *speed of arm movement*, abilitatea de realiza mișcări largi, nu neapărat precise, (6) *rate control* pentru adaptarea unui răspuns motor continuu la schimbarea stimulilor, (7) *manual dexterity* privind mișcări precise ale mâinii și brațului pentru manipularea obiectelor mari, (8) *finger dexterity* pentru manipulări precise ale obiectelor mici, (9) *arm-hand steadiness* reprezentând abilitatea de a poziția brațul și mâna pentru a minimiza efortul mișcării, și (10) *wrist, finger speed* și (11)

aiming reprezentând abilități de atingere (*en.*: tapping). Această listă nu este una exhaustivă, dar conține “the fewest independent ability categories which might be most useful and meaningful in describing performance in the widest variety of tasks” (Fleishman, 1967; p. 352). Datorită adoptării largi a acestei taxonomii în comunitatea științifică (Anderson *et al.*, 2021; Magill și Anderson, 2014), o folosim ca un punct de plecare pentru mediarea abilităților umane în cadrul Realităților Sensorimotorii.

Domeniul D1×D2 din cadrul spațiului conceptual al Realităților Sensorimotorii (figura 6) specifică modurile în care abilitățile senzoriale și motorii pot fi mediate independent prin *amplificare*, *extensie*, *diminua* 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, furnizată de o mânășă tip exoschelet sau printr-o *extensie* a abilității de a manipula cu precizie obiectele de dimensiuni mici (*finger dexterity*, conform Fleishman, 1967) implementate în 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.

Pentru a înțelege abilitățile sensorimotorii în contexte aplicative specifice, am realizat două studii (Popovici *et al.*, 2021; Ungurean și Vatavu, 2021) implicând utilizatori cu și fără dizabilități motorii. În cadrul primului studiu, am pus accent pe înțelegerea preferințelor și nevoilor exprimate de utilizatori potențiali ai mediei interactive în contextul televiziunii augmentate, pentru care am examinat diferențe de percepție 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 în această direcție reprezentat de analiza preferințelor unui număr de 172 de persoane din țări europene (Popovici și Vatavu, 2019). Detalii privind poziționarea studiului nostru în cadrul continuumului Real-Virtual (Milgram și Kishino, 1994; respectiv dimensiunea D3 a spațiului conceptual SRs din figura 6) privind lumea fizică și media interactivă, precum și exemple de scenarii folosite în cadrul studiului sunt furnizate în figura 7. Rezultatele studiului au confirmat un efect cultural asupra percepției mediei interactive augmentate cu implicații privind proiectarea experiențelor interactive la intersecția Culture & HCI (Kyriakoullis și Zaphiris, 2016). Rezultatele au fost diseminate în cadrul conferinței ACM IMX '21, the International Conference on Interactive Media Experiences, o conferință specializată în media interactivă, lucrarea primind distincția **Best Paper Award**:



Irina Popovici, Radu-Daniel Vatavu, Pu Feng, Wenjun Wu. (2021). AR-TV and AR-Diànshì: Cultural Differences in Users' Preferences for Augmented Reality Television. *Proceedings of IMX '21, the ACM International Conference on Interactive Media Experiences*. ACM, New York, NY, USA, 50-60.

<https://doi.org/10.1145/3452918.3458801> **BEST PAPER AWARD** 🏆



SIGCHI

Special Interest Group for
Computer-Human Interaction



Scopus



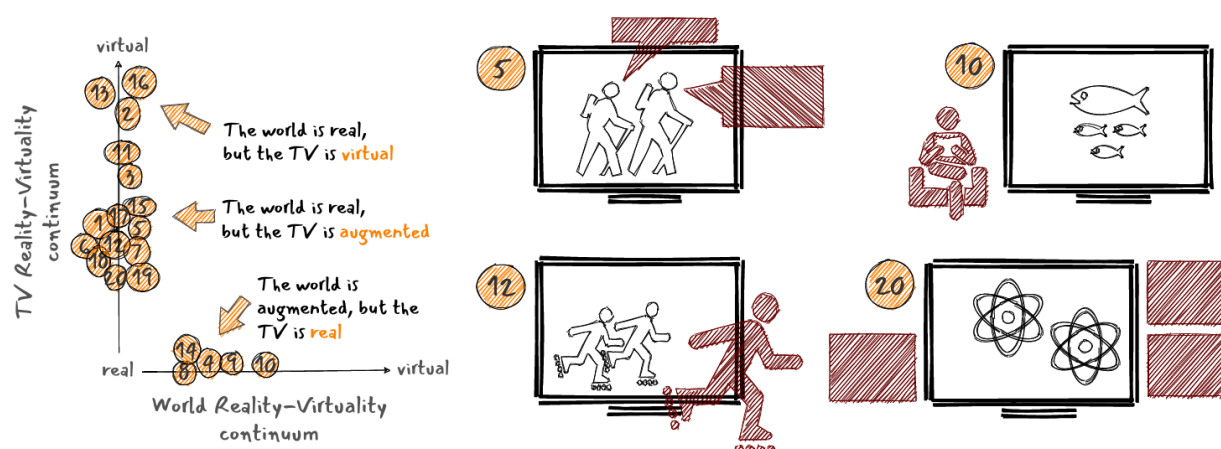


Figura 7. Ilustrare a diverse scenarii de realitate augmentată implicând atât lumea fizică cât și media interactivă în relație cu continuumul Real-Virtual al lui Milgram și Kishino (1994), folosite în cadrul studiului Popovici *et al.* (2021) privind influența culturală asupra percepției experiențelor augmentate.

În cadrul unui al doilea studiu (Ungurean și Vatau, 2021), am implicat un număr de 41 de persoane cu dizabilități motorii pentru a înțelege efectele diverselor abilități ale mâinii și degetelor în folosirea unui dispozitiv de comandă prevalent, telecomanda, folosit pentru controlul a nenumărate echipamente în contextul casnic, de exemplu televizorul. Astfel de scenarii aplicative conectează formalizarea noastră privind Realitățile Sensorimotorii de echipamente, dispozitive, sisteme și aplicații caracteristice mediilor ambientale, respectiv de comandă și control a acestora. Caracteristicile demografice ale participanților la acest studiu, categoriile de dizabilități raportate de către aceștia, precum și rezultatele evaluării WHODAS 2.0 (WHO Disability Assessment Schedule)³ sunt prezentate în figura 8. Rezultatele studiului 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 (*coping*), ajustare a tehnologiei (*hacking*), respectiv fabricare personalizată (*do-it-yourself, DIY*); vezi figura 9 care ilustrează o parte din aceste strategii folosite de către persoane cu diverse tipuri de dizabilități motorii. De exemplu, participantul P₂₃ (leziune a coloanei vertebrale, vertebrele C6-C7) plasează telecomanda pe suprafața unui prosop de bucătărie pentru a preveni alunecarea sau balansul acesteia (figura 9c), în timp ce participantul P₈ (leziune a coloanei vertebrale, vertebrele C4-C5) are telecomanda atașată de o cutie de șervețele pentru creșterea stabilității acesteia în utilizare – ambele exemple reflectând strategii de tip *hacking* și *DIY*. De asemenea, figura 10 prezintă un rezumat al percepțiilor persoanelor cu dizabilități motorii, comparate cu cele ale unui grup de control format dintr-un număr egal de 41 de persoane fără dizabilități, privind dispozitive și modalități de interacțiune alternative telecomenzilor. Mai mult, interesul unor participanți pentru DIY în pofida achiziționării de dispozitive accesibile sau de tehnologii asistive este un rezultat pe care l-am contextualizat în practica fabricării personalizate, cu oportunități pentru utilizatorii/consumatorii generali, dar mai ales pentru

persoanele cu dizabilități în ce privește democratizarea proiectării și fabricării, personalizarea produselor și creșterea independenței (Das *et al.*, 2020; Vyas, 2019).

Participant	Health condition [‡]	Since	Self-reported impairments [†]											WHODAS 2.0 score
			Mo	Sp	St	Tr	Co	Fa	Gr	Ho	Se	Dir	Dis	
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.

The responses of participant P₅ were entered by her father (online survey) and P₂₂ was accompanied by one parent during the interview.

Figura 8. Detalii privind participanții cu dizabilități motorii implicați în studiul Ungurean și Vatau (2021).

Rezultatele au fost publicate în cadrul conferinței IMX '21:



Ovidiu-Ciprian Ungurean, Radu-Daniel Vatau. (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>



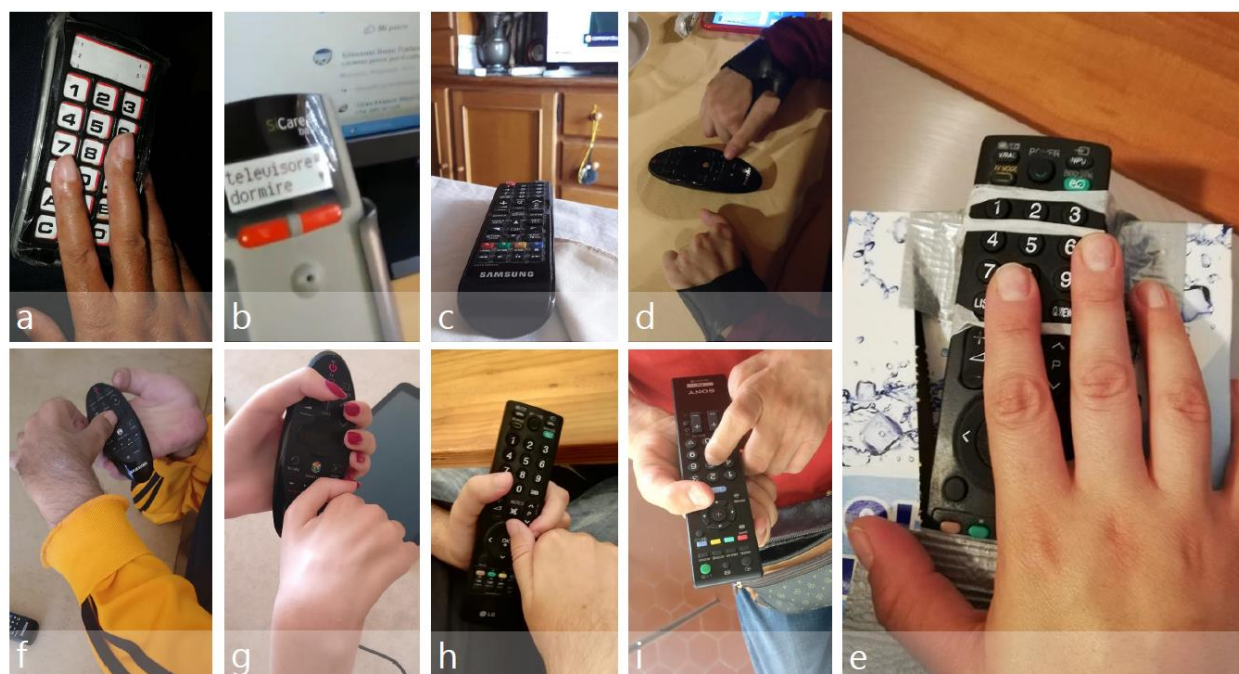


Figura 9. Exemple de dispozitive personalizate pentru controlul televizorului (a, b), soluții de tip DIY inventate de persoane cu dizabilități motorii (c,d,e), precum și strategii de adaptare implicând diverse stiluri de prindere și/sau poziții ale mâinii (f,g,h,i) pentru a putea folosi dispozitive de tip telecomandă.

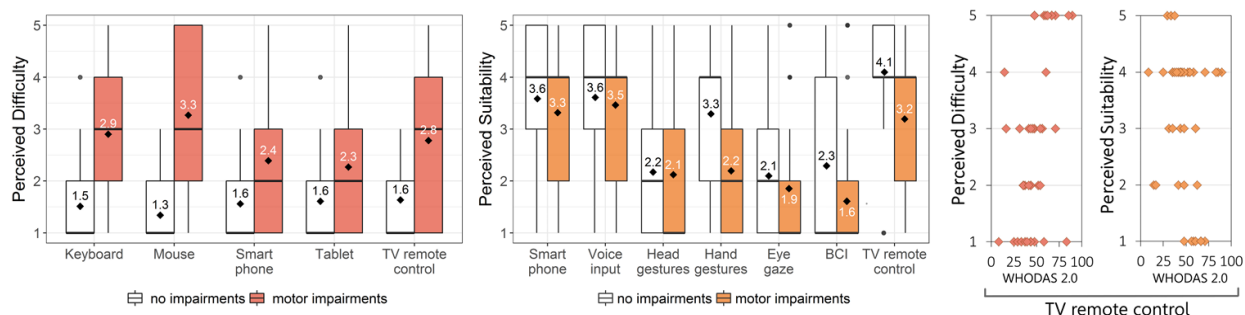


Figura 10. Dificultatea percepută în folosirea a diverse dispozitive (stânga) și adecvarea estimată a diverselor dispozitive și modalități de intrare (mijloc), exprimate de persoane cu și fără dizabilități motorii în cadrul studiului (Ungurean și Vataavu, 2021). Imaginea din dreapta indică legătura dintre dizabilitate (WHODAS 2.0) și preferințele participanților pentru dispozitive și modalități de intrare.

Aceste rezultate indică potențialul utilizării formalismului Realităților Sensorimotorii pentru a caracteriza și înțelege experiența cu tehnologia interactivă în diverse contexte de utilizare aflate la intersecția dintre abilitățile individuale și posibilitățile de mediere a acestora (domeniul D1×D2 din spațiul conceptual SRs ilustrat în figura 6), medii hibride (domeniul D3×D4), respectiv dispozitive pentru augmentarea corpului uman și a mediului ambiental (domeniul D5×D6). Rezultatele obținute în cadrul acestei etape privind fundamentarea Realităților Sensorimotorii reprezintă baza pentru proiectarea și implementarea de noi

dispozitive portabile și medii ale inteligenței ambientale planificate în cadrul Etapei nr. 2 a anului 2022, respectiv pentru informarea de metafore și tehnici de interacțiune în cadrul Etapei nr. 3 din anul 2023.

3. PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE ALE ETAPEI

În cadrul etapei au fost realizate cinci publicații științifice pentru diseminarea rezultatelor proiectului la conferințe din aria de relevanță științifică a temei de cercetare adresate. Una dintre lucrări a primit distincția Best Paper Award în cadrul conferinței ACM specializată în media interactivă.

- [1] Irina Popovici, Radu-Daniel Vatavu, Pu Feng, Wenjun Wu. (2021). AR-TV and AR-Diànshì: Cultural Differences in Users' Preferences for Augmented Reality Television. *Proceedings of IMX '21, the ACM International Conference on Interactive Media Experiences*. ACM, New York, NY, USA, 50-60.
<https://doi.org/10.1145/3452918.3458801> **BEST PAPER AWARD** 
- [2] 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>
- [3] Radu-Daniel Vatavu. (2021). Accessibility of Interactive Television and Media Experiences: Users with Disabilities Have Been Little Voiced at IMX and TVX. *Proceedings of IMX '21, the ACM International Conference on Interactive Media Experiences*. ACM, New York, NY, USA, 218-222.
<https://doi.org/10.1145/3452918.3465485>
- [4] 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*. Lecture Notes in Networks and Systems, Springer Nature Switzerland, 10 pages
- [5] 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. *Proceedings of ISAmI '21, the 12th International Symposium on Ambient Intelligence*. Lecture Notes in Networks and Systems, Springer Nature Switzerland, 10 pages

Diseminarea rezultatelor proiectului în comunitatea științifică a fost completată prin diseminarea către publicul larg prin intermediul canalului YouTube al directorului de proiect, filme disponibile la adresele <https://youtu.be/n5HNxbgxYGQ> respectiv <https://youtu.be/ysdBKwttYTA>.

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. 1 îndeplinite în procent de 100%.



REFERINȚE

- Abdelrahman și Schmidt, 2018
Adamovich *et al.*, 2009
Anderson *et al.*, 2021
Azuma, 1997
Baudisch *et al.*, 2013
Bechberger și Kühnberger, 2017
Billinghurst *et al.*, 2015
Cook *et al.*, 2009
Cook și Song, 2009
Das *et al.*, 2020
Fleishman, 1967
Fleishman, 1972
Gustafson *et al.*, 2010
- Y. Abdelrahman, A. Schmidt. 2018. Beyond the Visible: Sensing with Thermal Imaging. *Interactions* 26, 1. ACM 76–78. <https://doi.org/10.1145/3297778>
- S.V. Adamovich, G.G. Fluett, E. Tunik, A.S. Merians. 2009. Sensorimotor training in virtual reality: a review. *NeuroRehabilitation* 25 (1), 29–44. <https://doi.org/10.3233/NRE-2009-0497>
- D.I. Anderson, K.R. Lohse, T.C. Videira Lopes, A.M. Williams. 2021. Individual differences in motor skill learning: Past, present and future. *Human Movement Science* 78 (2021), 102818. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2021.102818>
- R.T. Azuma. 1997. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.* 6, 4 (1997), 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- P. Baudisch, H. Pohl, S. Reinicke, E. Wittmers, P. Lühne, M. Knaust, S. Köhler, P., Schmidt, C. Holz. 2013. Imaginary Reality Gaming: Ball Games without a Ball. In *Proc. of the 26th ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. ACM, New York, NY, USA, 405–410. <https://doi.org/10.1145/2501988.2502012>
- L. Bechberger, K.-U. Kühnberger. 2017. A Comprehensive Implementation of Conceptual Spaces. In *Proceedings of the 5th International Workshop on Artificial Intelligence and Cognition*. <http://ceur-ws.org/Vol-2090/paper4.pdf>
- M. Billinghurst, A. Clark, G. Lee. 2015. A Survey of Augmented Reality. *Found. Trends Hum.-Comput. Interact.* 8, 2–3 (3 2015), 73–272. <https://doi.org/10.1561/11000000049>
- D.J. Cook, J.C. Augusto, V.R. Jakkula. 2009. Review: Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities. *Pervasive Mob. Comput.* 5, 4 (August), 277–298. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2009.04.001>
- D.J. Cook, W. Song. 2009. Ambient intelligence and wearable computing: Sensors on the body, in the home, and beyond. *J. Ambient Intell. Smart Environ.* 1, 2 (April 2009), 83–86. <http://dx.doi.org/10.3233/AIS-2009-0014>
- M. Das, K. Borgos-Rodriguez, A.M. Piper. 2020. Weaving by Touch: A Case Analysis of Accessible Making. In *Proc. of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20)*. ACM, New York, NY, USA, 1–15. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376477>
- E.A. Fleishman. 1967. Performance Assessment Based on an Empirically Derived Task Taxonomy. *Human Factors* 9, 4, 349–366. <https://doi.org/10.1177/001872086700900408>
- E.A. Fleishman. 1972. On the relation between abilities, learning, and human performance. *American Psychologist* 27, 11, 1017–1032. <https://doi.org/10.1037/h0033881>
- S. Gustafson, D. Bierwirth, P. Baudisch. 2010. Imaginary Interfaces: Spatial Interaction with Empty Hands and without Visual Feedback. In *Proceedings of the*

- 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '10). ACM, New York, NY, USA, 3–12. <https://doi.org/10.1145/1866029.1866033>
- Hersh și Johnson, 2008 M.A. Hersh, M.A. Johnson. 2008. On Modelling Assistive Technology Systems. Part I: Modelling Framework. 20(3), 193–215. <https://doi.org/10.3233/TAD-2008-20303>
- Kasahara et al., 2019 S. Kasahara, J. Nishida, P. Lopes. 2019. Preemptive Action: Accelerating Human Reaction Using Electrical Muscle Stimulation Without Compromising Agency. In *Proc. of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI '19). ACM, New York, NY, USA, 1–15. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300873>
- Kyriakoullis și Zaphiris, 2016 L. Kyriakoullis, P. Zaphiris. 2016. Culture and HCI: A Review of Recent Cultural Studies in HCI and Social Networks. *Univers. Access Inf. Soc.* 15, 4 (Nov. 2016), 629–642. <https://doi.org/10.1007/s10209-015-0445-9>
- Langlotz et al., 2018 T. Langlotz, J. Sutton, S. Zollmann, Y. Itoh, H. Regenbrecht. 2018. ChromaGlasses: Computational Glasses for Compensating Colour Blindness. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI '18). ACM, New York, NY, USA, 1–12. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173964>
- Lavallière et al., 2017 M. Lavallière, L. D'Ambrosio, A. Gennis, A. Burstein, K.M. Godfrey, H. Waerstad, R.M. Puleo, A. Lauenroth, J.F. Coughlin. 2017. Walking a mile in another's shoes: The impact of wearing an Age Suit. *Gerontology & Geriatrics Education* 38, 2 (2017), 171–187. <https://doi.org/10.1080/02701960.2015.1079706>
- Magill și Anderson, 2014 R.A. Magill, D.I. Anderson. 2014. *Motor Learning and Control: Concepts and Applications* (10th Ed.). McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- Mann, 1999 S. Mann. 1999. Mediated Reality. *Linux Journal* 1999, 59es (March 1999), 5–es. <http://www.linuxjournal.com/article/3265>
- Milgram și Kishino, 1994 P. Milgram, F. Kishino. 1994. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems* E77-D, 12 (December 1994), 1321–1329. https://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e77-d_12_1321
- Mann și Barfield, 2003 S. Mann, W. Barfield. 2003. Introduction to Mediated Reality. *Int. J. of Human-Comp. Int.* 15 (2), 205–208. https://doi.org/10.1207/S15327590IJHC1502_1
- Mann et al., 2018 S. Mann, T. Furness, Y. Yuan, J. Iorio, Z. Wang. 2018. All Reality: Virtual, Augmented, Mixed (X), Mediated (X,Y), and Multimeditated Reality. arXiv:1804.08386 [cs.HC] <https://doi.org/10.1101/300000>
- Nishida et al., 2020 J. Nishida, S. Matsuda, H. Matsui, S.-Y. Teng, Z. Liu, K. Suzuki, P. Lopes. 2020. HandMorph: A Passive Exoskeleton That Miniaturizes Grasp. In *Proceedings of the 33rd ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (UIST '20). ACM, New York, NY, USA, 565–578. <https://doi.org/10.1145/3379337.3415875>
- Prattichizzo et al., 2014 D. Prattichizzo, M. Malvezzi, I. Hussain, G. Salvietti. 2014. The Sixth-Finger: A modular extra-finger to enhance human hand capabilities. In *Proceedings of the 23rd IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Comm.* 993–998. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2014.6926382>
- Popovici și Vatavu, I. Popovici, R.D. Vatavu. 2019. Understanding Users' Preferences for Augmented



- 2019 Reality Television. In *Proc. of the IEEE Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality*. IEEE, New York, NY, USA, 269–278. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2019.00024>
- Popovici *et al.*, 2021 I. Popovici, R.D. Vatavu, P. Feng, W. Wu. (2021). AR-TV and AR-Diànshì: Cultural Differences in Users' Preferences for Augmented Reality Television. *Proceedings of IMX '21, the ACM International Conference on Interactive Media Experiences*. ACM, New York, NY, USA, 50-60. <https://doi.org/10.1145/3452918.3458801>
- Ruiz și Vogel, 2015 J. Ruiz, D. Vogel. 2015. Soft-Constraints to Reduce Legacy and Performance Bias to Elicit Whole-Body Gestures with Low Arm Fatigue. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*. ACM, New York, NY, USA, 3347–3350. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702583>
- Sadek *et al.*, 2010 R. Sadek, D.M. Krum, M. Bolas. 2010. Simulating Hearing Loss in Virtual Training. In *Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference (VR '10)*. IEEE, USA, 299–300. <https://doi.org/10.1109/VR.2010.5444757>
- Schipor și Vatavu, 2018 O.A. Schipor, R.D. Vatavu. 2018. Invisible, Inaudible, and Impalpable: Users' Preferences and Memory Performance for Digital Content in Thin Air. *IEEE Pervasive Computing* 17(4), 76–85. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2018.2873856>
- Shein, 2019 E. Shein. 2019. Exoskeletons Today. *Commun. ACM* 62, 3 (2019), 14–16. <https://doi.org/10.1145/3303851>
- Siddaway *et al.*, 2019 A.P. Siddaway, A. M. Wood, L.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>
- Speicher *et al.*, 2019 M. Speicher, B.D. Hall, M. Nebeling. 2019. What is Mixed Reality?. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA, 1–15. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300767>
- Șean *et al.*, 2021 A.I. Șean, L.B. Bilius, R.D. Vatavu. (2021). Assistive Technology in the Synchrony between Ambient Intelligence and Mixed Reality for People with Motor Disabilities. *Proceedings of the 12th International Symposium on Ambient Intelligence*. Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, 10 pages
- Tong *et al.*, 2010 K.Y. Tong, S.K. Ho, P.K. Pang, X.L. Hu, W.K. Tam, K.L. Fung, X.J. Wei, P.N. Chen, Chen M. 2010. An intention driven hand functions task training robotic system. In *Proc. of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 3406–3409. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5627930>
- Ungurean și Vatavu, 2021 O.C. Ungurean, R.D. Vatavu. (2021). Coping, Hacking, and DIY: Reframing the Accessibility of Interactions with Television for People with Motor Impairments. *Proceedings of the ACM Int. Conference on Interactive Media Experiences*. ACM, New York, NY, USA, 37-49. <https://doi.org/10.1145/3452918.3458802>
- US Congress, 1988 100th US Congress. 1988. Technology-Related Assistance for Individuals with Disabilities Act. <https://www.congress.gov/bill/100th-congress/senate-bill/2561>

- Vatavu *et al.*, 2016 R.D. Vatavu, A. Mossel, C. Schönauer. 2016. Digital Vibrons: Understanding Users' Perceptions of Interacting with Invisible, Zero-Weight Matter. In *Proc. of the 18th Int. Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. ACM, New York, NY, USA, 217–226. <https://doi.org/10.1145/2935334.2935364>
- Vatavu, 2021 R.D. Vatavu. (2021). Accessibility of Interactive Television and Media Experiences: Users with Disabilities Have Been Little Voiced at IMX and TVX. *Proceedings of IMX '21, the ACM International Conference on Interactive Media Experiences*. ACM, New York, NY, USA, 218–222. <https://doi.org/10.1145/3452918.3465485>
- Vermeulen *et al.*, 2009 J. Vermeulen, J. Slenders, K. Luyten, K. Coninx. 2009. I Bet You Look Good on the Wall: Making the Invisible Computer Visible. In *Ambient Intelligence*. Springer, Berlin, 196–205. https://doi.org/10.1007/978-3-642-05408-2_24
- Vink *et al.*, 2015 L. Vink, V. Kan, K. Nakagaki, D. Leithinger, S. Follmer, P. Schoessler, A. Zoran, H. Ishii. 2015. TRANSFORM as Adaptive and Dynamic Furniture. In *Proceedings of the 33rd Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '15)*. ACM, New York, NY, USA, 183. <https://doi.org/10.1145/2702613.2732494>
- Vyas, 2019 D. Vyas. 2019. Altruism and Wellbeing as Care Work in a Craft-Based Maker Culture. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.* 3, GROUP, Article 239 (Dec. 2019), 12 pages. <https://doi.org/10.1145/3361120>
- Wobbrock *et al.*, 2011 J.O. Wobbrock, S.K. Kane, K.Z. Gajos, S. Harada, J. Froehlich. 2011. Ability-Based Design: Concept, Principles and Examples. *ACM Trans. Access. Comput.* 3, 3, Article 9 (April 2011), 27 pages. <https://doi.org/10.1145/1952383.1952384>
- Wobbrock *et al.*, 2018 J.O. Wobbrock, K.Z. Gajos, S.K. Kane, G.C. Vanderheiden. 2018. Ability-Based Design. *Commun. ACM* 61, 6 (May 2018), 62–71. <https://doi.org/10.1145/3148051>
- WHO, 2018 World Health Organization (WHO). 2018. Assistive technology. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology>
- Zhao *et al.*, 2019 Y. Zhao, E. Kupferstein, B.V. Castro, S. Feiner, S. Azenkot. 2019. Designing AR Visualizations to Facilitate Stair Navigation for People with Low Vision. In *Proc. of the 32nd ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '19)*. ACM, New York, NY, USA, 387–402. <https://doi.org/10.1145/3332165.3347906>

Director proiect,

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

