



Universitatea
Ștefan cel Mare
Suceava

SPECIFICAREA DE EXPERIENȚE INTERACTIVE PENTRU TELEVIZIUNEA CU REALITATE AUGMENTATĂ

Conducător Științific:

Prof.dr.ing. Radu-Daniel VATAVU

Doctorand

Ing. Irina POPOVICI

Suceava, România
2023

Această teză a fost realizată în cadrul Laboratorului de Mașini Inteligente și Vizualizarea Informației (MintViz) din Centrul integrat de cercetare, dezvoltare și inovare pentru Materiale Avansate, Nanotehnologii și Sisteme Distribuite de fabricație și control (MANSiD) al Universității “Ștefan cel Mare” din Suceava.

CUPRINS

1	Introducere	7
1.1	Contribuțiile lucrării de doctorat	7
1.2	Articole științifice publicate	8
2	Stadiul actual al tehnologiei în domeniul Realității Augmentate și Televiziunii interactive	10
2.1	Realitatea Augmentată	10
2.2	Televiziunea Interactivă și Realitatea Augmentată	10
3	Înțelegerea preferințelor utilizatorilor pentru Televiziunea cu Realitate Augmentată	11
3.1	Preferințele utilizatorilor pentru ARTV	11
3.1.1	Experiment	11
3.1.2	Rezultate	13
3.2	Diferențe culturale în preferințele utilizatorilor pentru ARTV	15
3.2.1	Context: Cultura și proiectarea sistemelor interactive	16
3.2.2	Experiment	16
3.2.3	Rezultate	16
4	Tehnici de interacțiune pentru Televiziunea cu Realitate Augmentată	19
4.1	Interacțiunea prin gesturi cu televizorul	19
4.1.1	Context: Brățara inteligentă Myo	19
4.1.2	O soluție bazată pe cuaternioni pentru recunoașterea gesturilor deictice cu Myo	19
4.1.3	Evaluarea utilizabilității interacțiunii prin gesturi în aer cu televizorul	22
4.2	Canale TV în buzunar! Conectarea Smart-Pockets la Smart TV	24
4.2.1	Context: Interacțiunea cu corpul și Smart-Pockets	24
4.2.2	O interfață imaginată pentru ARTV bazată pe Smart-Pockets	24
4.3	Hover: Hărți cognitive pentru interfețe utilizator imaginare și ARTV	25
4.3.1	Context: Interfețe imaginare și interacțiuni peripersonale	25
4.3.2	Hover	26
4.3.3	Experiment	26
4.3.4	Rezultate	27
5	Implicații pentru Televiziunea cu Realitate Augmentată	30
5.1	Oportunități de lucru pentru viitor	30
5.2	O agendă de cercetare pentru ARTV	31
6	Concluzii	34
	Mulțumiri	35
	Referințe	36

1 INTRODUCERE

În timp ce consumul de conținut TV s-a mutat treptat de la televiziunea tradițională, liniară la televiziunea la cerere, pe Internet și mobilă, ecranul TV a rămas relevant și predominant în peisajul vizionării TV. De exemplu, conform raportului Local Watch [69] realizat de Nielsen în 2017, 93% dintre cei care utilizează streaming se uită la televiziunea tradițională într-o zi obișnuită, iar previziunile Zenith din 2018 privind consumul de media [111] au raportat că televizorul a rămas dominant pe măsură ce creșterea de conținut media pe dispozitive mobile s-a stabilizat. De asemenea, șapte din zece televizoare vândute în întreaga lume sunt Smart TV, iar piața Smart TV se preconizează că va ajunge la 67 de miliarde de dolari americani până în 2025 [86]. În același timp, Realitatea Augmentată (AR) a evoluat de la un simplu concept și prototipuri din laboratoarele de cercetare [4, 63] la aplicații comerciale care pot fi descărcate și instalate cu ușurință pe telefoane smart, tablete și ochelari AR [1, 17, 56, 59], cu o piață globală care se așteaptă să crească la 9 miliarde de dolari americani până în 2027 [87]. În acest context, este rezonabil să ne așteptăm ca piețele Smart TV și AR să fuzioneze în cele din urmă pentru a le oferi utilizatorilor experiențe bogate de vizionare a programelor TV augmentate, *i.e.*, Televiziunea cu Realitate Augmentată (ARTV), formalizată pentru prima dată la nivel conceptual de Vatavu *et al.* [99] și evaluată empiric de către Popovici și Vatavu [75–77].

Având în vedere cele mai recente progrese în tehnologiile Smart TV și de divertisment pentru acasă [79], o varietate de aplicații au fost explorate în comunitatea științifică, de la aplicații care utilizează proiecții video în jurul ecranului TV [44, 45], utilizarea unui al doilea ecran [31, 38, 68], telecomenzi îmbunătățite pentru televizor [7, 92], comenzi vocale [81, 82] și interfețe bazate pe gesturi pentru controlul televizorului [27, 93, 100] la utilizarea dispozitivelor personale, cum ar fi telefoanele smart și tabletele care dispun de funcții dedicate pentru TV [13, 15, 53]. Cu toate acestea, în graba către inovația tehnologică, o întrebare fundamentală pare să fi fost neglijată: *Ce își doresc de fapt utilizatorii în ceea ce privește experiențele ARTV?* Literatura științifică privind AR și televiziunea interactivă (iTV) a tăcut prea mult timp asupra acestui aspect, ceea ce, din păcate, are un impact negativ asupra creării unei tehnologii AR eficiente, care poate aduce valoare atât utilizatorilor finali, cât și industriei TV.

În acest context, această teză de doctorat raportează rezultate empirice despre ceea ce își doresc utilizatorii în ceea ce privește experiențele ARTV, explorează dimensiunea culturală a ARTV, propune și evaluează experiențe interactive noi pentru ARTV și stabilește o agendă cu direcții de cercetare pentru ARTV. În această teză, prezint contribuții științifice la intersecția dintre AR și iTV, examinând preferințele utilizatorilor și propunând și evaluând aplicații specifice care utilizează interfețe bazate pe gesturi pentru a interacționa cu ARTV.

1.1 Contribuțiile lucrării de doctorat

Această teză aduce mai multe contribuții teoretice și practice, după cum urmează:

1. O analiză a stadiului actual al tehnologiei în domeniul ARTV, care a scos în evidență o predilecție a comunității științifice pentru augmentarea vizuală a experienței de vizionare TV în detrimentul altor modalități (Capitolul 2).
2. O analiză empirică a preferințelor și așteptărilor utilizatorilor în ceea ce privește ARTV, realizată pe un set de date de 6880 de observații colectate de la N=172 de participanți din Europa, care a dus la identificarea a opt scenarii ARTV cotate foarte bine (Capitolul 3).

3. O analiză empirică a contextului cultural al utilizatorilor în ceea ce privește preferințele și așteptările lor legate de ARTV, realizată pe un set de date suplimentar de 6027 observații colectate de la N=147 de participanți din China, care a informat implicații practice pentru proiectarea de experiențe ARTV care să țină cont de aspectele culturale (Capitolul 3).
4. O soluție tehnică bazată pe cuaternioni pentru recunoașterea gesturilor deictice înregistrate cu ajutorul unei brățări inteligente (Capitolul 4). De asemenea, a fost realizat un studiu cu N=10 participanți pentru a evalua gradul de uzabilitate perceput, dorința și solicitarea cognitivă a unei interfețe cu gesturi realizate în aer pentru controlul unui Smart TV (Capitolul 4).
5. O analiză empirică a acurateții brățării inteligente pentru gesturi deictice cu rază scurtă de acțiune cu ajutorul unui experiment controlat cu N=10 participanți, care a dezvăluit o limită superioară de 97.3% pentru nouă ținte (Capitolul 4).
6. O implementare a tehnicii de recunoaștere a gesturilor în aer pentru o interfață utilizator Smart TV care instanțiază conceptul de buzunare inteligente (*en.*: Smart-Pockets), în care utilizatorii stochează și accesează canalele TV preferate cu ajutorul unor gesturi deictice cu referire la corp către buzunare specifice (Capitolul 4).
7. O metodă de asociere între locațiile fizice și canalele TV, care a stat la baza proiectării Hover, o tehnică nouă de interacțiune pentru ARTV bazată pe conceptul de interfețe imaginare (Capitolul 4). De asemenea, a fost realizat un experiment controlat cu N=17 participanți pentru a analiza performanța utilizatorilor cu Hover, care a dezvăluit un prag de 20 cm pentru proiectarea configurațiilor de locații și limitele performanțelor de memorie și ale abilităților spațiale ale utilizatorilor de a își reaminti locațiile în aer și de a indica acele locații fără feedback vizual (Capitolul 4).
8. Implicații pentru ARTV cu un set de nouă recomandări organizate sub forma unei agende de cercetare bazate pe tehnologiile AR și Realitate Virtuală (VR), consolidate cu feedback din partea potențialilor utilizatori ai ARTV (Capitolul 5).

1.2 Articole științifice publicate

Rezultatele prezentate în această teză de doctorat au fost publicate în opt lucrări științifice, dintre care șase au fost indexate de Web of Science, două au fost publicate la conferințe A*, iar una a primit un premiu pentru cea mai bună lucrare.

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. În *ACM International Conference on Interactive Media Experiences (Virtual Event, USA) (IMX '21)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 50–60. DOI: <https://doi.org/10.1145/3452918.3458801>
Best Paper Award
2. **Irina Popovici**. 2020. Experimental Results on the Accuracy of the Myo Armband for Short-Range Pointing Tasks. În *Proceedings of the 2020 International Conference on Development and Application Systems (DAS '20)*. IEEE, 185–188. DOI: <https://doi.org/10.1109/DAS49615.2020.9108916>
WOS:000589776100034
3. **Irina Popovici**, Radu-Daniel Vatavu. 2019. Consolidating the Research Agenda of Augmented Reality Television with Insights from Potential End-Users. În *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*. 73–74.

DOI: <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2019.00033>

A* (ARC CORE) WOS:000530071200019

4. **Irina Popovici**, Radu-Daniel Vatavu. 2019. Understanding Users' Preferences for Augmented Reality Television. În *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. 269–278. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2019.00024>
A* (ARC CORE) WOS:000525841300027 Rată Acceptare: 22.1% (36/163)
5. **Irina Popovici**, Radu-Daniel Vatavu. 2019. Towards Visual Augmentation of the Television Watching Experience: Manifesto and Agenda. În *Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video (Salford (Manchester), United Kingdom) (TVX '19)*. ACM, New York, NY, USA, 199–204. DOI: <https://doi.org/10.1145/3317697.3325121>
WOS:000482136600020
6. **Irina Popovici**, Radu-Daniel Vatavu, Wenjun Wu. 2019. TV Channels in Your Pocket! Linking Smart Pockets to Smart TVs. În *Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video (Salford (Manchester), United Kingdom) (TVX '19)*. ACM, New York, NY, USA, 193–198. DOI: <https://doi.org/10.1145/3317697.3325119>
WOS:000482136600019
7. **Irina Popovici**, Ovidiu-Andrei Schipor, Radu-Daniel Vatavu. 2019. Hover: Exploring cognitive maps and mid-air pointing for television control. *International Journal of Human-Computer Studies* 129 (September 2019), 95–107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.03.012>
WOS:000472687700008 IF(2019)=3.163 IF 5 ANI(2019)=3.383
8. **Irina Popovici**, Radu-Daniel Vatavu. 2018. Perceived Usability, Desirability, and Workload of Mid-Air Gesture Control for Smart TVs. În *Proceedings of the 15th International Conference on Human Computer Interaction (RoCHI '18)*. MatrixRom, Bucharest, 91–98. <https://dblp.org/rec/conf/rochi/PopoviciV18>

2 STADIUL ACTUAL AL TEHNOLOGIEI ÎN DOMENIUL REALITĂȚII AUGMENTATE ȘI TELEVIZIUNII INTERACTIVE

Acest capitol prezintă o analiză a stadiului actual al cunoașterii în domeniul AR și iTV, care reprezintă un pas important în elaborarea acestei teze, deoarece oferă un studiu util pentru identificarea elementelor care reprezintă contribuții originale. În acest scop, prezint o imagine de ansamblu a aplicațiilor AR în funcție de tehnicile de interacțiune, urmată de o examinare a aplicațiilor iTV și ARTV. Am identificat lucrări relevante prin interogarea bazelor de date ACM Digital Library și IEEE Xplore, pe care le-am analizat prin prezentarea de prototipuri și recomandări de proiectare. Acest capitol prezintă, de asemenea, aplicații disponibile comercial. Făcând acest lucru, am observat o lacună în înțelegerea preferințelor utilizatorilor pentru ARTV, respectiv lipsa unei direcții clare pentru acest domeniu. În plus, multe dintre prototipurile prezentate utilizează dispozitive care necesită ca utilizatorii să rămână în raza de acțiune a unui senzor și nu au flexibilitate în ceea ce privește deplasarea în mediul fizic.

2.1 Realitatea Augmentată

Azuma *et al.* [3] a definit sistemele AR ca fiind cele care respectă următoarele trei proprietăți: (1) obiectele reale și virtuale sunt combinate în mediul real, (2) utilizatorul poate interacționa cu conținutul în timp real și (3) există o aliniere între obiectele reale și cele virtuale.

Această subsecțiune prezintă o imagine de ansamblu a aplicațiilor de AR pe baza tehnicilor lor de interacțiune, începând cu AR vizual, AR auditiv, AR haptic, și este urmată de o analiză a interfețelor utilizator invizibile și imaginare.

2.2 Televiziunea Interactivă și Realitatea Augmentată

Un raport realizat de IFIP TC14.6 [41] a identificat două definiții de nivel înalt pentru iTV ca artefact sau experiență caracterizată prin următoarele: iTV este compus dintr-o combinație de clipuri video editate în prealabil (care pot avea o narațiune liniară sau în care utilizatorul are un nivel de contribuție scăzut sau ușor) și grafică dinamică (utilizată pentru suprapuneri video).

Vatavu *et al.* [99] a propus prima conceptualizare a ARTV prin construirea pe baza Continuumul Realitate-Virtualitate definit de Milgram *et al.* [61, 62], pe care l-au adaptat pentru cele două dimensiuni, *lume* și *TV*, ale spațiului lor conceptual ARTV. Vatavu *et al.* [99] a identificat, de asemenea, mai multe posibilități pentru sistemele și aplicațiile ARTV, și a descris conexiunile dintre ARTV ca domeniu de cercetare distinct, și televiziunea 3D, mediile ambientale și realitățile multimedia alternative.

Această subsecțiune este dedicată prezentării sistemelor iTV și ARTV prin etalarea aplicațiilor și prototipurilor dezvoltate de comunitatea științifică pentru a crea o experiență mai bună de vizionare a programelor TV. Sistemele ARTV discutate sunt clasificate în aplicații bazate pe recunoaștere gestuală, ARTV cu stimuli vizuali și ARTV pentru alte simțuri.

3 ÎNȚELEGEREA PREFERINȚELOR UTILIZATORILOR PENTRU TELEVIZIUNEA CU REALITATE AUGMENTATĂ

Comunitatea științifică a ajuns la un punct în care a realizat oportunitatea ARTV [2, 6, 14, 44, 95, 96], dar nu a acordat atenție preferințelor utilizatorilor legate de tipul de experiențe ARTV la care se așteaptă, pe care le percep ca fiind valoroase și de care s-ar bucura în timpul vizionării TV. După cum subliniază Wobbrock *et al.* [106], care a analizat diferențele dintre gesturile propuse de experți și utilizatori, sau lucrarea Ventä-Olkkonen *et al.* [101] privind așteptările utilizatorilor legate de conținutul AR pentru dispozitive mobile, înțelegerea a ceea ce își doresc utilizatorii și obținerea feedback-ului acestora sunt aspecte importante care trebuie luate în considerare pentru proiectarea interfețelor utilizator.

În plus, pe măsură ce ARTV ia amploare, este esențial să se înțeleagă dacă diferențele culturale dintre utilizatori favorizează așteptări și preferințe diferite pentru ARTV. În acest context, apar mai multe întrebări de cercetare: *Persoane din medii culturale diferite se așteaptă la același tip de experiențe immersive de la conținutul și aplicațiile AR pentru TV? Sau preferințele și așteptările lor diferă în funcție de caracteristicile și valorile culturilor în care s-au născut și au crescut?* Astfel, scopul acestui capitol este de a aduce la lumină preferințele utilizatorilor pentru experiențele ARTV.

3.1 Preferințele utilizatorilor pentru ARTV

Pentru a înțelege ceea ce își doresc utilizatorii și a obține feedback-ul lor, am examinat preferințele utilizatorilor pentru ARTV și raportez concluziile unui studiu exploratoriu cu N=172 de participanți, realizat pentru a înțelege valoarea percepută a douăzeci de scenarii ARTV distincte. Din cunoștințele mele, acest studiu reprezintă primul sondaj la scară largă care a analizat ceea ce utilizatorii doresc și consideră valoros în ceea ce privește ARTV, un pas important pentru a informa dezvoltarea viitoare a ARTV.

3.1.1 Experiment

În această secțiune, prezint un experiment conceput pentru a colecta preferințele utilizatorilor pentru ARTV.

Participanți

Numărul de participanți validați care a fost luat în considerare pentru analiză a fost N=172. Vârstele participanților au variat între 17 și 70 de ani ($M=26.2$, $SD=7.3$ ani), iar 63 (36.6%) au fost de gen feminin. Ocupațiile participanților au inclus o diversitate de industrii sau studenți de diferite discipline.

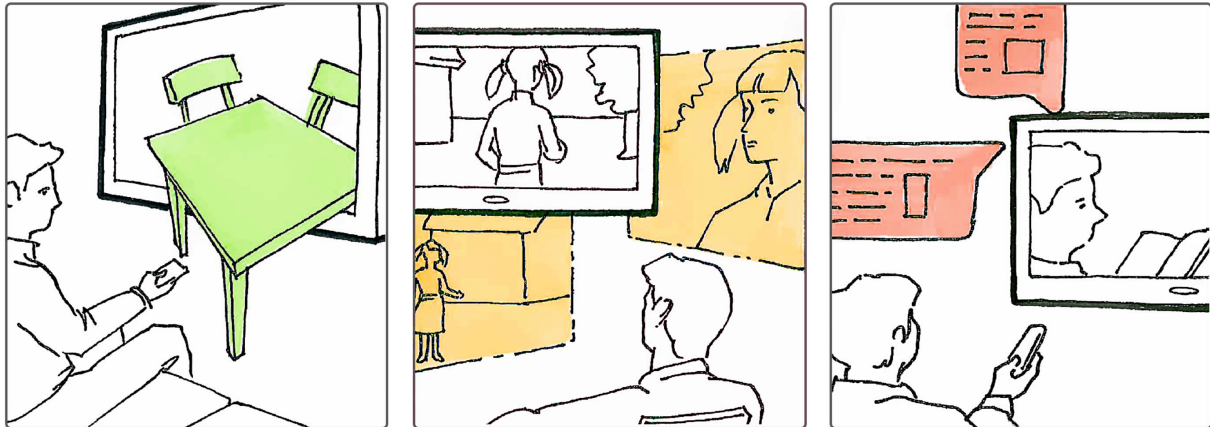


Figura 3.1: Ilustrații a trei dintre cele douăzeci de scenarii examinate pentru a descoperi preferințele utilizatorilor și valoarea percepută a ARTV: obiecte virtuale care ies din ecranul TV (imaginea din stânga), vizionarea unor perspective diferite ale aceleiași scene de film (imaginea din mijloc) și accesul la conținut suplimentar, cum ar fi numele personajelor dintr-un film, afișat lângă ecranul TV (imaginea din dreapta). *Notă:* Ilustrații originale realizate de Florin Gheorghiu.

Sarcină

Participanții au completat un chestionar Google Forms, care a colectat informații demografice, precum și înțelegerea și percepția generală a participanților cu privire la AR, experiența cu aplicațiile AR, utilizarea regulată a dispozitivelor inteligente, comportamentul de vizionare TV și valoarea percepută a douăzeci de scenarii distincte selectate pentru ARTV. În anumite momente specifice din timpul chestionarului, participanților li s-a cerut să vizioneze patru videoclipuri YouTube care demonstau diverse scenarii ARTV și care ofereau mai mult context pentru participanții care nu avuseseră niciun contact anterior cu AR sau ARTV.

Ipoteze

Deoarece acest studiu reprezintă prima explorare a preferințelor utilizatorilor și a înțelegerii ARTV, acesta a fost proiectat pentru a fi *explorator* mai degrabă decât *orientat spre ipoteze*. În acest fel, “flexibilitatea în căutarea datelor și deschiderea cu privire la locul unde să le găsim”, ambele calități ale conceptelor de studii exploratorii [88], au fost adoptate pentru a aduna informații utile pentru a informa explorările ulterioare.

Măsuri

Chestionarul a fost împărțit în cinci secțiuni:

1. **Informații demografice.** Participanții au furnizat informații despre vârsta, genul și ocupația lor. De asemenea, au raportat dispozitivele pe care le foloseau în mod regulat.
2. **Comportamentul de vizionare TV** a fost evaluat cu ajutorul următoarelor măsuri auto-raportate:
 - (a) ORE-PRETRECUTE-LA-TV, variabilă de raport, reprezintă numărul de ore pe zi petrecute în fața TV-ului, indiferent de dispozitivul, serviciul și contextul de vizionare.
 - (b) GENURI-TV, variabilă nominală, reprezintă genurile vizionate în mod regulat de către participanți, selectate dintr-o listă predefinită.

- (c) AL-DOILEA-ECRAN, variabilă ordinală (o scală Likert în 5 puncte, de la “1, niciodată” la “5, întotdeauna”), măsoară frecvența cu care participanții au folosit un alt dispozitiv atunci când se uitau la TV.
 - (d) CONTEXT-VIZIONARE-TV raportează modul în care participanții se uitau de obicei la TV: *de unul singur, cu prietenii, cu familia, și altul.*
3. **Percepția generală a tehnologiei AR** a fost colectată folosind următoarele măsuri:
- (a) ÎNȚELEGERE-AR, o descriere în formă liberă a modului în care participanții înțeleg AR.
 - (b) IMPORTANTĂ-AR, variabilă ordinală, o evaluare pe o scară Likert în 5 puncte a importanței percepute a AR pentru participanți, de la “1, deloc important” la “5, foarte important”.
 - (c) EXPERIENȚĂ-AR, variabila ordinală (o scală Likert în 5 puncte, de la “1, deloc” la “5, în mare măsură”), măsoară gradul de experiență a participanților în ceea ce privește dispozitivele și aplicațiile AR. De asemenea, în această etapă au fost obținute și exemple de aplicații AR pe care participanții le-au folosit înainte de studiu.
4. **Percepția ARTV**, pentru care participanții au evaluat următoarele caracteristici ale ARTV folosind scări Likert în 5 puncte (de la “1, total dezacord” la “5, total de acord”):
- (a) UTILITATE, ca reacție la afirmația “ARTV este util”.
 - (b) INFORMATIV, “ARTV este informativ”.
 - (c) DEZIRABIL, “ARTV este ceva ce îmi doresc pentru mine”.
 - (d) EFORT-COGNITIV, “ARTV este un efort cognitiv inutil în timpul vizionării TV”.
 - (e) DISTRACTIV, “ARTV este distractiv”.
 - (f) INTERACȚIUNE-SOCIALĂ, “ARTV poate ajuta persoanele din locații îndepărtate să se bucure de interacțiune socială în timp ce se uită la TV”.
 - (g) DERANJANT, “ARTV este deranjant”.
 - (h) VIITOR, “ARTV este viitorul televiziunii”.
5. **Preferința pentru scenarii de aplicare pentru ARTV.** Participanților li s-a cerut să evalueze valoarea percepută a douăzeci de scenarii distincte selectate pentru ARTV. Evaluările au fost făcute folosind scări Likert în 5 puncte, de la “1, deloc valoros” la “5, foarte valoros”.

3.1.2 Rezultate

Următoarele subsecțiuni prezintă rezultatele analizei.

Reprezentativitatea eșantionului de participanți

Rezultatele acestui studiu au fost obținute de la participanți (i) dintr-o varietate de grupe de vârstă (participanții de gen feminin au avut între 17 și 50 de ani, iar cei de gen masculin între 18 și 70 de ani), (ii) cu distribuții de vârstă similare pentru bărbați și femei (Wilcoxon $W=3724$, $p=.354$, *n.s.* și testul Kolmogorov-Smirnov $D=0.155$, $p=.254$, *n.s.*), în timp ce (iii) opiniile grupului de vârstă cel mai probabil să adopte și să utilizeze tehnologia AR, *i.e.*, tinerii cu vârsta sub 35 de ani, au primit o mai mare reprezentativitate în eșantion. În plus, (iv) utilizarea dispozitivelor inteligente potrivite pentru redarea AR a fost covârșitoare, 93.6% acoperire pentru telefoane smart, 33.1% pentru Smart TV-uri și 19.1% pentru tablete.

Experiența cu tehnologia AR

Cei mai mulți dintre participanți au fost fie *fără experiență* (33.7%), fie *cu foarte puțină experiență* cu AR (39.0%). Un număr de 36 de participanți (20.9%) s-au considerat ca fiind *cu o oarecare experiență*, în timp ce 10 participanți (5.8%) au raportat *o bună experiență* cu AR. Doar un singur participant a declarat că este *experimentat în mare măsură*. Cu toate acestea, atunci când li s-a cerut să evalueze importanța AR, doar patru participanți (2.3%) au considerat că AR este *nu este important* și 26 (15.1%) au considerat că AR este *ușor important*, în timp ce 53 (30.8%) au raportat că AR este *moderat important*, 64 (37.2%) *important* și 25 de participanți (14.5%) au răspuns că AR este *foarte important* pentru ei.

În general, definițiile oferite de participanți, *i.e.*, măsura ÎNȚELEGERE-AR, confirmă o bună înțelegere a AR pentru grupurile #2, #3, #4 și #5, precum și pentru unii dintre participanții din primul grup (*fără experiență*). Participanții mai neexperimentați (grupurile #1, #2 și #3) au folosit mai des cuvinte precum “realitate”, “real” sau “virtual”, în timp ce grupurile cu experiență mai mare, începând cu grupul #2 (*cu foarte puțină experiență*), au folosit mai mulți termeni tehnici precum “digital”, “afișaj” sau “marker”.

Comportamentul de vizionare TV

Participanții au declarat că petrec, în medie, 2.7 ore pe zi (SD=1.7 ore) uitându-se la TV sau la videoclipuri pe Internet, cum ar fi canale YouTube. Primele trei genuri TV preferate au fost *filme, știință și tehnologie și documentare* (72.0%, 67.4% și 63.3%), în timp ce cele mai puțin preferate au fost *realitatea TV, televiziunea religioasă și telenovelele* (8.7%, 7.5% și, respectiv, 2.3%). Atunci când li s-a cerut să raporteze alte dispozitive utilizate în timpul vizionării TV, 19 participanți (11.0%) au ales opțiunea *niciodată*, 49 (28.5%) *rareori*, 60 (34.9%) *uneori*, 33 (19.2%) *foarte des*, iar 11 participanți (6.4%) au raportat că *întotdeauna* utilizează un dispozitiv inteligent atunci când se uită la TV.

Percepții despre ARTV

Cel mai mare punctaj a fost obținut de caracteristica DISTRACTIV, cu un scor mediu de 4.24. De asemenea, participanții au considerat că AR este “viitorul” TV (scor mediu de 3.98), probabil pentru că AR a fost perceput ca fiind foarte INFORMATIV (3.91), UTIL (3.87) și cu capacitatea de a media INTERACȚIUNEA-SOCIALĂ (3.74). Aceste percepții au condus la un nivel de DEZIRABILITATE pentru ARTV peste medie (3.72). Măsurile DERANJANT și EFORT-COGNITIV au avut evaluări medii scăzute, *i.e.*, 2.38 și, respectiv, 2.58. Aceste rezultate arată o percepție pozitivă a ARTV.

Preferințele pentru și valoarea percepută a ARTV

Scenariul cu cea mai mare valoare percepută a fost interacțiunea cu conținutul AR afișat în jurul sau în fața TV-ului (Mdn=4.0, M=4.01, M_{.20}=4.22), ceea ce arată un interes puternic pentru consumul de conținut TV activ (*en.*: lean-forward) în loc de pasiv (*en.*: lean-back). Următorul scenariu a fost afișarea de conținut suplimentar, cum ar fi numele personajelor sau detalii despre emisiune, lângă TV (Mdn=4.00, M=3.72, M_{.20}=3.80). Acest rezultat se potrivește bine cu practicile actuale de utilizare a unui al doilea ecran în timpul vizionării TV [30,31,38,68,83], observată și în răspunsurile participanților, *i.e.*, 60.5% dintre participanți au declarat că folosesc dispozitive inteligente *uneori, foarte des* sau *întotdeauna* atunci când se uită la TV.

Scenariile care implică proiecții video au fost percepute ca fiind valoroase (Mdn=4.0, M=3.70, M_{.20}=3.82), fiind clasate pe locurile 3 și 4. De asemenea, participanții au apreciat

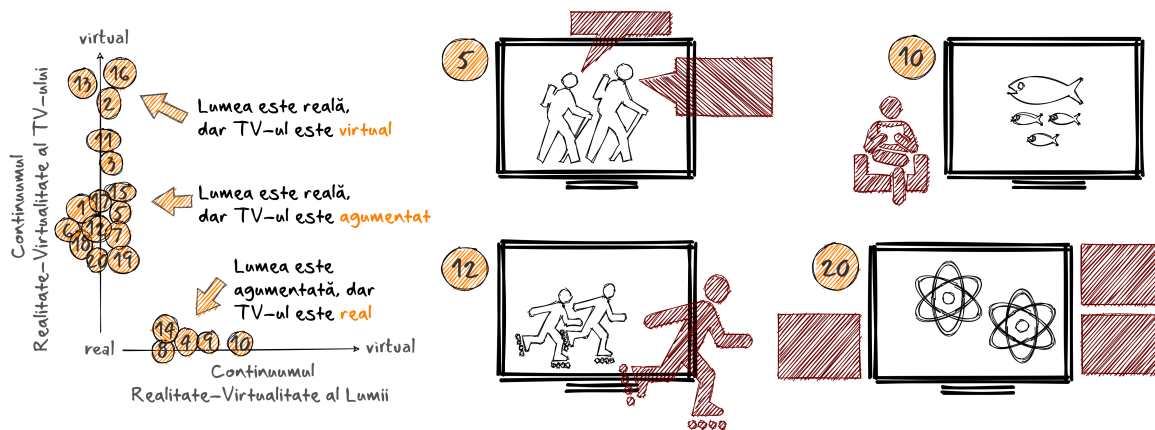


Figura 3.2: Ilustrații ale mai multor scenarii pentru ARTV [76] examinate în acest studiu: 5) conținut suplimentar, cum ar fi numele personajelor, afișat lângă TV, 10) reprezentare 3D în direct a utilizatorilor de la distanță care se uită la același program TV, 12) personaje care ies din ecranul TV și 20) canale TV virtuale proiectate lângă ecranul TV. În stânga, aceste scenarii sunt poziționate în spațiul ARTV definit de Vatavu *et al.* [99].

obiectele virtuale care ies din ecranul TV (Mdn=4.0, M=3.66, M₂₀=3.85) semnificativ mai valoroase decât personajele (Mdn=4.00, M=3.46, M₂₀=3.51, V=1163, p<.01). În plus, scenarii precum cele care implică perspective diferite ale emisiunii TV, cum ar fi un film înregistrat din unghiuri diferite, afișate lângă TV (Mdn=4.0, M=3.66, M₂₀=3.71) sau canalele TV afișate lângă diferite obiecte fizice din cameră (Mdn=4.0, M=3.62, M₂₀=3.74) au fost, de asemenea, percepute ca fiind valoroase, ambele fiind plasate în prima jumătate a clasamentului, pe pozițiile 6 și 8.

Scenariile cu cea mai mică valoare percepută, totuși peste “3, moderat valoros”, au fost subtitrarea filmelor (locul 18) și alte canale TV afișate lângă sau în fața ecranului TV (locurile 19 și 20). O posibilă explicație a acestui rezultat este că astfel de scenarii ar necesita un efort cognitiv suplimentar pentru a percepe conținutul adițional. Scenariul ARTV privind afișarea de imagini video în direct sau reprezentări 3D ale prietenilor aflați la distanță care se uită la același canal TV a avut, de asemenea, un scor scăzut (locul 17, Mdn=3.0, M=3.27, M₂₀=3.32), un rezultat care se potrivește cu faptul că majoritatea participanților (87.8%) au declarat că se uită singuri la TV.

3.2 Diferențe culturale în preferințele utilizatorilor pentru ARTV

Figura 3.2 ilustrează clasificarea celor douăzeci de scenarii ARTV în spațiul conceptual ARTV [99] cu o reprezentare vizuală a unora dintre ele. Pentru a oferi răspunsuri preliminare dacă impactul cultural este relevant în contextul proiectării interfețelor utilizator ARTV, a fost realizat acest studiu, care are următoarele contribuții practice:

1. Un studiu exploratoriu cu N=147 de participanți din China pentru a solicita înțelegerea lor cu privire la tehnologia AR în general și preferințele pentru scenariile ARTV în special. Acest studiu reprezintă o *generalizare empirică* a studiului prezentat în Secțiunea 3.1 [76].
2. O comparație a rezultatelor acestui studiu cu cele raportate anterior [76] și o evidențiere a asemănărilor și diferențelor.

3.2.1 Context: Cultura și proiectarea sistemelor interactive

Se cunoaște faptul că mediul și cultura în care cineva s-a născut și a crescut determină credințe și percepții diferite cu privire la viață în general, precum și preferințe legate de utilizarea tehnologiei și interacțiunea cu tehnologia în special; a se vedea Kyriakoullis și Zaphiris [51] pentru un studiu despre “Cultură și HCI” și discuția lor despre legătura dintre cultură și proiectarea de interacțiune. De exemplu, în domeniul dronelor, studiul E *et al.* [28] a raportat diferențe culturale între utilizatorii din SUA și China care evidențiază preferințe diferite pentru gesturi pentru a interacționa cu dronele personale în comparație cu starea de fapt (status-quo) [18]. Un alt exemplu este Wu *et al.* [107], care a raportat preferințe diferite ale utilizatorilor pentru a interacționa în interiorul vehiculului, în VR și cu TV-ul, în funcție de cultura lor.

3.2.2 Experiment

În această secțiune, prezint configurația experimentală.

Domeniul de aplicare și caracteristicile studiului

Conform cadrului definit de Whitefield *et al.* [105] pentru metodele de evaluare a factorilor umani, acest studiu implementează un *Raport al utilizatorului*, în care utilizatorilor *reali* li se prezintă un sistem interactiv *reprezentativ*.¹ Conform cadrului metodelor de cercetare a utilizatorilor lui Rohrer [84], acest studiu se încadrează în categoriile *atitudinal*, *calitativ* și *de-contextualizat*. De asemenea, acest studiu implementează o replicare a [76] folosind aceeași temă și aceleași metode de analiză, dar cu o nouă populație. Din această perspectivă, am realizat o *generalizare empirică* [91].

Participanți

Răspunsurile a N=147 de participanți validați au fost utilizate în această analiză; 128 au fost participanți de gen masculin cu vârste cuprinse între 19 și 25 de ani (M=20.6), iar 19 au fost femei cu vârste cuprinse între 18 și 22 de ani (M=19.3). Studiile și profesiile participanților au fost diverse. La fel ca în [76], acest eșantion conține adulți tineri, mai predispuși să adopte tehnologiile noi.

Sarcină

Participanții au fost rugați să completeze un chestionar Wjx² care a urmat aceeași structură ca și chestionarul din [76]. Datele au fost colectate la aproximativ 1-1.5 ani după [76].

3.2.3 Rezultate

Această secțiune prezintă rezultatele analizei.

Utilizarea dispozitivelor inteligente

Dispozitivele cele mai utilizate zilnic au rămas aceleași, *telefonul smart*, *laptop-ul* și *calculatorul personal* menținându-și pozițiile de top. *Telefonul smart* a fost cel mai utilizat dispozitiv

¹Calculator în formularea originală a lui Whitefield *et al.* [105].

²Studiul original [76] a fost implementat cu Google Forms, care a fost dificil de accesat de către participanții din China, așa că a fost folosit <https://www.wjx.cn>.

inteligent, raportat de ambele grupuri culturale (85.7% și, respectiv, 93.6%). De asemenea, în timp ce doar unul din șase participanți din China a raportat utilizarea regulată a *Smart TV-ului*, răspunsurile participanților din Europa au indicat că unul din trei folosea în mod regulat *Smart TV-ul* (15.6% vs. 33.1%, $p < .001$, $V = .201$).

Experiența cu AR și percepțiile despre tehnologia AR în general

Cei mai mulți participanți din ambele grupuri culturale au fost fie *fără experiență*, fie au avut *foarte puțină experiență* cu AR (29.9% și 40.1% pentru China și, respectiv, 33.7% și 39.0% pentru Europa) și aproximativ unul din trei participanți (30% pentru China și 27.3% pentru Europa) a avut cel puțin *o oarecare experiență* cu tehnologia AR. Nivelul ușor mai mare de experiență declarat de participanții din China poate fi explicat prin faptul că aplicațiile populare pentru telefoane smart din China încorporează funcții AR. Cu toate acestea, participanții din China au considerat tehnologia AR mai puțin importantă pentru ei ($M = 3.05$ pe o scară de la 1 la 5) decât participanții din Europa ($M = 3.47$). În ceea ce privește răspunsurile participanților cu privire la înțelegerea tehnologiei AR, am identificat aceleași tipare raportate anterior [76].

Comportamentul de vizionare TV

Participanții din China au raportat că petrec în medie 2.5 ore ($SD = 1.9$) pe zi vizionând videoclipuri la TV și pe Internet, un rezultat similar cu cel din studiul original [76] cu participanți din Europa ($M = 2.7$, $SD = 1.7$ ore). Participanții din China au raportat că folosesc mai des un al doilea ecran în timp ce se uită la TV decât participanții din Europa ($p = .023$). În ceea ce privește genurile TV, au existat mai multe diferențe. Cele mai preferate genuri TV raportate de participanții din China au fost *desene, filme și știri*. Legat de contextul în care se uită la TV, majoritatea participanților din China și Europa au declarat că se uită la TV *de unii singuri*, 88.4% și, respectiv, 87.8%. Cu toate acestea, participanții din China au avut procente mai mici pentru celelalte opțiuni (*cu prietenii și cu familia*). Acest rezultat este surprinzător ținând cont de natura colectivistă a culturii chineze [51].

Percepțiile privind caracteristicile ARTV

Ambele grupuri culturale au considerat că ARTV este *distractiv* (4.04 și 4.24 dintr-un maxim de 5), facilitând *interacțiunea socială* (3.80 și 3.74), *informativ* (3.78 și 3.91) și *dezirabil* (3.54 și, respectiv, 3.72)—toate cu note medii peste 3. Atât descrierile *efort cognitiv*, cât și *deranjant* ale ARTV au fost evaluate sub 3, ceea ce arată că participanții au fost mai degrabă în dezacord cu astfel de caracterizări. Cu toate acestea, aceste două descrieri au avut scoruri ușor mai mari în cazul participanților din China, ceea ce poate fi legat de faptul că aplicațiile populare pentru telefoane smart din China încorporează caracteristici AR.

Preferințe pentru scenarii ARTV

Evaluarea medie a celor douăzeci de scenarii pentru ARTV calculată pentru participanții din China este peste pragul neutru 3 și aproape de evaluarea medie a participanților din Europa: 3.51 ($SD = 0.55$) vs., respectiv, 3.49 ($SD = 0.62$). Rezultatele arată că, în medie, aceeași valoare percepută a fost găsită în cele două grupuri pentru scenariile ARTV examinate în această lucrare, cu evaluări medii foarte apropiate. Cu toate acestea, interacțiunea semnificativă din punct de vedere statistic ($p < .001$) detectată între variabilele *grup* și *scenariu* sugerează că ordonarea relativă a valorilor percepute a scenariilor ARTV este diferită în cadrul fiecărui grup cultural.

Similitudini culturale legate de așteptările și preferințele pentru ARTV

Scenariul ARTV cel mai bine cotate de ambele grupuri, China și Europa, a fost scenariul 1, care prevede controlul și interacțiunea cu conținutul AR afișat în jurul sau în fața ecranului TV ($M=3.79$ și, respectiv, $M=4.01$). Următorul scenariu cel mai bine evaluat de participanții din China a fost 2, care descrie canale TV afișate lângă obiecte fizice din cameră, cum ar fi canalul meteo lângă fereastră, pentru care scorul mediu a fost foarte apropiat de cel al participanților din Europa (3.66 și, respectiv, 3.62). Împreună cu celelalte scenarii care prezintă afișarea conținutului lângă TV sau lângă alte obiecte, acest rezultat se leagă bine și de utilizarea celui de-al doilea ecran raportată de participanții din China, *i.e.*, 76.7% au declarat că *întotdeauna, foarte des sau uneori* folosesc un dispozitiv inteligent, cum ar fi telefonul smart, atunci când se uită la TV. Scenariul 3, vizionarea unor perspective diferite ale aceleiași scene de film înregistrate din unghiuri diferite, a primit evaluări medii la fel de apropiate (3.64 și 3.66), ca și scenariul 13, care descrie situația în care conținutul TV este afișat atât de aproape de utilizator încât acesta ar putea să-l atingă (evaluări medii de 3.52 și, respectiv, 3.50). La capătul opus al listei, scenariile 19 și 20, care descriu mai multe canale TV virtuale afișate în fața sau lângă TV-ul convențional, au fost considerate cele mai puțin preferate de ambele grupuri.

Un rezultat interesant care a fost reprodus cu participanții din China se referă la scenariile în care conținutul virtual, fie obiecte (locul 7) sau personaje (locul 12), iese din ecranul TV și intră în cameră. Aceste scenarii au fost plasate pe locurile 5 și, respectiv, 12, de către participanții din Europa [76].

Diferențe culturale legate de așteptările și preferințele pentru ARTV

Nouă din cele douăzeci de scenarii (45%) au fost clasate la o diferență de cel puțin cinci poziții față de ordinea de clasare din studiul original [76]. De exemplu, participanții din China s-au arătat mai puțin interesați de scenariile ARTV care implicau câmpuri vizuale mai mari create cu proiecții video, fie pe peretele din spatele TV-ului (locul 11), fie în întreaga cameră (locul 16). În schimb, aceste scenarii au ocupat pozițiile 3 și 4 în preferințele participanților din Europa [76]. Un alt exemplu este scenariul 10, care descrie situația în care o înregistrare video în direct sau o reprezentare 3D a prietenilor, care nu se află în aceeași cameră, dar care urmăresc aceeași transmisie TV, ar fi reprezentată în AR. Acest scenariu a fost poziționat pe locul 17 în studiul [76], dar 10 în studiul de replicare. Acest rezultat se leagă de caracteristica colectivistă a culturii chineze, evidențiată de Kyriakoullis și Zaphiris [51] în prezentarea lor generală a culturii în HCI, precum și scorul scăzut (20 din 100) de individualism³ observat pentru cultura chineză, conform dimensiunilor lui Hofstede [37]. Un alt exemplu de disimilaritate este scenariul 4, care descrie situația în care în jurul ecranului TV sunt disponibile linkuri către conținut suplimentar, cum ar fi fotografii, care a fost clasat pe poziția 13 de către participanții din Europa [76].

³Perspectivile lui Hofstede, <https://www.hofstede-insights.com/country-comparison/china/>

4 TEHNICI DE INTERACȚIUNE PENTRU TELEVIZIUNEA CU REALITATE AUGMENTATĂ

În acest capitol, prezint trei prototipuri pentru specificarea experiențelor interactive pentru ARTV, începând cu un experiment suplimentar [72] care s-a axat pe acuratețea sarcinilor de indicare cu rază scurtă de acțiune pentru brățara inteligentă Myo [52].

4.1 Interacțiunea prin gesturi cu televizorul

În urma examinării interfețelor de indicare și de gesturi concepute pentru Smart TV, am observat că multe interfețe utilizator se folosesc de dispozitive fixe pentru a înregistra acțiunile utilizatorilor. Dispozitivele fixe care înregistrează mișcările corpului și gesturile utilizatorilor au multe limitări, deoarece utilizatorii trebuie să se asigure că se află în raza de detecție pentru ca gesturile să fie detectate în mod eficient. Astfel, existența unui dispozitiv atașat de corpul utilizatorului ar putea rezolva astfel de limitări și, în acest sens, am utilizat o brățară inteligentă Myo [52] pentru prototipurile descrise în acest capitol.

4.1.1 Context: Brățara inteligentă Myo

Brățara inteligentă Myo [52] este un dispozitiv purtabil (*en.*: wearable) pentru recunoașterea de gesturi, care cântărește doar 93 de grame. Myo este echipat cu opt senzori de electromiografie (EMG), care raportează activitatea electrică a mușchilor antebrațului și permit detectarea poziției mâinii și a gesturilor efectuate cu mâna și degetele. Configurația implicită a dispozitivului recunoaște cinci tipuri de gesturi: *tap dublu*, *degete depărtate*, *mâna spre dreapta*, *mâna spre stânga* și *pumn* [52]. Cu ajutorul unității de măsurare inerțială (IMU), Myo recunoaște gesturile 3D în aer prin procesarea orientării și accelerației mâinii. Myo se conectează prin Bluetooth, oferă feedback vibrotactil și este alimentat de un procesor ARM Cortex M4. Deși producția s-a întrerupt, Myo rămâne un dispozitiv purtabil remarcabil pentru captarea gesturilor degetelor, mâinii și brațului.

Myo a fost utilizat într-o varietate de domenii, de la asistență medicală [49, 54, 65, 66, 89, 112] la VR și AR [66, 90] și interfețe utilizator gestuale [24, 47, 50]. Cu toate acestea, Myo are unele limitări, după cum a arătat Kerber *et al.* [47], care a efectuat un experiment pentru a evalua acuratețea recunoașterii celor cinci gesturi implicite ale lui Myo și a raportat doar 68%. Autorii au propus un algoritm îmbunătățit pentru 40 de gesturi cu o precizie de recunoaștere de 98%.

4.1.2 O soluție bazată pe cuaternioni pentru recunoașterea gesturilor deictice cu Myo

Myo [52] raportează orientarea mâinii la un moment t sub forma unui cuaternion:

$$q_t = (w_t, x_t, y_t, z_t) \in [0, 1]^4 \quad (4.1)$$

Atunci când Myo este utilizat în modul de indicare, cuaternionii trebuie corecțați prin aplicarea unui decalaj în raport cu o locație fixă cunoscută în spațiu:

$$q_{\text{offset}} = (w_{\text{offset}}, x_{\text{offset}}, y_{\text{offset}}, z_{\text{offset}}) \quad (4.2)$$

Decalajul este o locație fixă cunoscută, stabilită pentru fiecare utilizator în timpul unei faze de calibrare scurte, în timpul căreia utilizatorul i se cere să îndrepte brațul spre o anumită locație. Decalajul se aplică prin înmulțirea cuaternionului q_t (Ecuația 4.1) raportat la un moment t cu q_{offset} (Ecuația 4.2)⁴:

$$\begin{aligned} w_r &= w_{\text{offset}} \cdot w_t - x_{\text{offset}} \cdot x_t - y_{\text{offset}} \cdot y_t - z_{\text{offset}} \cdot z_t \\ x_r &= w_{\text{offset}} \cdot x_t + x_{\text{offset}} \cdot w_t + y_{\text{offset}} \cdot z_t - z_{\text{offset}} \cdot y_t \\ y_r &= w_{\text{offset}} \cdot y_t - x_{\text{offset}} \cdot z_t + y_{\text{offset}} \cdot w_t + z_{\text{offset}} \cdot x_t \\ z_r &= w_{\text{offset}} \cdot z_t + x_{\text{offset}} \cdot y_t - y_{\text{offset}} \cdot x_t + z_{\text{offset}} \cdot w_t \end{aligned} \quad (4.3)$$

Pentru a calcula distanța dintre doi cuaternioni corecțați, am folosit această formulă [40]:

$$d(q_1, q_2) = 1 - \langle q_1, q_2 \rangle^2 \quad (4.4)$$

unde $\langle q_1, q_2 \rangle$ este produsul intern:

$$\langle q_1, q_2 \rangle = w_1 \cdot w_2 + x_1 \cdot x_2 + y_1 \cdot y_2 + z_1 \cdot z_2 \quad (4.5)$$

În funcție de aplicație, rezultatele pot fi convertite în unghiuri pentru calcule ulterioare:

$$\theta(q_1, q_2) = \arccos \left(1 - 2 \left(1 - \langle q_1, q_2 \rangle^2 \right) \right) \quad (4.6)$$

Pentru a identifica locația indicată de mână dintr-o configurație predefinită de locații, se poate utiliza un algoritm de clasificare pe baza celui mai apropiat vecin (Nearest-Neighbor).

Aparatură și instrumente de dezvoltare

Am folosit SDK-ul JavaScript pentru Myo pus la dispoziția dezvoltatorilor pentru a implementa comunicarea dintre dispozitiv și o aplicație dintr-o pagină web, care a fost construită folosind HTML 5, CSS 3 și JavaScript și a rulat în Google Chrome (v80.0.3987.122) pe un laptop conectat la un Smart TV mare, de 55 de inci (Samsung UE55D); a se vedea Figura 4.1.

Participanți

Zece voluntari (5 bărbați și 5 femei) au participat la experiment, cu vârste cuprinse între 20 și 28 de ani (M=22.4, SD=2.41). Unul dintre participanți era stângaci.

Sarcină

Participanții au atins 48 de ținte afișate pe rând, în mod aleatoriu, pe ecranul Smart TV, în timp ce purtau brățara inteligentă Myo pe brațul mâinii dominante și, respectiv, cea non-dominantă; a se vedea Figura 4.1. Înainte de a atinge țintele, a fost înregistrat q_{offset} . Etapa de colectare a datelor a fost repetată de cinci ori pentru fiecare mână, dar o țintă a fost afișată doar o singură dată în timpul unei repetiții.

⁴A se vedea <http://web.archive.org/web/20220701043215/https://developerblog.myo.com/quaternions/> pentru detalii.

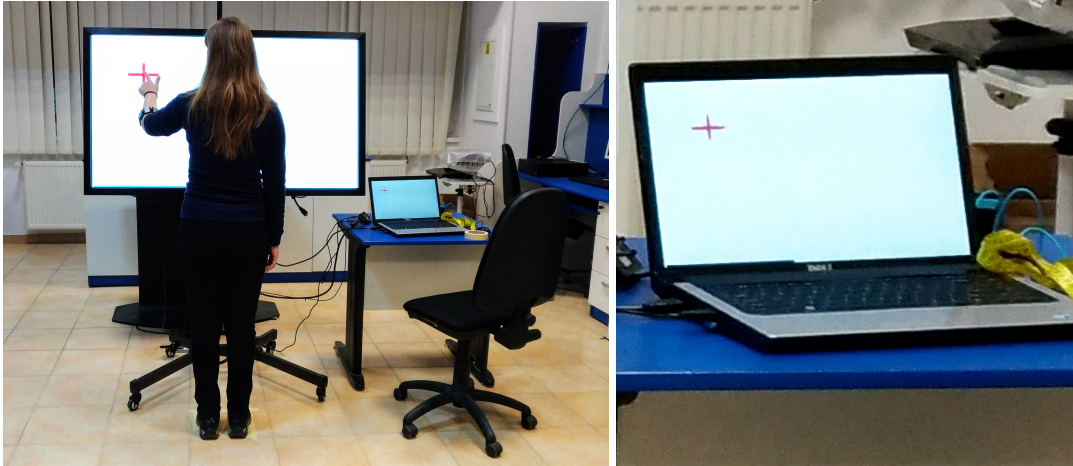


Figura 4.1: Fotografie a configurației experimentale (stânga) și a țintei (dreapta). Participantul atinge una dintre cele 48 de ținte afișate pe ecranul tactil al Smart TV-ului cu mâna stângă.

Rezultate

Pentru a evalua acuratețea sarcinilor de indicare cu Myo, a fost aplicată o antrenare dependentă de utilizator, în care un clasificator Nearest-Neighbor a fost instruit pentru fiecare participant și fiecare mână în parte. Atunci când participantul a atins o țintă de pe ecran, au fost înregistrate locația exactă furnizată de ecranul tactil și orientarea de la brățara inteligentă Myo sub forma unui cuaternion q_t .

Rata medie de recunoaștere a fost de 25.4% pentru mâna dreaptă și 24.7% pentru mâna stângă. Având în vedere faptul că ratele de recunoaștere au fost scăzute, au fost efectuate probe mai scurte pentru a analiza posibilele probleme, concentrându-se pe creșterea acurateții generale. În primul rând, a fost efectuat un experiment pentru mâna dreaptă, folosind procedura utilizată pentru cei zece participanți, dar Myo nu a fost îndepărtat de pe antebraț între cele cinci repetări. Rata de recunoaștere a crescut la 68.3%. În continuare, s-a păstrat restricția de a nu îndepărta brățara între repetiții, iar numărul de ținte a fost redus la douăzeci, rezultatul fiind o rată de recunoaștere de 92.6%. Cu toate acestea, nu este fezabil ca utilizatorul să nu îndepărteze dispozitivul între sesiuni. Ultimul test a avut nouă ținte, iar participantului i s-a cerut să îndepărteze dispozitivul între repetiții, ceea ce a dus la o rată de recunoaștere de 97.3%.

Discuție

S-au observat următoarele limitări:

- Atunci când se încearcă să se indice o locație fixă în spațiu cu ajutorul unui dispozitiv care oferă date de orientare în raport cu corpul utilizatorului, rata de recunoaștere va fi scăzută, deoarece orientarea antebrațului poate fi diferită între repetiții.
- Chiar și atunci când se stabilește decalajul și se corectează cuaternionii înregistrați, diferențele în unghiul de orientare al brațului încă pot fi substanțiale.
- Îndepărtarea brățării inteligente Myo și plasarea ei înapoi pe antebraț duce, de asemenea, la diferențe în orientarea brațului, deoarece brățara poate fi plasată în locuri diferite.

Atunci când numărul de ținte a fost scăzut la douăzeci și nu a fost aplicată restricția de a scoate dispozitivul între repetiții, rata de recunoaștere a crescut de la 68.3% la 92.6%. Acest rezultat întărește observația conform căreia utilizatorul poate atinge aceeași țintă, cu mâna și brațul venind din unghiuri diferite. De asemenea, pot concluziona că trebuie să existe o distanță



Figura 4.2: Fotografie a interfeței spațiale pentru utilizatori pentru Smart TV-uri. În această fotografie, utilizatorul schimbă canalul TV curent arătând spre un punct din aer.

spațială minimă între ținte, deoarece rata de recunoaștere a fost ridicată (97.3%) atunci când numărul de ținte a scăzut la nouă, chiar dacă Myo a fost scos între repetiții.

4.1.3 Evaluarea utilizabilității interacțiunii prin gesturi în aer cu televizorul

În cele ce urmează, raportez încărcarea cognitivă percepută de utilizatori, deziderabilitatea și ușurința de utilizare a selecției unor ținte în aer, reprezentând opțiuni de meniu TV ancorate în locații fizice în spațiul 3D. A fost realizat un studiu pentru a colecta feedback-ul utilizatorilor pentru a înțelege aspectele de utilizare ale selecției de ținte din meniurile invizibile ancorate în aer. Contribuțiile acestui studiu [74] sunt următoarele:

1. O interfață utilizator bazată pe gesturi pentru controlul TV, operată de un meniu invizibil compus din ținte situate în aer în fața corpului utilizatorului. Prototipul implementat (Figura 4.2) utilizează brațara inteligentă Myo [52].
2. Rezultate empirice ale unui studiu cu N=10 participanți, realizat pentru a înțelege *utilizabilitatea, caracterul dezirabil și solicitarea* interfeței utilizator cu gesturi în aer.

Aparatură și instrumente de dezvoltare

Interfața utilizator a fost implementată folosind HTML 5, CSS 3 și JavaScript 1.7 și a fost testată cu Google Chrome (v66.0.3359.139) pe un laptop PC conectat la un Smart TV Samsung UE55D. Comunicarea cu Myo a fost implementată cu ajutorul SDK-ului JavaScript al Myo [52].

Proiectarea și implementarea interfeței cu utilizatorul

Această interfață a permis controlul canalelor TV prin detectarea indicării unor puncte fizice în aer și a gesturilor mâinii. Meniul spațial a fost conceput cu nouă opțiuni sau comenzi rapide pentru canalele TV, care au fost poziționate în spațiu după un aranjament de tip matrice de 3×3. Atunci când utilizatorul execută gestul *tap dublu*, modul “căutare de canale” devine activ.

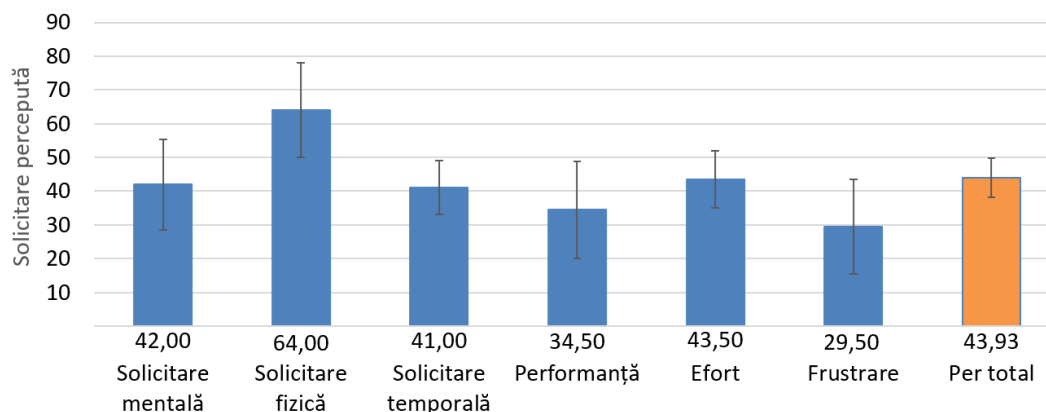


Figura 4.3: Rezultatele medii pentru fiecare dimensiune a testului NASA TLX. *Notă:* barele de eroare arată CI de 95%.

În modul de căutare, orientarea mâinii în fața corpului este folosită pentru a localiza canalele cartografiate la locații fizice în spațiu. Efectuarea gestului *pumn* confirmă selecția.

Participanți

Zece participanți (5 bărbați și 5 femei) s-au oferit voluntari pentru experiment, cu vârste cuprinse între 22 și 28 de ani ($M=24.6$, $SD=2.3$ ani).

Sarcină

Experimentul a început cu o fază de acomodare, în timpul căreia participanții au urmat un tutorial despre cum să utilizeze Myo și au exersat gesturile *tap dublu* și *pumn*. Următoarea etapă a constat în încercarea prototipului. Odată ce participanții au fost încrezători în performanța lor, li s-a cerut să schimbe canalele urmând instrucțiunile experimentatorului. Ordinea canalelor a fost aleatorie între participanți. La sfârșitul experimentului, participanților li s-a cerut să completeze un chestionar cu informații demografice, să răspundă la un test NASA TLX [67] folosind o versiune online,⁵ să completeze chestionarul SUS [16] și să selecteze câte cuvinte doreau dintr-o fișă Microsoft Desirability Toolkit [11] pentru a descrie experiența lor cu prototipul.

Rezultate

Rezultatele acestui studiu au dezvăluit un nivel bun de utilizabilitate percepută ($SUS=77.8$). Scorul SUS este peste medie, aproape de pragul “bun” de 70 sugerat de Bangor *et al.* [9], și se încadrează în intervalul de “acceptabilitate ridicată”, în conformitate cu scara propusă de Bangor *et al.* [10].

Participanții au selectat o medie de 8.4 cuvinte ($SE=1.4$) din fișa Microsoft Desirability Toolkit [11]. Cuvintele cu cea mai mare frecvență au fost pozitive, cum ar fi *ușor de utilizat* (frecvență=6, mai mult de jumătate dintre participanți au considerat că interfața cu utilizatorul este ușor de utilizat), *prietenoasă*, *atractivă*, *satisfăcătoare*, *intuitivă*, *creativă* și *inovatoare*.

Figura 4.3 prezintă media încărcării cognitive percepute, calculată pentru toți participanții, pentru fiecare dimensiune a testului NASA TLX. Per total, testul NASA TLX a evidențiat o solicitare fizică ridicată (NASA TLX = 64 pe scara 100), care a fost un efect direct al utilizării dispozitivului Myo [47].

⁵<http://www.keithv.com/software/nasatlx/>

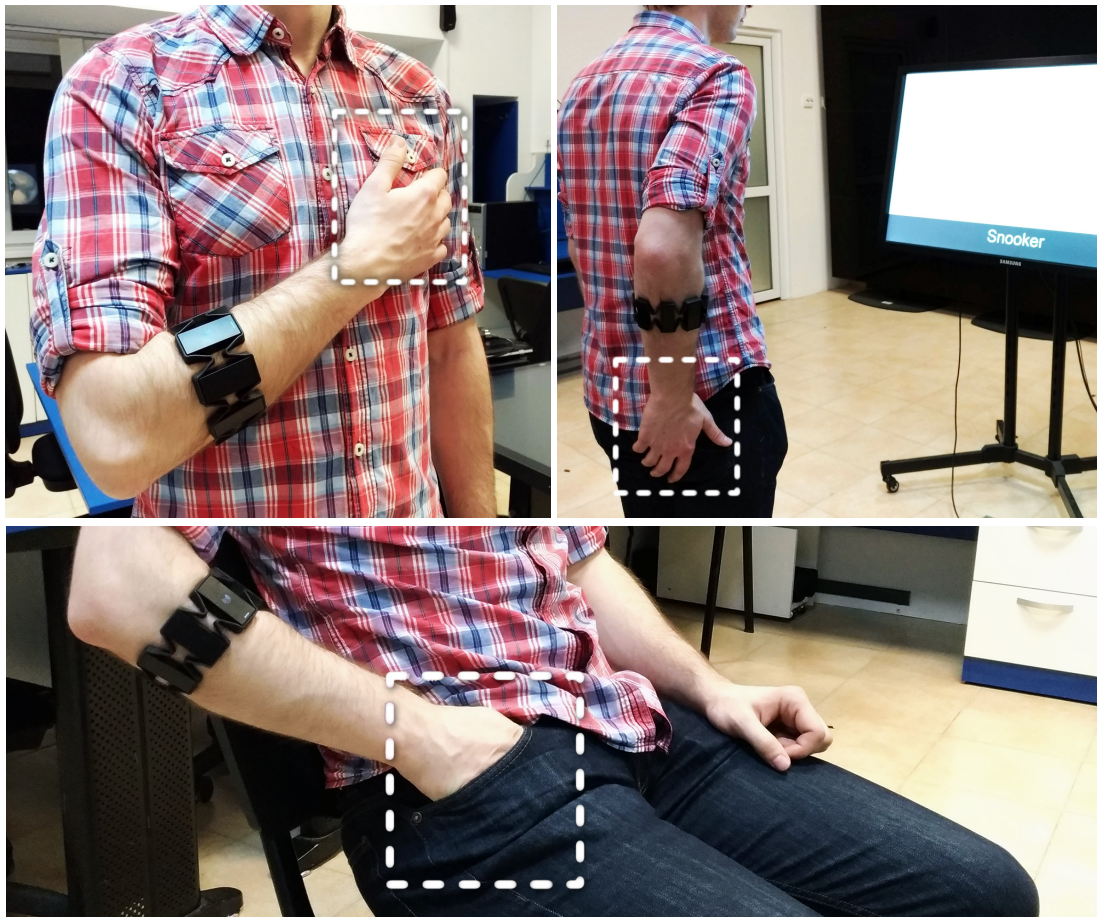


Figura 4.4: Trei exemple de acțiuni de indicare care implică trei “buzunare inteligente”: accesarea buzunarului stânga de la cămașă (stânga), a buzunarului drept din spatele pantalonilor (dreapta) și a buzunarului drept din fața pantalonilor (jos). A se nota că buzunarele nu sunt instrumentate; în schimb, Myo detectează orientarea brațului și, astfel, estimează locația buzunarului.

4.2 Canale TV în buzunar! Conectarea Smart-Pockets la Smart TV

În cele ce urmează, propun o interfață bazată pe gesturi pentru controlul conținutului afișat pe ecranul TV, bazându-mă pe (1) conceptul de Smart-Pockets [97] (buzunare inteligente) pentru a lega conținutul digital de anumite zone specifice de pe corpul utilizatorului (a se vedea [97] pentru definirea conceptului) și (2) introducerea în aer sub formă de gesturi deictice (*i.e.*, acțiuni de indicare) recunoscute cu ajutorul dispozitivelor portabile [72, 74].

4.2.1 Context: Interacțiunea cu corpul și Smart-Pockets

Smart-Pockets reprezintă un concept și o tehnică de interacțiune introdusă de Vatavu [97] pentru a crea și utiliza legături între conținutul digital de orice fel (cum ar fi o listă de documente, contacte telefonice sau căsuța de e-mail) și locații fizice de pe corpul utilizatorului reprezentate de buzunare. Conținutul digital legat de buzunare este afișat pe un ecran ambiental prin scoaterea acestuia din buzunare și îndreptarea mâinii spre ecran.

4.2.2 O interfață imaginară pentru ARTV bazată pe Smart-Pockets

Această secțiune prezintă informații tehnice referitoare la prototip.

Aparatură și instrumente de dezvoltare

Am dezvoltat o interfață utilizator pentru TV folosind HTML 5, CSS 3 și JavaScript 1.7 și am testat-o folosind browserul web Google Chrome (v72.0.3626.121), care a rulat pe un laptop PC conectat la un TV mare de 55 de inci, Samsung UE55D Smart TV, și la brățara inteligentă Myo [52]; a se vedea Figura 4.4.

Proiectare și implementare

Conform principiului de funcționare a tehnicii Smart-Pockets [97], utilizatorul indică un anumit buzunar (a se vedea Figura 4.4) pentru a accesa conținutul TV stocat și apoi îndreaptă mâna spre ecranul TV. Buzunarul este identificat folosind orientarea mâinii furnizată de unitatea IMU încorporată în brățara inteligentă Myo și raportată sub forma cuaternionului q_t . Pentru a evita selectarea sau schimbarea accidentală a canalului atunci când mâna este îndreptată în fața corpului (*i.e.*, pentru a evita falsurile pozitive), utilizatorul efectuează gestul implicit *tap dublu* al dispozitivului Myo pentru a confirma comanda.

Configurarea Smart-Pockets

Smart-Pockets poate fi configurat cu ușurință prin înregistrarea orientării mâinii care ajunge la locațiile buzunarelor, cum ar fi mâna corespunzătoare atingerii buzunarului stâng al cămășii (a se vedea Figura 4.4, stânga), a buzunarului drept din spatele pantalonilor (Figura 4.4, dreapta) sau a buzunarului drept din fața pantalonilor (Figura 4.4, jos). Aceste trei buzunare pot fi accesate cu ușurință cu mâna dreaptă.

4.3 Hover: Hărți cognitive pentru interfețe utilizator imagine și ARTV

Prezint “Hover”, un nou concept de interfață utilizator pentru controlul TV la distanță. Contribuțiile acestui studiu [73] sunt:

1. Hover, o interfață utilizator pentru controlul la distanță al TV-ului bazată pe indicarea în aer în spațiul *personal*, *peripersonal* și *extrapersonal* al utilizatorilor. Hover pune în aplicare asocierile preferate de utilizatori dintre locațiile spațiale, definite într-un sistem de referință centrat pe corpul uman, și comenzile TV frecvente, cum ar fi comenzile rapide către canalele TV și Internet video preferate sau frecvent vizionate.
2. O evaluare a Hover din punct de vedere al performanțelor de memorie și al abilităților spațiale ale utilizatorilor de a își aminti locațiile din aer și de a indica cu acuratețe și precizie aceste locații fără feedback.

4.3.1 Context: Interfețe imagine și interacțiuni peripersonale

În funcție de locațiile spre care se arată cu degetul, o delimitare a spațiului interactiv permis de tehnicile de indicare în aer dezvăluie *spațiul personal* (*e.g.*, arătând spre locații de pe corp, cum ar fi spre buzunare [97]), *spațiul peripersonal* (în imediata vecinătate a corpului, unde obiectele pot fi atinse și apucate [108]), și *spațiul extrapersonal*, care se extinde dincolo de limitele manipulării directe [71]. Interfețele utilizare a gesturilor realizate cu mâna liberă (*en.*: free-hand gestures) și a gesturilor întregului corp necesită o proiectare atentă pentru a se asigura că setul de gesturi nu provoacă oboseală [36, 43]. În acest sens, gesturile deictice, care constau în simpla indicare cu mâna în aer [19], pot oferi un compromis bun între indicarea familiară

realizată cu telecomanda TV [7,23,94], care ar putea fi executate la periferia atenției utilizatorului [34], dar fără a avea neajunsurile telecomenzii TV [12,58], și cu modele de interfețe utilizator cu gesturi mai complexe [27, 110].

4.3.2 Hover

Hover este o interfață utilizator spațială, imaginară, bazată pe memorie, pentru TV, care constă din următoarele componente:

1. *Tehnologie de detectare* care identifică și raportează poziția mâinii utilizatorului în aer în raport cu corpul uman.
2. Tehnologia de detectare interfațează și comunică cu *TV-ul* sau cu sistemul de divertisment pentru acasă care urmează să fie controlat.
3. O *hartă cognitivă* care face legătura între locațiile spațiale din aer și diferite funcții ale TV-ului, cum ar fi canalele preferate sau cele mai des urmărite de către utilizatori.
4. *În aer*. Doresc să subliniez importanța spațiului fizic care înconjoară utilizatorul și care este transformat de Hover într-un mediu interactiv.

Calitățile de interacțiune ale Hover

Hover se încadrează în categoria tehnicilor de interacțiune de indicare în aer (*en.*: air pointing), care au fost examinate de Cockburn *et al.* [19], care a identificat cinci dimensiuni de interacțiune. În ceea ce privește *cadrul de referință* pentru intrarea spațială, utilizatorii au libertatea absolută de a alege locațiile spațiale pentru ancorarea canalelor TV preferate în cameră. În ceea ce privește *dimensiunea scalei*, Hover permite o indicare aeriană mare și amplitudini mai mici. Numărul de *grade de libertate* a fost trei. Cu toate acestea, interfețele Hover aplicate vor necesita proiectare în ceea ce privește *modalitatea de feedback* și *conținutul feedback-ului*, două dimensiuni de interacțiune enumerate de Cockburn *et al.* [19] pentru indicare în aer care nu au fost necesare pentru Hover și, prin urmare, nu au fost explorate în această analiză. Cele șase calități de interacțiune pentru tehnicile de indicare în aer propuse de Cockburn *et al.* [19] au fost, de asemenea, utilizate pentru a analiza Hover.

4.3.3 Experiment

Această secțiune prezintă configurația experimentală pentru examinarea Hover.

Participanți

Șaptesprezece participanți (9 bărbați și 8 femei) s-au oferit voluntari pentru acest experiment. Vârstele participanților au variat între 22 și 38 de ani ($M=25.8$, $SD=4.8$ ani). Pentru a înțelege abilitățile spațiale ale participanților, a fost administrat Sistemul de evaluare Cognitrom (CAS++) [20]. Cinci participanți (29.4%) au obținut un scor *foarte bun*, șase (35.3%) *bun* și cinci (29.4%) *mediu*; niciun participant nu a avut abilități spațiale *foarte slabe* sau *slabe*.

Aparatură

Experimentul a folosit trei senzori separați: un sistem Vicon de captare a mișcării [102], un senzor Microsoft Kinect [60], plasat sub ecranul TV, și o brățară inteligentă Myo [52], poziționată pe mâna dominantă a participantului. Cu toate acestea, informațiile înregistrate cu ultimii doi senzori nu au fost utilizate din cauza unor probleme tehnice.

Sarcină

Experimentul a fost alcătuit din trei faze: o fază de *configurare*, în timpul căreia participanții au plasat în aer cele mai preferate sau frecvent vizionate nouă canale TV, urmată de două faze de *reamintire*, la 30 de minute după configurare și a doua zi, la 24 de ore după configurare.

Proiectare

Experimentul a fost conceput cu o proiectare în interiorul subiectului (*en.*: within-subject), cu următoarele două variabile independente:

1. **CANAL**, variabilă ordinală cu nouă condiții numerotate de la 1 la 9, unde 1 reprezintă canalul TV cel mai preferat sau mai frecvent urmărit. Numărul 9 a fost informat de limita superioară a numărului “magic” al lui Miller 7 ± 2 [64] și de rezultatele anterioare [72,74].
2. **TIMP-REAMINTIRE** reprezintă momentul în care participanții au fost rugați să își amintească locațiile în care și-au plasat canalele TV, cu două valori: *în aceeași zi și în ziua următoare*.

Măsuri

Un set de opt măsuri de performanță a utilizatorului au fost evaluate cu Hover:

A) Măsuri ale performanței spațiale:

- (1) **TIMP-GÂNDIRE** reprezintă timpul de care au avut nevoie participanții, exprimat în minute, pentru a propune o hartă spațială adecvată pentru canalele TV preferate.
- (2) **DECALAJ-ACURATEȚE** evaluează acuratețea cu care fiecare participant a fost capabil să indice cu exactitate locațiile din aer unde a poziționat inițial scurtăturile de canal în timpul fazei de configurare.
- (3) **DECALAJ-PRECIZIE**, măsurat pentru fiecare participant, canal și **TIMP-REAMINTIRE**, evaluează cât de consecvent a fost fiecare participant în a indica același loc în aer în timpul încercărilor repetate.

B) Măsuri legate de amplasare:

- (4) **VOLUM** reprezintă volumul cuboidului care circumscrie toate coordonatele fizice ale locațiilor din aer pentru un anumit participant.
- (5) **PROXIMITATE** este o măsură a distanței calculate între coordonatele 3D ale tuturor perechilor de locații în aer pentru un anumit participant. Accentul a fost pus pe valorile **PROXIMITATE-MINIMĂ**, **PROXIMITATE-MAXIMĂ** și **PROXIMITATE-MEDIE**.
- (6) **RĂSPÂNDIRE** este o măsură a modului în care canalele sunt distribuite în spațiu în raport cu centroidul lor.

C) Măsuri subiective ale performanței, măsurate cu scări Likert în 5 puncte:

- (7) **REAMINTIRE-PERCEPUTĂ** reprezintă percepțiile subiective ale participanților cu privire la cât de bine și-au amintit locațiile din aer ale tuturor canalelor.
- (8) **ACURATEȚE-PERCEPUTĂ** reprezintă percepțiile subiective ale participanților cu privire la cât de bine credeau că au indicat locațiile din aer ale tuturor canalelor.

4.3.4 Rezultate

Această secțiune raportează performanțele participanților în ceea ce privește indicarea în aer fără feedback.

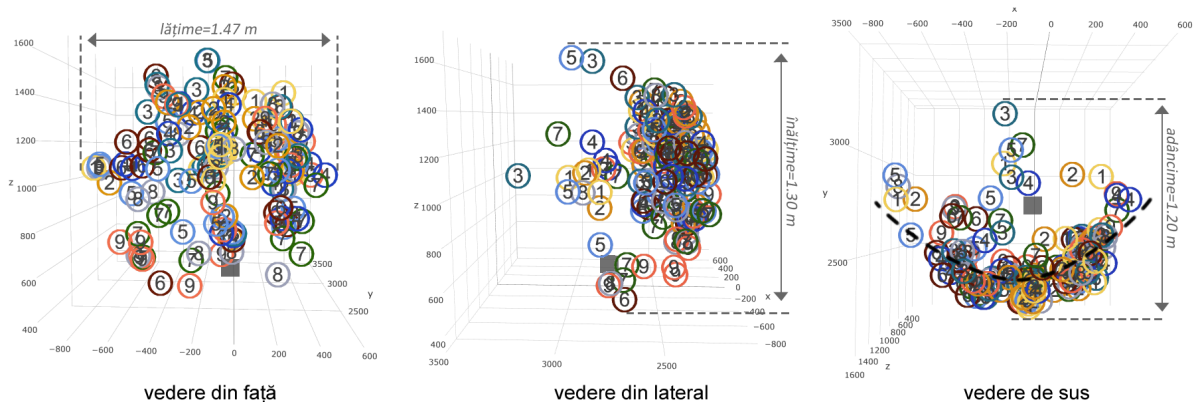


Figura 4.5: Toate configurațiile suprapuse: vedere din față (stânga), vedere din lateral (mijloc) și vedere de sus (dreapta). Cubul gri arată locația scaunului pe care s-au așezat participanții. De remarcă că majoritatea canalelor (89.5%) au fost ancorate în fața corpului.

Preferințe pentru ancorarea canalelor TV în aer

Locațiile canalelor, suprapuse pentru toți participanții, sunt prezentate în Figura 4.5. Participanții au distribuit canalele într-un volum de spațiu centrat pe corpurile lor, care a variat de la doar 0.02 m^3 la 1.9 m^3 ($M=0.3$, $SD=0.5$). PROXIMITATEA-MINIMĂ a variat între 1.0 cm și 30.6 cm ($M=14.2$, $SD=9.1$), în timp ce PROXIMITATEA-MAXIMĂ a variat între 61.4 cm și 140.3 cm ($M=99.8$, $SD=25.2$). În medie, participanții au poziționat canale în aer care se aflau la aproximativ 56 cm unul față de celălalt ($SD=15.8$), cu o RĂSPÂNDIRE medie de 40.8 cm ($SD=11.4$). Din toate cele 153 de configurații ($=17$ participanți $\times 9$ canale), marea majoritate (89.5%) au fost plasate în fața corpului. Probabil din motive de dominanță a mâinii, participanții au plasat mai multe canale în dreapta (56.9%) decât în stânga (43.1%). De asemenea, 20.9% dintre canale au fost poziționate deasupra capului, în timp ce doar 3.9% au fost plasate mai jos de nivelul scaunului.

Strategiile folosite de participanți pentru ancorarea canalelor în aer pot fi grupate în cinci categorii, după cum urmează:

1. *Disponeri spațiale regulate.* Șapte participanți (P_1 , P_7 , P_{11} , P_{13} , P_{15} , P_{16} și P_{17}) au folosit o matrice pentru a ancora canalele în aer. Patru participanți (P_1 , P_{11} , P_{13} și P_{15}) și-au poziționat canalul preferat în colțul din stânga sus al configurației lor, în timp ce ceilalți trei participanți au plasat primul canal în centrul configurației matriciale pentru a fi ușor de accesat.
2. *Grupare semantică a canalelor.* Trei participanți (P_2 , P_4 și P_8) au grupat canalele TV în spațiu în funcție de genul lor.
3. *Ancorarea canalelor la obiectele din cameră.* Cinci participanți (P_3 , P_5 , P_{10} , P_{11} și P_{14}) au folosit obiecte fizice aflate în cameră ca ancore pentru a poziționa canalele.
4. *Utilizarea corpului ca referință.* Participanții și-au exprimat preferința pentru utilizarea corpului ca ancoră fizică pentru a se referi și a indica spre canale. P_9 a plasat toate canalele pe corp, iar P_{12} a distribuit toate canalele aproape echidistant în jurul corpului.

Acuratețea și precizia indicării în aer

O analiză a intervalului de măsură pentru DECALAJ-PRECIZIE arată valori între 1.2 cm și 95.0 cm pentru condiția *în aceeași zi* (la 30 de minute după faza de configurare) și între 1.5 cm și 99.3 cm pentru *ziua următoare* (după 24 de ore). Analiza a arătat că limita superioară a

preciziei umane de a indica locațiile din aer fără alt feedback decât memoria proprie poate fi aproximată în mod rezonabil la 20 cm, performanța medie rămânând în jurul valorii de 6.35 cm ($CI_{95\%}=[5.99, 6.72]$ cm). Această analiză a fost continuată cu măsura DECALAJ-ACURATEȚE pentru a înțelege cu cât de mult au deviat participanții în ceea ce privește indicarea lor în raport cu locațiile reale ale canalelor. Utilizând pragul superior de 20 cm, ratele de reamintire au fost estimate la 80.4% și, respectiv, 79.1%, pentru cele două condiții ale măsurii TIMP-REAMINTIRE.

Performanța percepută în ceea ce privește reamintirea și acuratețea

Nu a existat un efect semnificativ al măsurii TIMP-REAMINTIRE asupra măsurii REAMINTIRE-PERCEPUTĂ (valori mediane 4 și 5, valori medii 4.5 și 4.6, $Z_{(N=17)}=-0.632$, $p=.527>.05$, *n.s.*). Cu toate acestea, a existat un efect semnificativ din punct de vedere statistic al măsurii TIMP-REAMINTIRE asupra ACURATEȚE-PERCEPUTĂ ($Z_{(N=17)}=-2.449$, $p=.014<.05$, $r=.420$).

Detectarea acțiunilor de indicare în aer

Pentru a afla cât de precis poate Hover să detecteze acțiunile de întindere și de indicare ale utilizatorilor către canalele care plutesc în aer, ratele de recunoaștere au fost calculate prin compararea încercărilor participanților din *aceeași zi* și din *ziua următoare* cu locațiile spațiale originale pe care le-au stabilit în timpul etapei de configurare. Pentru a reduce influența configurației (asupra căreia nu a existat niciun control în timpul experimentului), toate configurațiile propuse de participanți au fost analizate pentru a vedea câte respectă pragul de precizie de 20 cm informat anterior. În medie, numărul de canale efective a fost de 6.9 ($SD=2.2$), ceea ce reprezintă o reducere de 23.3% față de numărul inițial.

Rezultatele clasificării încercărilor de indicare a participanților către locațiile din aer au arătat o acuratețe de recunoaștere de 97.6% pentru *aceeași zi* și, respectiv, de 99.4% pentru *ziua următoare*. Pentru a înțelege performanța recunoașterii pentru numărul maxim de canale considerat inițial (9), au fost calculate, de asemenea, ratele de recunoaștere pentru cei șase participanți care au propus aranjamente cu 9 canale efective. Utilizând aceste date, am constatat că Hover a detectat cu succes locațiile de indicare în aer ale utilizatorilor cu o precizie aproape perfectă, 98.9% pentru *aceeași zi* și, respectiv, 100% pentru *ziua următoare*.

5 IMPLICAȚII PENTRU TELEVIZIUNEA CU REALITATE AUGMENTATĂ

Acest capitol prezintă implicații de proiectare pentru ARTV și direcții de lucru viitoare. De asemenea, capitolul prezintă o agendă de cercetare pentru ARTV ca urmare a revizuirii literaturii științifice, a perspectivelor concluziilor din [76, 77] și a prototipurilor cu tehnici de interacțiune [73, 74, 78].

5.1 Oportunități de lucru pentru viitor

Pe baza rezultatelor studiului [76], o implicație pentru ARTV este că preferințele și așteptările utilizatorilor ar trebui să fie luate în considerare pentru proiectarea eficientă a interfețelor utilizator ARTV. În plus, după cum se arată în [77], practicienii ar trebui să obțină feedback timpuriu legat de prototipurile aplicațiilor lor de AR și conținutul AR de la utilizatori cu medii culturale reprezentative pentru publicul țintă al acestor aplicații. În ceea ce privește viitoarele oportunități de cercetare în ARTV, rezultatele sugerează că *audiența* este un factor important de luat în considerare pentru proiectarea conținutului, dispozitivelor și aplicațiilor pentru AR și TV. Expunerea la mass-media [25] în diferite culturi poate reprezenta un alt factor important pentru a înțelege așteptările utilizatorilor de ARTV. Recomand mai multe studii de acest gen în măsura în care tehnologia, aplicațiile și serviciile ARTV vor deveni mai disponibile pentru Smart TV-uri și mediile casnice. Deocamdată, rezultatele din [76, 77] arată că, în medie, valoarea percepută a ARTV pare să fie similară în toate culturile, dar diferențele specifice fiecărei culturi se manifestă în valoarea *relativă* a scenariilor ARTV. Profit de această ocazie pentru a sublinia, de asemenea, importanța efectuării de studii de replicare în HCI, pentru care cantitatea de replicări a fost foarte mică—aproximativ 3%, conform unei estimări a Hornbæk *et al.* [39].

Având în vedere că Myo furnizează informații despre mișcarea și orientarea antebrațului utilizatorului, dispozitivul oferă o flexibilitate mare în ceea ce privește locul în care sunt efectuate gesturile deictice. Cu toate acestea, așa cum au dezvăluit Kerber *et al.* [47] și Popovici [72], Myo are mai multe limitări. În acest sens, o implicație pentru ARTV este derularea de studii care să investigheze mai îndeaproape limitările dispozitivelor utilizate în interfețele utilizator ARTV. Pentru a arăta că Myo ar putea fi utilizat pentru controlul TV folosind gesturi în aer, am prezentat rezultate empirice privind utilizabilitatea, dorința și încărcarea cognitivă percepute al unei interfețe utilizator bazate pe gesturi pentru Smart TV-uri, constând în indicarea unor locații în aer [74]. În ceea ce privește oportunitățile de muncă viitoare, eșantionul de participanți a fost prea mic pentru a efectua teste statistice, cum ar fi înțelegerea efectului genului sau al abilităților de orientare spațială asupra performanței utilizatorilor. În plus, alte dispozitive de detectare a gesturilor ar putea atenua problema faptului că Myo nu detectează eficient gesturile. Pe baza acestor rezultate, o implicație pentru ARTV este că ar trebui să se obțină un feedback timpuriu pentru a analiza dacă un dispozitiv este potrivit pentru a implementa achiziția de gesturi ca parte a unei interfețe utilizator bazate pe gesturi, o recomandare propusă și de Khalaf *et al.* [48].

De asemenea, am prezentat un prototip purtabil pentru controlul conținutului afișat pe TV prin asocieri directe între canalele TV preferate de utilizator și buzunarele fizice [78]. Acest

prototip deschide noi oportunități pentru interacțiuni hibride, bazate pe gesturi și pe indicare, pentru Smart TV-uri, precum și oportunități pentru proiectarea unor interacțiuni care au loc la periferia atenției utilizatorului [8]. Aceasta reprezintă o explorare relevantă, deoarece disconfortul cauzat de afișarea prea multor informații [22, 85, 98] și oboseala brațului în timpul efectuării gesturilor [36, 43] sunt două aspecte importante care trebuie luate în considerare în cadrul proiectării interfețelor utilizator ARTV. În acest context, o implicație pentru ARTV este că gesturile eficiente cu efort redus ar trebui examinate mai în detaliu.

Sper că Hover va inspira cercetătorii și practicienii din domeniul interfețelor utilizator pentru Smart TV să ia în considerare locațiile din aer ca elemente active pentru a proiecta experiențe interactive noi pentru mediile de divertisment pentru acasă centrate pe Smart TV. Folosind sistemul Vicon, experimentul a fost realizat cu trei grade de libertate, ceea ce a fost suficient pentru scopul studiului, însă, implementările practice ale Hover ar putea necesita urmărirea întregului braț (*i.e.*, mai multe puncte de pe braț, nu doar degetul arătător) sau tipuri de date diferite, cum ar fi accelerația și orientarea furnizate de o brățară inteligentă [33, 74] purtată pe antebraț sau de un ceas inteligent la încheietura mâinii [46]. Astfel de aspecte sunt lăsate pentru examinări viitoare, în funcție de contextul de utilizare în care urmează să fie aplicat Hover. În plus, trebuie să se abordeze în mod corespunzător și falsurile pozitive (*i.e.*, comenzi de gesturi identificate accidental de către sistem și care nu au fost realizate intenționat de către utilizatori), deoarece acestea pot afecta în mod negativ experiența utilizatorului prin crearea percepției unui sistem aflat în afara controlului. Hover asigură o expresivitate bună pentru utilizatori, deși se recomandă experimentări viitoare pentru a înțelege limitele superioare ale lui Hover în ceea ce privește numărul de locații spațiale care pot fi operate în mod eficient. În afară de scurtături către canalele TV preferate, locațiile din aer ar putea fi atribuite altor funcții Smart TV, cum ar fi deschiderea browserului web, pornirea aplicațiilor, trecerea de la o configurație a modului de imagine la alta, cum ar fi modul film, și așa mai departe. În acest sens, o implicație pentru ARTV este că, în combinație cu gesturile cu efort redus, utilizarea memoriei utilizatorilor pentru a reaminti locațiile din aer reprezintă o oportunitate promițătoare pentru proiectarea unor comenzi de control atractive pentru TV.

5.2 O agendă de cercetare pentru ARTV

Prezint o agendă pentru augmentarea vizuală a vizionării TV, bazată pe o tehnologie aflată recent în plină expansiune, cum ar fi dispozitivele portabile inteligente și tehnologia realității augmentate/mixte.

Direcția nr. 1: Înțelegerea preferințelor utilizatorilor

Un aspect important pentru proiectarea și dezvoltarea dispozitivelor de intrare/ieșire, a tehnicilor de interacțiune, a interfețelor utilizator și a aplicațiilor este acela de a înțelege ce își doresc și de ce au nevoie utilizatorii. Mai multe teme pot fi avute în vedere în ceea ce privește augmentarea vizuală a experienței de vizionare a programelor TV: *Ce preferințe au utilizatorii în materie de dispozitive, conținut digital și aplicații pentru augmentarea vizuală a urmării programelor TV? Există tipuri specifice de conținut sau genuri TV pentru care augmentarea vizuală este mai de dorit? Diferitele grupe de vârstă, cum ar fi copiii, adulții tineri și vârstnicii, au preferințe diferite în ceea ce privește augmentarea vizuală a experienței lor de vizionare a programelor TV?*

Direcția nr. 2: Dispozitive pentru a sprijini augmentarea vizuală TV

Augmentarea vizuală poate fi realizată cu ajutorul unei varietăți de dispozitive AR, de la telefoane smart și tablete [2, 14, 42], până la dispozitive purtabile, cum ar fi ecranele montate pe cap (*en.*: Head Mounted Displays) [57], ochelarii inteligenți [109] și computerul holografic HoloLens [103]. Alte tipuri de dispozitive purtabile, cum ar fi ceasurile inteligente modificate [104], pot fi, de asemenea, utilizate în acest scop.

Direcția nr. 3: De la Smart TV la mediile înconjurătoare Smart TV

Dincolo de Smart TV-uri, întreaga cameră poate servi ca o pânză pentru a afișa grafică generată de calculator pentru a augmenta experiența de vizionare TV [44, 45, 95]. Dispozitivele mobile, dispozitivele purtabile, Smart TV-ul, precum și senzorii și tehnologia de afișare din mediul fizic pot constitui un “spațiu Smart TV” pentru care este necesară o arhitectură software flexibilă pentru a conecta dispozitive de intrare/ieșire eterogene.

Direcția nr. 4: Accelerarea cercetării de la multimedia la media ambientală

Pentru a le oferi utilizatorilor o experiență TV augmentată vizual va fi probabil nevoie de modalități noi de reprezentare și transfer a conținutului digital, accelerând dezvoltarea către media ambientală și implementarea principiilor sale, *i.e.*, manifestare, transformare, inteligență, experiență și colaborare [55].

Direcția nr. 5: Tehnici de interacțiune pentru operarea augmentării vizuale

Este puțin probabil ca telecomanda TV să scaleze în mod eficient pentru ca utilizatorii să poată opera conținutul media AR și ambiental, care este 3D, suprapus peste mediul fizic și interactiv în timp real [5]. Modalități de intrare alternative, cum ar fi gesturile cu mâna liberă și cu tot corpul [93, 97], dispozitivele purtabile [32], achiziția de date la nivelul corpului [26, 29, 85], vocea [80] și urmărirea privirii [35], vor trebui explorate și evaluate în acest context.

Direcția nr. 6: Augmentarea vizuală a urmării programelor TV pentru utilizatorii cu deficiențe de vedere

Potrivit unui studiu din 2018 [21] realizat de Comcast și de Fundația Americană pentru Nevăzători, adulții cu deficiențe de vedere se uită la TV la fel de mult ca și persoanele fără deficiențe. Augmentarea vizuală este deosebit de importantă pentru persoanele cu vedere slabă (*i.e.*, deficiențe vizuale care nu pot fi corectate cu lentile de contact, medicamente sau intervenții chirurgicale) care, spre deosebire de nevăzători, se bazează pe abilitățile lor vizuale pentru activitățile de zi cu zi, dar se confruntă cu provocări cauzate de tulburările de vedere.

Direcția nr. 7: Instrumente pentru a sprijini augmentarea vizuală TV

Instrumentele sunt importante pentru a sprijini dezvoltarea de aplicații practice. Exemple de instrumente se referă la crearea de conținut digital, prototiparea interfețelor utilizator pentru programe TV augmentate cu ajutorul dispozitivelor mobile și purtabile [6] și instrumente pentru analiza performanțelor utilizatorilor cu ARTV, cum ar fi atenția vizuală [98].

Direcția nr. 8: Aplicații noi

Printre exemplele de aplicații noi pentru TV vizual augmentat se numără vizionarea TV în colaborare cu publicul de la distanță [70,96], TV multi-platformă, emisiuni TV imersive [45] sau consumul de conținut la cerere. De asemenea, este posibil să apară forme TV noi susținute de tehnologia AR.

Direcția nr. 9: Conexiuni cu alte domenii de cercetare

Este necesar să se utilizeze cunoștințe importante din alte domenii, cum ar fi psihologia (înțelegerea utilizatorilor), tehnologia informatică purtabilă (dispozitive de intrare/ieșire noi), interacțiunea om-calculator (proiectarea interfeței cu utilizatorul, metodologii de evaluare) și AR (tehnici și instrumente de redare pentru suprapunerea conținutului generat de calculator pe lumea fizică). Aspectele etice și de protecție a vieții private se încadrează, de asemenea, în această direcție a agendei și ar trebui analizate în detaliu.

6 CONCLUZII

Privitul la TV joacă un rol important în viața noastră. Totuși, în graba de a dezvolta o tehnologie nouă, se pare că întrebarea importantă cu privire la ceea ce își doresc de fapt utilizatorii legat de ARTV a fost trecută cu vederea de către comunitatea științifică a mediilor interactive. Acest aspect poate avea un impact major asupra conceperii unei tehnologii ARTV eficiente și, în același timp, poate aduce valoare atât utilizatorilor finali, cât și industriei TV.

În timpul elaborării acestei teze, am adoptat următoarea abordare: (1) în primul rând, am efectuat o evaluare critică a stadiului actual al AR, concentrându-mă pe ARTV ca și concept și pe aplicațiile ARTV dezvoltate în comunitatea științifică; (2) în al doilea rând, prin realizarea a două studii utilizator cu diferite grupuri de participanți, am urmărit să găsim răspunsuri cu privire la ceea ce își doresc utilizatorii în ceea ce privește ARTV și la modul în care contextul cultural influențează preferințele acestora; (3) am analizat posibilitatea de a utiliza un dispozitiv purtabil, brățara inteligentă Myo, pentru a implementa tehnici noi de interacțiune pentru ARTV, (4) am proiectat și implementat trei prototipuri și am examinat modul în care acestea ar putea fi utilizate pentru a dezvolta unele dintre scenariile ARTV foarte apreciate de participanții de la cele două studii utilizator și (5) am efectuat experimente controlate pentru a colecta opiniile participanților în ceea ce privește prototipurile propuse și am examinat performanța acestora; (6) pe baza acestor rezultate, am trasat implicații pentru ARTV și (7) am prezentat o agendă de cercetare pentru augmentarea vizuală TV.

Cercetările viitoare ar putea avea mai multe direcții, în conformitate cu agenda de cercetare a ARTV. Percepția și preferințele utilizatorilor pentru scenariile ARTV ar putea fi analizate în continuare prin luarea în considerare a altor factori, cum ar fi vârsta sau impactul expunerii la mass-media, pentru a oferi o imagine de ansamblu mai generală și, astfel, pentru a confirma sau contrazice rezultatele prezentate. În acest sens, am subliniat importanța studiilor de replicare în domeniul HCI. De asemenea, ar putea fi efectuate studii în laborator în care participanții să folosească aplicații ARTV înainte de a își exprima opiniile. Există o varietate de direcții pentru experiențele interactive, de la posibilitatea de a crește rata de recunoaștere a gesturilor a brățării inteligente Myo sau de a folosi alte dispozitive pentru implementarea tehnicilor de interacțiune bazate pe gesturi, dezvoltarea de extensii ale aplicației Hover [73] prin analiza comenzilor gestuale propuse de utilizatori, realizarea unor experimente mai ample ale [74], extinderea [78] și utilizarea conceptului “Smart-Containers” [97] pentru a explora introducerea eficientă a gesturilor cu efort cognitiv redus, realizată la periferia atenției utilizatorului, pentru a proiecta medii inteligente și medii ambientale, sau propunerea unor alte tehnici de interacțiune. În această teză, prototipurile dezvoltate, care, deși au avut un impact asupra conținutului vizual afișat pe TV, au utilizat obiecte digitale invizibile plasate în aer care au folosit memoria utilizatorului. În acest sens, pot fi explorate două direcții: determinarea dacă aplicațiile propuse ar fi utile pentru persoanele cu vedere slabă și ideea de a utiliza un dispozitiv care poate reda obiectele digitale plasate în jurul corpului utilizatorului pentru a oferi feedback vizual cu privire la locația acestora, cum ar fi un telefon smart, o tabletă, un ecran montat pe cap sau ochelari inteligenți. Pentru a doua opțiune, un subiect interesant de investigat este efortul cognitiv și disconfortul care pot apărea atunci când utilizatorul este supus la o stimulare vizuală mare. În plus, prototipurile implementate ar putea fi rafinate pentru a dezvolta aplicații ARTV pe baza celor mai preferate scenarii din studiile [76, 77]. Agenda și manifestul ar putea fi revizuite pentru a actualiza direcțiile, luând în considerare atât feedback-ul colectat de la comunitate, cât și alte constatări.

MULȚUMIRI

Această teză a fost realizată în cadrul Laboratorului de Mașini Inteligente și Vizualizarea Informației (MintViz) din Centrul integrat de cercetare, dezvoltare și inovare pentru Materiale Avansate, Nanotehnologii și Sisteme Distribuite de fabricație și control (MANSiD) al Universității “Ștefan cel Mare” din Suceava. Această teză a fost susținută și de următoarele proiecte:

- “Computational Psychology of Human Movement to Understand Gestures and Body Kinetics”, Contract nr. 101BM/2017.
- “Sensory Augmentation for Low-Vision Conditions using Smart Wearables”, Proiect nr. PN-III-P1-1.1-TE-2016-2173 (TE141/2018).
- “New Interaction Techniques for Smart Environments at the Periphery of User Attention”, Proiect nr. PN-III-P3-3.1-PM-RO-CN-2018-0032; Contract nr. 3BM/2018.
- “Sensorimotor Realities”, CNCS-UEFISCDI; Proiect nr. PN-III-P4-ID-PCE-2020-0434 (PCE29/2021).
- “Increasing the Institutional Capacity of the Machine Intelligence and Information Visualization Laboratory for Excellent Research in Interactive Technology”, Proiect nr. PN-III-P3-3.6-H2020-2020-0034; Contract nr. 12/2021.

De asemenea, am primit o bursă ACM SIGCHI Student Travel pentru a participa la TVX 2019, Conferința internațională ACM privind experiențele interactive pentru TV și video online.

REFERINȚE

- [1] Taimur Akmal. Best ARCore Apps and Games. March 2019. URL: <https://www.teamandroid.com/2019/03/21/best-arcore-apps-games/>.
- [2] augment.tv. AR Lens for Video, 2019. URL: <https://augmen.tv/>.
- [3] Ronald Azuma, Yohan Baillet, Reinhold Behringer, Steven Feiner, Simon Julier, and Blair Macintyre. Recent advances in augmented reality. *IEEE Comput Graphics Appl. Computer Graphics and Applications, IEEE*, 21:34 – 47, 12 2001. doi:10.1109/38.963459.
- [4] Ronald T. Azuma. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4):355–385, August 1997. doi:10.1162/pres.1997.6.4.355.
- [5] Ronald T. Azuma. The Most Important Challenge Facing Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 25(3):234–238, December 2016. doi:10.1162/PRES_a_00264.
- [6] Caroline Baillard, Matthieu Fradet, Vincent Alleaume, Pierrick Jouet, and Anthony Laurent. Multi-device Mixed Reality TV: A Collaborative Experience with Joint Use of a Tablet and a Headset. In *Proc. of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '17*, pages 67:1–67:2, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:10.1145/3139131.3141196.
- [7] Gilles Bailly, Dong-Bach Vo, Eric Lecolinet, and Yves Guiard. Gesture-aware Remote Controls: Guidelines and Interaction Technique. In *Proceedings of the 13th International Conference on Multimodal Interfaces, ICMI '11*, pages 263–270, New York, NY, USA, 2011. ACM. doi:10.1145/2070481.2070530.
- [8] Saskia Bakker, Doris Hausen, and Ted Selker. *Peripheral Interaction: Challenges and Opportunities for HCI in the Periphery of Attention*. Springer Publishing Company, Incorporated, 1st edition, 2016. doi:10.1007/978-3-319-29523-7.
- [9] Aaron Bangor, Philip Kortum, and James Miller. Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *J. Usability Studies*, 4(3):114–123, May 2009. URL: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2835587.2835589>.
- [10] Aaron Bangor, Philip T. Kortum, and James T. Miller. An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6):574–594, 2008. doi:10.1080/10447310802205776.
- [11] Joey Benedek and Trish Miner. Measuring Desirability: New methods for evaluating desirability in a usability lab setting. 2002. URL: <http://www.microsoft.com/usability/uepostings/desirabilitytoolkit.doc>.
- [12] Regina Bernhaupt, Marianna Obrist, Astrid Weiss, Elke Beck, and Manfred Tscheligi. Trends in the Living Room and Beyond: Results from Ethnographic Studies Using Creative and Playful Probing. *Comput. Entertain.*, 6(1):5:1–5:23, May 2008. doi:10.1145/1350843.1350848.
- [13] Regina Bernhaupt and Michael M. Pirker. User Interface Guidelines for the Control of Interactive Television Systems via Smart Phone Applications. *Behav. Inf. Technol.*, 33(8):784–799, August 2014. doi:10.1080/0144929X.2013.810782.

- [14] Toni Bibiloni, Miquel Mascaro, Pere Palmer, and Antoni Oliver. A Second-Screen Meets Hypervideo, Delivering Content Through HbbTV. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video*, TVX '15, pages 131–136, New York, NY, USA, 2015. ACM. doi:10.1145/2745197.2755513.
- [15] Jan Bobeth, Johann Schrammel, Stephanie Deutsch, Michael Klein, Mario Drobics, Christina Hochleitner, and Manfred Tscheligi. Tablet, Gestures, Remote Control?: Influence of Age on Performance and User Experience with iTV Applications. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video*, TVX '14, pages 139–146, New York, NY, USA, 2014. ACM. doi:10.1145/2602299.2602315.
- [16] John Brooke. *SUS-A quick and dirty usability scale. Usability evaluation in industry*. CRC Press, June 1996. URL: <https://www.crcpress.com/product/isbn/9780748404605>.
- [17] Henry T. Casey and John Corpuz. Best AR Apps for iOS (So Far). 2019. URL: <https://www.tomsguide.com/us/pictures-story/1263-best-apple-arkit-apps-demos.html>.
- [18] Jessica R. Cauchard, Jane L. E, Kevin Y. Zhai, and James A. Landay. Drone & Me: An Exploration into Natural Human-Drone Interaction. In *Proc. of the 2015 ACM Int. Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '15, page 361–365, New York, NY, USA, 2015. ACM. doi:10.1145/2750858.2805823.
- [19] A. Cockburn, P. Quinn, C. Gutwin, G. Ramos, and J. Looser. Air pointing: Design and evaluation of spatial target acquisition with and without visual feedback. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, 69(6):401–414, June 2011. doi:10.1016/j.ijhcs.2011.02.005.
- [20] Cognitrom. Cognitrom Assessment System, CAS++, 2018. URL: <http://www.cognitrom.ro/produs/evalua-re-psi-hologica/>.
- [21] Comcast. Survey from Comcast and AFB Gauges TV-Watching Behaviors and Awareness of Accessible Technologies. *American Foundation for the Blind*. 2018. URL: <https://www.afb.org/press-room/press-release-archive/comcast-afb-survey-tv-watching-habits>.
- [22] Daniel Costa and Carlos Duarte. Personalized and Accessible TV Interaction for People with Visual Impairments. In *Proc. of the 16th International Web for All Conference*, W4A '19, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:10.1145/3315002.3317566.
- [23] Dale Cox, Justin Wolford, Carlos Jensen, and Dedrie Beardsley. An Evaluation of Game Controllers and Tablets As Controllers for Interactive TV Applications. In *Proceedings of the 14th ACM International Conference on Multimodal Interaction*, ICMI '12, pages 181–188, New York, NY, USA, 2012. ACM. doi:10.1145/2388676.2388713.
- [24] David Dalmazzo and Rafael Ramirez. Air Violin: A Machine Learning Approach to Fingering Gesture Recognition. In *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI International Workshop on Multimodal Interaction for Education*, MIE 2017, pages 63–66, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:10.1145/3139513.3139526.
- [25] Claes H. de Vreese and Peter Neijens. Measuring Media Exposure in a Changing Communications Environment. *Communication Methods and Measures*, 10(2-3):69–80, 2016. doi:10.1080/19312458.2016.1150441.
- [26] Niloofar Dezfuli, Mohammadreza Khalilbeigi, Jochen Huber, Florian Müller, and Max Mühlhäuser. PalmRC: Imaginary Palm-based Remote Control for Eyes-free Television Interaction. In *Proceedings of the 10th European Conference on Interactive TV and Video*,

- EuroITV '12, pages 27–34, New York, NY, USA, 2012. ACM. doi:10.1145/2325616.2325623.
- [27] Nem Khan Dim, Chaklam Silpasuwanchai, Sayan Sarcar, and Xiangshi Ren. Designing Mid-Air TV Gestures for Blind People Using User- and Choice-Based Elicitation Approaches. In *Proceedings of the 2016 ACM Conference on Designing Interactive Systems*, DIS '16, pages 204–214, New York, NY, USA, 2016. ACM. doi:10.1145/2901790.2901834.
- [28] Jane L. E, Ilene L. E, James A. Landay, and Jessica R. Cauchard. Drone & Wo: Cultural Influences on Human-Drone Interaction Techniques. In *Proc. of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, page 6794–6799, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:10.1145/3025453.3025755.
- [29] Bruno Fruchard, Eric Lecolinet, and Olivier Chapuis. Impact of Semantic Aids on Command Memorization for On-Body Interaction and Directional Gestures. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '18, New York, NY, USA, 2018. ACM. doi:10.1145/3206505.3206524.
- [30] David Geerts and Dirk De Grooff. Supporting the Social Uses of Television: Sociality Heuristics for Social Tv. In *Proceedings of the SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pages 595–604, New York, NY, USA, 2009. ACM. doi:10.1145/1518701.1518793.
- [31] David Geerts, Rinze Leenheer, Dirk De Grooff, Joost Negenman, and Susanne Heijstraten. In Front of and Behind the Second Screen: Viewer and Producer Perspectives on a Companion App. In *Proc. of the ACM Int. Conf. on Interactive Experiences for TV and Online Video*, TVX '14, pages 95–102, NY, USA, 2014. ACM. doi:10.1145/2602299.2602312.
- [32] Bogdan-Florin Gheran, Jean Vanderdonckt, and Radu-Daniel Vatavu. Gestures for Smart Rings: Empirical Results, Insights, and Design Implications. In *Proceedings of the 2018 Designing Interactive Systems Conference*, DIS '18, page 623–635, New York, NY, USA, 2018. ACM. doi:10.1145/3196709.3196741.
- [33] Faizan Haque, Mathieu Nancel, and Daniel Vogel. Myopoint: Pointing and Clicking Using Forearm Mounted Electromyography and Inertial Motion Sensors. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pages 3653–3656, New York, NY, USA, 2015. ACM. doi:10.1145/2702123.2702133.
- [34] Marigo Heijboer, Elise van den Hoven, Bert Bongers, and Saskia Bakker. Facilitating peripheral interaction: design and evaluation of peripheral interaction for a gesture-based lighting control with multimodal feedback. *Personal and Ubiquitous Computing*, 20(1):1–22, February 2016. doi:10.1007/s00779-015-0893-5.
- [35] Craig Hennessey and Jacob Fiset. Long Range Eye Tracking: Bringing Eye Tracking into the Living Room. In *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, ETRA '12, page 249–252, New York, NY, USA, 2012. ACM. doi:10.1145/2168556.2168608.
- [36] Juan David Hincapié-Ramos, Xiang Guo, and Pourang Irani. The Consumed Endurance Workbench: A Tool to Assess Arm Fatigue During Mid-air Interactions. In *Proceedings of the 2014 Companion Publication on Designing Interactive Systems*, DIS Companion '14, pages 109–112, New York, NY, USA, 2014. ACM. doi:10.1145/2598784.2602795.

- [37] G. Hofstede. Dimensionalizing Cultures: The Hofstede Model in Context. *Online Readings in Psychology and Culture*, 2(1), 2011. doi:10.9707/2307-0919.1014.
- [38] Christian Holz, Frank Bentley, Karen Church, and Mitesh Patel. “I’m Just on My Phone and They’re Watching TV”: Quantifying Mobile Device Use While Watching Television. In *Proc. of the ACM Int. Conf. on Interactive Experiences for TV and Online Video*, TVX ’15, pages 93–102, New York, NY, USA, 2015. ACM. doi:10.1145/2745197.2745210.
- [39] Kasper Hornbæk, Søren S. Sander, Javier Andrés Bargas-Avila, and Jakob Grue Simonsen. Is Once Enough? On the Extent and Content of Replications in Human-Computer Interaction. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’14, page 3523–3532, New York, NY, USA, 2014. ACM. doi:10.1145/2556288.2557004.
- [40] Du Huynh. Metrics for 3D Rotations: Comparison and Analysis. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 35:155–164, 10 2009. doi:10.1007/s10851-009-0161-2.
- [41] IFIP TC14.6. What is interactive TV. URL: <http://uitv.epidro.me/what-is-itv>.
- [42] Shafaq Irshad and Dayang Rohaya Awang Rambli. User Experience Evaluation of Mobile AR Services. In *Proceedings of the 12th Int. Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia*, MoMM ’14, pages 119–126, New York, NY, USA, 2014. ACM. doi:10.1145/2684103.2684135.
- [43] Sujin Jang, Wolfgang Stuerzlinger, Satyajit Ambike, and Karthik Ramani. Modeling Cumulative Arm Fatigue in Mid-Air Interaction Based on Perceived Exertion and Kinetics of Arm Motion. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’17, pages 3328–3339, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:10.1145/3025453.3025523.
- [44] Brett Jones, Rajinder Sodhi, Michael Murdock, Ravish Mehra, Hrvoje Benko, Andrew Wilson, Eyal Ofek, Blair MacIntyre, Nikunj Raghuvanshi, and Lior Shapira. RoomAlive: Magical Experiences Enabled by Scalable, Adaptive Projector-camera Units. In *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST ’14, pages 637–644, New York, NY, USA, 2014. ACM. doi:10.1145/2642918.2647383.
- [45] Brett R. Jones, Hrvoje Benko, Eyal Ofek, and Andrew D. Wilson. IllumiRoom: Peripheral Projected Illusions for Interactive Experiences. In *Proc. of the SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’13, pages 869–878, NY, USA, 2013. ACM. doi:10.1145/2470654.2466112.
- [46] Keiko Katsuragawa, Krzysztof Pietroszek, James R. Wallace, and Edward Lank. Watchpoint: Freehand Pointing with a Smartwatch in a Ubiquitous Display Environment. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI ’16, pages 128–135, New York, NY, USA, 2016. ACM. doi:10.1145/2909132.2909263.
- [47] Frederic Kerber, Michael Puhl, and Antonio Krüger. User-Independent Real-Time Hand Gesture Recognition Based on Surface Electromyography. In *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI ’17, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:10.1145/3098279.3098553.

- [48] Ahmed S. Khalaf, Sultan A. Alharthi, Igor Dolgov, and Z O. Toups. A Comparative Study of Hand Gesture Recognition Devices in the Context of Game Design. In *Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, ISS '19, page 397–402, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:10.1145/3343055.3360758.
- [49] Heli Koskimäki, Pekka Siirtola, and Juha Röning. MyoGym: Introducing an Open Gym Data Set for Activity Recognition Collected Using Myo Armband. In *Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*, UbiComp '17, pages 537–546, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:10.1145/3123024.3124400.
- [50] Hiroki Kurosawa, Daisuke Sakamoto, and Tetsuo Ono. MyoTilt: A Target Selection Method for Smartwatches Using the Tilting Operation and Electromyography. In *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '18, New York, NY, USA, 2018. ACM. doi:10.1145/3229434.3229457.
- [51] Leantros Kyriakoullis and Panayiotis Zaphiris. Culture and HCI: A Review of Recent Cultural Studies in HCI and Social Networks. *Univers. Access Inf. Soc.*, 15(4):629–642, November 2016. doi:10.1007/s10209-015-0445-9.
- [52] Thalmic Labs. Thalmic - Myo armband, 2021. URL: <http://web.archive.org/web/20220802124936/https://developerblog.myo.com/>.
- [53] Dong-Hoon Lee, Jung-Hyun Kim, Ho-Youn Kim, and Dong-Young Park. Remote Application Control Technology and Implementation of HTML5-based Smart TV Platform. In *Proceedings of the 14th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multi Media*, MoMM '16, pages 208–211, New York, NY, USA, 2016. ACM. doi:10.1145/3007120.3007159.
- [54] Chin Guan Lim, Chin Yi Tsai, and Mike Y. Chen. MuscleSense: Exploring Weight Sensing Using Wearable Surface Electromyography (SEMG). In *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '20, page 255–263, New York, NY, USA, 2020. ACM. doi:10.1145/3374920.3374943.
- [55] Artur Lugmayr, Thomas Risse, Bjoern Stockleben, Kari Laurila, and Juha Kaario. Semantic ambient media—an introduction. *Multimedia Tools and Applications*, 44(3):337–359, Sep 2009. doi:10.1007/s11042-009-0282-z.
- [56] Magic Leap. Home Magic Leap, 2019. URL: <https://www.magicleap.com/>.
- [57] Mark McGill, John H. Williamson, and Stephen Brewster. Examining The Role of Smart TVs and VR HMDs in Synchronous At-a-Distance Media Consumption. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 23(5), November 2016. doi:10.1145/2983530.
- [58] Siddharth Mehrotra. Potmote: A TV Remote Control for Older Adults. In *Proceedings of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ASSETS '18, pages 486–488, New York, NY, USA, 2018. ACM. doi:10.1145/3234695.3240989.
- [59] Microsoft. Microsoft HoloLens, The Leader in Mixed Reality Technology, 2019. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>.
- [60] Microsoft. Kinect - Windows app development, 2021. URL: <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect>.

- [61] Paul Milgram and Herman Colquhoun Jr. A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration. In Yuichi Ohta and Hideyuki Tamura, editors, *Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1999. URL: https://www.researchgate.net/publication/2440732_A_Taxonomy_of_Real_and_Virtual_World_Display_Integration.
- [62] Paul Milgram and Fumio Kishino. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D(12):1321–1329, December 1994. URL: https://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e77-d_12_1321.
- [63] Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi, and Fumio Kishino. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Proc. SPIE*, volume 2351, pages 2351:1–11, 1995. doi:10.1117/12.197321.
- [64] George A. Miller. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2):81, 1956. URL: <http://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0043158>.
- [65] Maria F Montoya, John Muñoz, and Oscar Henao. Design of an Upper Limbs Rehabilitation Videogame with SEMG and Biocybernetic Adaptation. In *Proceedings of the 5th Workshop on ICTs for Improving Patients Rehabilitation Research Techniques, REHAB '19*, page 152–155, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:10.1145/3364138.3364170.
- [66] Christopher Munroe, Yuanliang Meng, Holly Yanco, and Momotaz Begum. Augmented Reality Eyeglasses for Promoting Home-Based Rehabilitation for Children with Cerebral Palsy. In *The Eleventh ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction, HRI '16*, pages 565–565, Piscataway, NJ, USA, 2016. IEEE Press. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2906831.2906981>.
- [67] NASA. NASA TLX | Task Load Index, 2018. URL: <https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/>.
- [68] Timothy Neate, Michael Evans, and Matt Jones. Enhancing Interaction with Dual-Screen Television Through Display Commonalities. In *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video, TVX '17*, pages 91–103, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:10.1145/3077548.3077549.
- [69] Nielsen. Streamers Show Strong Ties with Traditional TV. 2018. URL: <https://www.nielsen.com/us/en/insights/news/2018/streamers-show-strong-ties-with-traditional-tv.html>.
- [70] Tomislav Pejša, Julian Kantor, Hrvoje Benko, Eyal Ofek, and Andrew Wilson. Room2Room: Enabling Life-Size Telepresence in a Projected Augmented Reality Environment. In *Proc. of the 19th ACM Conf. on Computer-Supported Cooperative Work & Social Computing, CSCW '16*, pages 1716–1725, New York, NY, USA, 2016. ACM. doi:10.1145/2818048.2819965.
- [71] Simon T. Perrault, Eric Lecolinet, Yoann Pascal Bourse, Shengdong Zhao, and Yves Guiard. Physical Loci: Leveraging Spatial, Object and Semantic Memory for Command Selection. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, pages 299–308, New York, NY, USA, 2015. ACM. doi:10.1145/2702123.2702126.

- [72] Irina Popovici. Experimental Results on the Accuracy of the Myo Armband for Short-Range Pointing Tasks. In *2020 International Conference on Development and Application Systems (DAS), IEEE*, pages 185–188, 2020. doi:10.1109/DAS49615.2020.9108916.
- [73] Irina Popovici, Ovidiu-Andrei Schipor, and Radu-Daniel Vatavu. Hover: Exploring cognitive maps and mid-air pointing for television control. *International Journal of Human-Computer Studies*, 129:95–107, September 2019. doi:10.1016/j.ijhcs.2019.03.012.
- [74] Irina Popovici and Radu-Daniel Vatavu. Perceived Usability, Desirability, and Workload of Mid-Air Gesture Control for Smart TVs. In *Proceedings of the 15th International Conference on Human Computer Interaction, RoCHI '18*, pages 91–98, 2018. URL: <https://dblp.org/rec/conf/rochi/PopoviciV18>.
- [75] Irina Popovici and Radu-Daniel Vatavu. Consolidating the Research Agenda of Augmented Reality Television with Insights from Potential End-Users. In *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pages 73–74, 2019. doi:10.1109/ISMAR-Adjunct.2019.00033.
- [76] Irina Popovici and Radu-Daniel Vatavu. Understanding Users' Preferences for Augmented Reality Television. In *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pages 269–278, 2019. doi:10.1109/ISMAR.2019.00024.
- [77] Irina Popovici, Radu-Daniel Vatavu, Pu Feng, and Wenjun Wu. AR-TV and AR-Diànshì: Cultural Differences in Users' Preferences for Augmented Reality Television. In *ACM International Conference on Interactive Media Experiences, IMX '21*, page 50–60, New York, NY, USA, 2021. ACM. doi:10.1145/3452918.3458801.
- [78] Irina Popovici, Radu-Daniel Vatavu, and Wenjun Wu. TV Channels in Your Pocket! Linking Smart Pockets to Smart TVs. In *Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video, TVX '19*, pages 193–198, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:10.1145/3317697.3325119.
- [79] Jon Porter. The biggest TVs announced at CES 2019. *The Verge*. 2019. URL: <https://www.theverge.com/2019/1/11/18178601/ces-2019-tvs-sony-samsung-lg-vizio-tcl-panasonic-hisense>.
- [80] Martin Pratt. 2018: The year TV voice control got useful. *Which?* 2018. URL: <https://www.which.co.uk/news/2018/06/2018-the-year-tv-voice-control-got-useful>.
- [81] Jinfeng Rao, Ferhan Ture, Hua He, Oliver Jojic, and Jimmy Lin. Talking to Your TV: Context-Aware Voice Search with Hierarchical Recurrent Neural Networks. In *Proceedings of the 2017 ACM on Conference on Information and Knowledge Management, CIKM '17*, pages 557–566, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:10.1145/3132847.3132893.
- [82] Bernard Renger, Junlan Feng, Ovidiu Dan, Harry Chang, and Luciano Barbosa. VoiSTV: Voice-enabled Social TV. In *Proceedings of the 20th International Conference Companion on World Wide Web, WWW '11*, pages 253–256, New York, NY, USA, 2011. ACM. doi:10.1145/1963192.1963302.
- [83] Jacob M. Rigby, Duncan P. Brumby, Sandy J.J. Gould, and Anna L. Cox. Media Multitasking at Home: A Video Observation Study of Concurrent TV and Mobile Device Usage. In *Proc. of the 2017 ACM Int. Conf. on Interactive Experiences for TV and Online Video, TVX '17*, pages 3–10, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:10.1145/3077548.3077560.

- [84] Christian Rohrer. When to Use Which User-Experience Research Methods, October 2014. URL: <https://www.nngroup.com/articles/which-ux-research-methods/>.
- [85] Garth Shoemaker, Takayuki Tsukitani, Yoshifumi Kitamura, and Kellogg S. Booth. Body-Centric Interaction Techniques for Very Large Wall Displays. In *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*, NordiCHI '10, page 463–472, New York, NY, USA, 2010. ACM. doi:10.1145/1868914.1868967.
- [86] Statista. Smart & Connected TVs - Statistics & Facts, 2019. URL: <https://www.statista.com/topics/3286/augmented-reality-ar/>.
- [87] Statista. Statistics & Facts on Augmented Reality (AR), 2019. URL: <https://www.statista.com/topics/3286/augmented-reality-ar/>.
- [88] Robert A. Stebbins. What is Exploration? In *Exploratory Research in the Social Sciences*. Thousand Oaks, SAGE Publications, Inc., CA, USA, 2001. doi:10.4135/9781412984249.n1.
- [89] Aaron Tabor, Scott Bateman, Erik Scheme, David R. Flatla, and Kathrin Gerling. Designing Game-Based Myoelectric Prosthesis Training. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, pages 1352–1363, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:10.1145/3025453.3025676.
- [90] Wan-Lun Tsai, You-Lun Hsu, Chi-Po Lin, Chen-Yu Zhu, Yu-Cheng Chen, and Min-Chun Hu. Immersive Virtual Reality with Multimodal Interaction and Streaming Technology. In *Proceedings of the 18th ACM International Conference on Multimodal Interaction*, ICMI '16, page 416, New York, NY, USA, 2016. ACM. doi:10.1145/2993148.2998526.
- [91] Eric W.K. Tsang and Kai-Man Kwan. Replication and Theory Development in Organizational Science: A Critical Realist Perspective. *The Academy of Management Review*, 24(4):759–780, October 1999. doi:10.2307/259353.
- [92] Radu-Daniel Vatavu. Point & Click Mediated Interactions for Large Home Entertainment Displays. *Multimedia Tools Appl.*, 59(1):113–128, July 2012. doi:10.1007/s11042-010-0698-5.
- [93] Radu-Daniel Vatavu. User-defined Gestures for Free-hand TV Control. In *Proceedings of the 10th European Conference on Interactive TV and Video*, EuroITV '12, pages 45–48, New York, NY, USA, 2012. ACM. doi:10.1145/2325616.2325626.
- [94] Radu-Daniel Vatavu. A Comparative Study of User-Defined Handheld vs. Freehand Gestures for Home Entertainment Environments. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 5(2):187–211, 2013. doi:10.3233/AIS-130200.
- [95] Radu-Daniel Vatavu. There's a World Outside Your TV: Exploring Interactions Beyond the Physical TV Screen. In *Proceedings of the 11th European Conference on Interactive TV and Video*, EuroITV '13, pages 143–152, New York, NY, USA, 2013. ACM. doi:10.1145/2465958.2465972.
- [96] Radu-Daniel Vatavu. Audience Silhouettes: Peripheral Awareness of Synchronous Audience Kinesics for Social Television. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video*, TVX '15, pages 13–22, New York, NY, USA, 2015. ACM. doi:10.1145/2745197.2745207.
- [97] Radu-Daniel Vatavu. Smart-Pockets: Body-deictic gestures for fast access to personal data during ambient interactions. *International Journal of Human-Computer Studies*, 103:1–21, 2017. doi:10.1016/j.ijhcs.2017.01.005.

- [98] Radu-Daniel Vatavu and Matei Mancas. Visual Attention Measures for Multi-screen TV. In *Proceedings of the ACM Int. Conf. on Interactive Experiences for TV and Online Video*, TVX '14, pages 111–118, New York, NY, USA, 2014. ACM. doi:10.1145/2602299.2602305.
- [99] Radu-Daniel Vatavu, Pejman Saeghe, Teresa Chambel, Vinoba Vinayagamoorthy, and Marian F Ursu. Conceptualizing Augmented Reality Television for the Living Room. In *Proc. of the ACM Int. Conf. on Interactive Media Experiences*, IMX '20, page 1–12, New York, NY, USA, 2020. ACM. doi:10.1145/3391614.3393660.
- [100] Radu-Daniel Vatavu and Ionuț-Alexandru Zaiți. Leap Gestures for TV: Insights from an Elicitation Study. In *Proceedings of the ACM Int. Conf. on Interactive Experiences for TV and Online Video*, TVX '14, pages 131–138, New York, NY, USA, 2014. ACM. doi:10.1145/2602299.2602316.
- [101] Leena Ventä-Olkkonen, Maaret Posti, Olli Koskenranta, and Jonna Häkkinen. User Expectations of Mobile Mixed Reality Service Content. In *Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, MUM '12, pages 52:1–52:2, New York, NY, USA, 2012. ACM. doi:10.1145/2406367.2406430.
- [102] Vicon. Vicon - Motion Capture, 2021. URL: <https://www.vicon.com/>.
- [103] Vinoba Vinayagamoorthy, Maxine Glancy, Paul Debenham, Alastair Bruce, Christoph Ziegler, and Richard Schäffer. Personalising the TV Experience with Augmented Reality Technology: Synchronised Sign Language Interpretation. In *Proceedings of the 2018 ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video*, TVX '18, pages 179–184, New York, NY, USA, 2018. ACM. doi:10.1145/3210825.3213562.
- [104] Dirk Wenig, Johannes Schöning, Alex Olwal, Mathias Oben, and Rainer Malaka. WatchThru: Expanding Smartwatch Displays with Mid-air Visuals and Wrist-worn Augmented Reality. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, pages 716–721, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:10.1145/3025453.3025852.
- [105] Andy Whitefield, Frank Wilson, and John Dowell. A Framework for Human Factors Evaluation. *Behavior & Information Technology*, 10(1):65–79, 1991. doi:10.1080/01449299108924272.
- [106] Jacob O. Wobbrock, Meredith Ringel Morris, and Andrew D. Wilson. User-defined Gestures for Surface Computing. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pages 1083–1092, New York, NY, USA, 2009. ACM. doi:10.1145/1518701.1518866.
- [107] Huiyue Wu, Jinxuan Gai, Yu Wang, Jiayi Liu, Jiali Qiu, Jianmin Wang, and Xiaolong (Luke) Zhang. Influence of Cultural Factors on Freehand Gesture Design. *International Journal of Human-Computer Studies*, 143:102502, 2020. doi:10.1016/j.ijhcs.2020.102502.
- [108] Yukang Yan, Chun Yu, Xiaojuan Ma, Shuai Huang, Hasan Iqbal, and Yuanchun Shi. Eyes-Free Target Acquisition in Interaction Space Around the Body for Virtual Reality. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pages 42:1–42:13, New York, NY, USA, 2018. ACM. doi:10.1145/3173574.3173616.

- [109] Seung-Ho Yang, Hyun-Woo Kim, and Min Young Kim. Human Visual Augmentation Using Wearable Glasses with Multiple Cameras and Information Fusion of Human Eye Tracking and Scene Understanding. In *Proceedings of the 6th International Conference on Human-Robot Interaction, HRI '11*, page 287–288, New York, NY, USA, 2011. ACM. doi:10.1145/1957656.1957774.
- [110] Ionuț-Alexandru Zaiți, Ștefan Gheorghe Pentiuc, and Radu-Daniel Vatavu. On Free-Hand TV Control: Experimental Results on User-Elicited Gestures with Leap Motion. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19(5-6):821–838, 2015. doi:10.1007/s00779-015-0863-y.
- [111] Zenith Media. Media Consumption Forecasts 2018. URL: <https://www.zenithmedia.com/product/media-consumption-forecasts-2018>.
- [112] Xinlei Zhang, Ali Shtarbanov, Jiani Zeng, Valerie K. Chen, V. Michael Bove, Pattie Maes, and Jun Rekimoto. Bubble: Wearable Assistive Grasping Augmentation Based on Soft Inflatables. In *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '19*, page 1–6, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:10.1145/3290607.3312868.