

RAPORT ȘTIINȚIFIC FINAL

privind implementarea proiectului

AUGMENTARE SENZORIALĂ ÎN CONTEXTE DE PERCEPȚIE VIZUALĂ REDUSĂ FOLOSIND TEHNOLOGII INTERACTIVE WEARABLE

în perioada 10 octombrie 2018 – 9 octombrie 2020

Cod proiect	PN-III-P1-1.1-TE-2016-2173
Nr. contract	TE141/2018
Acronim	Senses++
Director proiect	Radu-Daniel VATAVU
Contractor	Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava str. Universității nr. 13 Suceava 720229 România
Pagina web	http://www.eed.usv.ro/mintviz/projects/Senses++

Cuprins

1. INTRODUCERE ÎN TEMATICA ȘI OBIECTIVELE PROIECTULUI	3
Obiectivele proiectului.....	3
Membrii echipei de cercetare	3
Rezultate așteptate, conform planului de realizare și rezultatele obținute	3
2. CONTEXTUL DESFĂȘURĂRII PROIECTULUI DE CERCETARE: STADIUL ACTUAL ÎN REALITATEA AUGMENTATĂ ȘI INTERACȚIUNEA CU DISPOZITIVE WEARABLE SMART	6
2.1. Sisteme de Realitate Augmentată pentru augmentarea vederii.....	6
2.2. Percepția umană și modele ale vederii. Categorii de deficiențe vizuale	9
2.3. Interacțiuni cu dispozitive și sisteme wearable	11
3. ÎNȚELEGEREA NEVOILOR DE AUGMENTARE SENZORIALĂ, ÎN SPECIAL VIZUALĂ, A PERSOANELOR CU ȘI FĂRĂ DEFICIENȚE DE VEDERE	12
3.1. Preferințe privind scenarii potențiale de augmentare a vederii	12
3.2. Augmentarea senzorială prin crearea de legături mnemonice între informația digitală și spațiul fizic.....	15
3.3. Scenarii de augmentare a vederii mediate de ecranul smart TV	17
3.4. Proiectarea de noi metode pentru evaluarea percepției umane în contextul augmentării senzoriale	20
4. PROTOTIPURI ȘI APLICAȚII PENTRU AUGMENTAREA VEDERII FOLOSIND OCHELARI SMART ȘI DISPOZITIVE HEAD-MOUNTED DISPLAY	24
4.1. Life-Tags	24
4.2. FlexiSee: Aplicație software pentru augmentarea vederii în domeniul vizibil folosind Realitatea Augmentată/Mixtă și Hololens HMD.....	29
4.3. MultiVision: Aplicație software pentru controlul vederii augmentate în alte domenii decât cel vizibil folosind dispozitive smart wearable	33
4.4. Implementarea unui prototip pentru feedback vibrotactil la nivelul corpului în vederea asistării percepției vizuale	34
5. TEHNICI DE INTERACȚIUNE GESTUALĂ ȘI VOCALĂ PENTRU CONTROLUL VEDERII AUGMENTATE FOLOSIND DISPOZITIVE WEARABLE	35
5.1. Studiu privind utilizabilitatea aplicației FlexiSee pentru Realitatea Augmentată/Realitatea Mixtă și HoloLens HMD.....	39
5.2. Evaluarea disimilaritate-consens a gesturilor realizate de utilizatori cu dizabilități de vedere	40
6. DISEMINAREA REZULTATELOR ȘTIINȚIFICE	41
6.1. Publicații științifice realizate în cadrul proiectului.....	41
6.2. Colaborări internaționale cu instituții de prestigiu.....	44
6.3. Resurse disponibile în regim open-source	44
REFERINȚE	45



1. INTRODUCERE ÎN TEMATICA ȘI OBIECTIVELE PROIECTULUI

Obiectivele proiectului

Acest proiect de cercetare are drept scop propunerea și dezvoltarea de noi tehnologii interactive pentru furnizarea unei înțelegeri mai bune asupra lumii fizice pentru persoanele cu deficiențe de vedere, dar și pentru persoanele cu vedere normală care se pot regăsi ocazional în situații în care augmentarea vederii le-ar putea oferi avantaje semnificative în realizarea sarcinilor curente, *e.g.*, abilitatea de a vedea la distanțe mai mari sau de a vedea în alte domenii ale spectrului electromagnetic, în afara domeniului vizibil. Prin urmare, proiectul își fixează următoarele obiective privind proiectarea, implementarea și evaluarea de noi prototipuri și tehnici de interacțiune pentru controlul dispozitivelor wearable smart în scopul augmentării percepției vizuale pentru utilizatorii cu și fără deficiențe de vedere, astfel:

- O1. Înțelegerea nevoilor de augmentare senzorială, în special de augmentare vizuală, a persoanelor cu și fără deficiențe de vedere.
- O2. Proiectarea și dezvoltarea de prototipuri wearable pentru augmentarea senzorială și asistarea vederii dar și pentru a crea noi percepții prin intermediul dispozitivelor smart ce pot fi purtate, cum ar fi ochelari, brățări, inele, etc.
- O3. Proiectarea de noi tehnici de interacțiune bazate pe folosirea comenzilor gestuale și vocale pentru operarea eficientă a prototipurilor wearable de augmentare senzorială.

Membrii echipei de cercetare

Echipa proiectului de cercetare este alcătuită din 5 membri:

1. Radu-Daniel Vatavu (prof. univ. dr. ing., conducător de doctorat în domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației), Director de proiect
2. Ovidiu-Andrei Schipor (conf. univ. dr. ing., Calculatoare și Tehnologia Informației)
3. Petruța-Paraschiva Rusu (conf. univ. dr., Psihologie)
4. Bogdan-Florin Gheran (inginer, doctorand în Calculatoare și Tehnologia Informației)
5. Adrian Aiordăchioae (inginer, doctorand în Calculatoare și Tehnologia Informației)

Rezultate așteptate, conform planului de realizare și rezultatele obținute

- **Rezultat așteptat:** Raportele științifice ale etapelor.
Rezultat realizat: Trei rapoarte științifice aferente anilor 2018, 2019 și raportul științific final pentru perioada 2018-2020 cuprinzând un număr total de 113 pagini și detaliind progresul realizat și rezultatele obținute. Rapoartele sunt disponibile pe pagina web a proiectului.
- **Rezultat așteptat:** Pagina web a proiectului de cercetare.
- **Rezultat realizat:** Pagina web <http://www.eed.usv.ro/mintviz/projects/Senses++>, realizată din prima lună de implementare a proiectului și actualizată periodic, cuprinde informații privind rezultatele obținute, publicațiile științifice realizate, resursele (aplicații software, seturi de date, diagrame) furnizate comunității științifice în regim open-source, precum și resurse multimedia (filme YouTube) destinate diseminării rezultatelor proiectului în cadrul publicului larg.

- **Rezultat așteptat:** Articole științifice în reviste și/sau participări la conferințe de prestigiu.

Rezultat realizat: Un număr de **16 articole științifice**, dintre care un articol publicat într-o revistă Q₁ cu un factor de impact 3.813 (5-YR IF: 4.123); 3 articole publicate în reviste editate de către Academia Română, respectiv asociația ACM; și 12 articole publicate la conferințe cu volume indexate sau în curs de indexare Web of Science, respectiv disponibile în bazele de date internaționale ACM Digital Library, IEEE Xplore, Scopus și DBLP. Dintre acestea, **trei lucrări au primit distincții**, după cum urmează: **Honorable Mention Award** din partea ACM SIGCHI (ACM Special Interest Group on Computer-Human Interaction) pentru lucrarea (Vanderdonckt, Zen și Vatavu, 2019) privind metoda AB4Web; **Honorable Mention Award** din partea ACM pentru lucrarea (Vatavu *et al.*, 2020) privind conceptualizarea ARTV în contextul vederii augmentate mediate de televiziunea smart interactivă; respectiv **Best Tech Note Award** din partea ACM pentru lucrarea (Magrofuoco, Roselli, Vanderdonckt, Perez-Medina, Vatavu, 2019) privind conceptul GestMan pentru managementul seturilor de comenzi gestuale pentru aplicații interactive. De asemenea, articolul (Schipor și Vatavu, 2018), publicat în revista IEEE Pervasive Computing (Q₁), este nominalizat pentru **Premiile Academiei Române 2020**.¹ Un număr de **alte 3 articole** se află în evaluare la data redactării acestui raport în cadrul revistei Multimedia Tools and Applications, Springer (IF 2.313), dintre care unul în faza finală (Minor Revisions Required). Lucrările științifice sunt disponibile pe pagina web a proiectului de cercetare.

- **Rezultat așteptat:** Set de date experimentale privind vederea augmentată.

Rezultat realizat: Trei seturi de date, după cum urmează:

- Un set de date cu **6,240 observații experimentale** privind dorințele și preferințele de vedere augmentată, colectate sub formă de evaluări personale cu scale Likert în cinci puncte de la un număr de **195 de participanți** ai unui studiu organizat mixt in-situ și online, dintre care interviuri organizate in-situ cu 17 participanți cu deficiențe de vedere.
- Un set de date cu **3,440 observații experimentale** privind dorințele și preferințele de vedere augmentată în contextul televiziunii interactive (ARTV), colectate sub formă de evaluări personale cu scale Likert în cinci puncte de la un număr de **172 de participanți**.
- Un set de date cu **1,680 observații experimentale** reprezentând preferințele a **20 de participanți** pentru augmentarea senzorială dincolo de simțurile vizual, auditiv și tactil, colectate folosind un sistem automat de detecție și urmărire a mișcării de tip Vicon cu șase camere IR și precizie sub-milimetrică.

Seturile de date, în format CSV, sunt disponibile pe pagina web a proiectului de cercetare sub o licență liberă care permite re folosirea lor în scop exclusiv de cercetare științifică pentru obținerea de noi rezultate și avansarea stadiului cunoașterii în tehnologii asistive.

- **Rezultat așteptat:** Prototipuri wearable pentru augmentarea vederii.
- **Rezultat realizat:** Un număr de **4 prototipuri de sisteme wearable și aplicații software pentru dispozitive wearable** dezvoltate pentru demonstrarea augmentării vederii, după cum urmează:

¹ Rezultatele vor fi anunțate în luna decembrie 2020.



- **Life-Tags**, un sistem wearable bazat pe ochelari smart cu cameră video încorporată, care permite stocarea și abstractizarea experienței vizuale a utilizatorului implementând principii specifice fenomenului lifelogging.
- **Flexi-See**, o aplicație software pentru casca HMD de Realitate Mixtă Microsoft HoloLens pentru aplicarea de filtre vizuale configurabile și personalizabile destinate augmentării vederii în domeniul vizibil, controlată folosind dispozitive mobile și wearable smart.
- **MultiVision**, o aplicație software pentru ochelarii smart de Realitate Augmentată Vuzix Blade pentru implementarea vederii în afara domeniului vizibil (vedere nocturnă, vedere termică, vedere la distanță), controlată folosind ceasul smart Samsung Gear Fit 2.
- **O brățară pentru feedback vibrotactil** proiectată cu 8 micro-motoare controlabile de pe orice dispozitiv compatibil Bluetooth Low Energy (de exemplu, telefoane smart), pentru augmentarea vederii pe baza principiului substituției senzoriale.

Pagina web a proiectului de cercetare conține cod sursă în format open-source sub licență New BSD precum și alte resurse (diagrama hardware a brățării pentru feedback vibrotactil) și filme demonstrative (disponibile pe YouTube) privind funcționalitatea acestor prototipuri.

- **Rezultat așteptat:** Tehnici de interacțiune software pentru controlul vederii augmentate.
- **Rezultat realizat:** Tehnici de interacțiune bazate pe comenzi vocale (pentru ochelarii AR Vuzix Blade) și gestuale (demonstrate cu ceasul smart Samsung Gear Fit 2) implementate în cadrul prototipurilor pentru augmentarea vederii, care au fost informate de studii și analize privind preferințele utilizatorilor cu deficiențe de vedere privind interacțiunea bazată pe comenzi gestuale (Vatavu și Vanderdonckt, 2020), caracteristicile execuției gestuale a utilizatorilor obținute folosind metode de analiză a consensului (Vatavu, 2020), precum și privind comenzi vocale pentru ochelari smart și aplicații de asistare a vederii (Aiordăchioae *et al.*, 2020b).

Aceste rezultate depășesc, prin numărul de publicații științifice, numărul de implementări și seturi de date, așteptările din planul de realizare. Mai mult, **suplimentar față de rezultatele așteptate**, am propus **noi metode** pentru colectarea și analiza preferințelor utilizatorilor pentru scenarii interactive, dintre care patru au fost deja publicate în cadrul a două conferințe ACM/IEEE de rang **ARC A*** (Vatavu, 2019; Popovici și Vatavu, 2019a), o revistă Q_1 cu IF 3.813 (Schipor și Vatavu, 2018), respectiv un articol distins cu **Honorable Mention Award** în cadrul Proceedings of the ACM (Vanderdonckt, Zen și Vatavu, 2019), iar o altă metodă privind înțelegerea nevoilor și preferințelor de augmentare a vederii se află în curs de recenzie. De asemenea, am căutat oportunități de diseminare cât mai largi pentru rezultatele obținute în cadrul proiectului, și anume în aria de interes a Realității Augmentate (IEEE ISMAR 2019, conferință de rang **A***, conform ARC CORE), media interactivă (conferințele ACM TVX 2019 și ACM IMX 2020), ingineria sistemelor interactive (ACM EICS 2019, ACM PACMHCI 2019, IEEE DAS 2020), e-Health (IEEE EHB 2019), tehnologia asistivă proiectată pentru binele social (GoodTechs 2020), respectiv în cadrul conferințelor principale ale domeniului interacțiunii om-calculator (ACM CHI 2019, rang **A*** cf. ARC CORE, ACM MobileHCI 2020, ACM DIS 2020). În plus, am căutat domenii aplicative diverse pentru vederea augmentată, dintre care am identificat televiziunea augmentată, propunând prima conceptualizare a

noțiunii ARTV în cadrul unui articol (Vatavu *et al.*, 2020) premiat cu distincția **Honorable Mention Award** de către ACM SIGCHI în cadrul ACM IMX 2020.

Acest raport este organizat în patru mari capitole, dintre care Capitolul 2 cuprinde o trecere în revistă a contextului științific în care s-a desfășurat prezentul proiect de cercetare, reprezentat de o discuție a stadiului actual în ceea ce privește Realitatea Augmentată pentru augmentarea vederii și tehnici de interacțiune folosind sisteme și dispozitive wearable. Fiecare dintre capitolele următoare detaliază rezultatele obținute privind cele trei obiective ale proiectului: înțelegerea nevoilor de augmentare vizuală (Capitolul 3), proiectarea și dezvoltarea de prototipuri wearable pentru augmentarea vederii (Capitolul 4), respectiv tehnici de interacțiune pentru vederea augmentată folosind comenzi gestuale și vocale (Capitolul 5). Raportul se încheie cu enumerarea lucrărilor științifice publicate și a resurselor disponibile pentru comunitatea științifică.

2. CONTEXTUL DESFĂȘURĂRII PROIECTULUI DE CERCETARE: STADIUL ACTUAL ÎN REALITATEA AUGMENTATĂ ȘI INTERACȚIUNEA CU DISPOZITIVE WEARABLE SMART

Începem acest raport de cercetare prin prezentarea unui rezumat al principalelor rezultate științifice din domeniile cheie pentru tematica acestui proiect: Realitatea Augmentată (cu accent pe dispozitive de augmentare a vederii de tipul ochelarilor smart), percepția umană (cu modele ale vederii și aplicații ale acestora), respectiv interacțiunea cu dispozitive smart wearable. Metoda adoptată pentru identificarea și analiza stadiului actual al cunoașterii și poziționarea corespunzătoare a contribuțiilor acestui proiect constă în trei etape (definirea scopului, extragerea cunoștințelor, analiza) ilustrate vizual în figura 1.

2.1. Sisteme de Realitate Augmentată pentru augmentarea vederii

Sistemele de Realitate Augmentată (AR) au drept obiectiv îmbunătățirea percepției utilizatorului asupra lumii fizice înconjurătoare în vederea îndeplinirii mai eficiente a sarcinilor. Conform definiției consacrate (Azuma, 1997), un sistem AR combină lumea fizică cu cea virtuală, este 3D, interactiv și răspunde în timp real. Conform Milgram și Kishino (1994) și Milgram *et al.* (1995), sistemele AR se plasează pe linia continuă real-virtual (en.: *Reality-Virtuality Continuum*), de-a lungul căreia pot fi instanțiate diverse tipuri de Realități Mixte (MR) de la medii complet reale la cele pur virtuale (VR), dar și medii cu elemente combinate, cum ar fi cazurile hibride ale sistemelor de virtualitate augmentată (Milgram *et al.*, 1995).

Cercetările și dezvoltările în domeniul AR/MR au fost rezumate și analizate critic în cadrul unor lucrări cuprinzătoare de tip survey. De exemplu, Billinghurst *et al.* (2015) au realizat o evaluare a aproximativ 50 de ani de cercetare AR/MR, începând cu primele sisteme interactive implementate în anii 1960 până la aplicațiile AR disponibile astăzi pentru dispozitive mobile smart, oferind totodată și o discuție privind definițiile adoptate în comunitatea științifică pentru a specifica și formaliza astfel de sisteme. Alte studii de tip survey s-au concentrat pe anumite domenii aplicative, cum ar fi Bekele *et al.* (2018), care au efectuat o trecere în revistă a aplicațiilor VR, AR, MR relevante pentru domeniul patrimoniului cultural, respectiv Thomas (2012) care a discutat sisteme AR pentru jocuri video. Dey *et al.* (2018), într-o evaluare



a peste 300 de studii publicate între anii 2005 și 2014 privind utilizabilitatea sistemelor și aplicațiilor AR, au identificat următoarele caracteristici și limitări ale studiilor din literatura domeniului: (a) lipsa de studii pilot în procesul experimental, (b) numărul mic de experimente realizate în condiții reale de utilizare, majoritatea experimentelor reprezentând de fapt studii desfășurate în laborator, (c) utilizarea unui design experimental de tip *within-subjects* în aproximativ 73% dintre studiile existente în domeniu, a unui design experimental *between-subjects* în 15% dintre studii și a unui design factorial mixt în doar 4% din cazurile analizate, (d) cadrul experimental utilizat a fost unul cantitativ în 25% dintre studii, calitativ în 27% și mixt în 48%, (e) sarcinile experimentale utilizate în cele mai multe studii au implicat evaluarea performanței utilizatorilor (61%), completarea de chestionare (50%), efectuarea de sarcini perceptuale (18%), interviuri (14%) și sarcini de colaborare (7%) și, respectiv, (f) majoritatea studiilor din literatura AR au fost realizate pe eșantioane de studenți cu vârste până în 30 de ani.

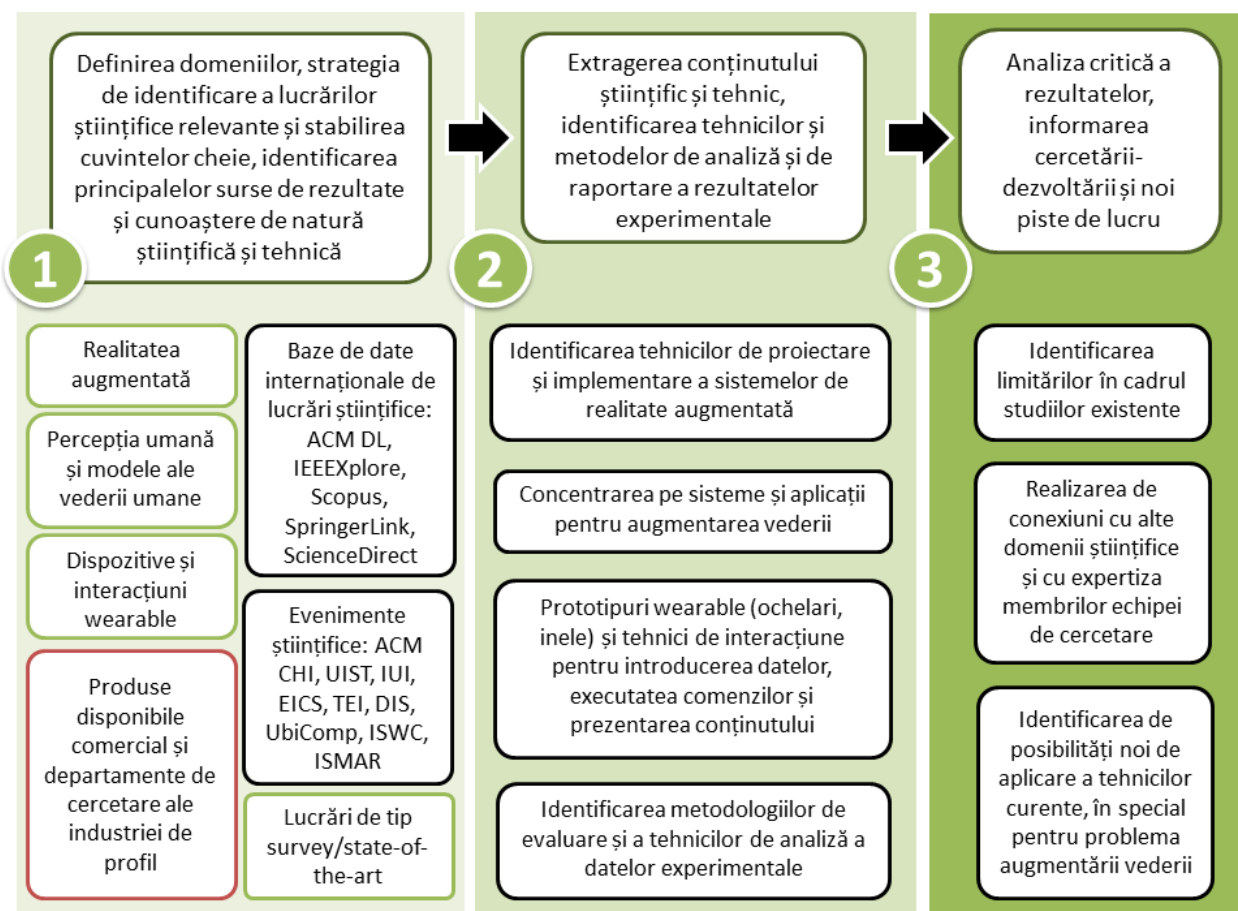


Figura 1. Metoda adoptată, în trei etape, pentru analiza stadiul curent al cunoașterii în Realitatea Augmentată, percepția umană, modele ale vederii și dispozitive wearable smart pentru stabilirea contextului acestui proiect și poziționarea corespunzătoare a contribuțiilor obținute.

Kim *et al.* (2018) au identificat cinci teme ca fiind cele mai abordate în studiile publicate în cadrul ISMAR,² și anume *sisteme mobile, reconstruction, tracking, AR applications* și *evaluation*, concluzionând cu necesitatea realizării de evaluări. De asemenea, aceiași autori au propus ca studiile care examinează diverse aspecte ale sistemelor AR să ia în considerare și factorii sociali, psihologici și culturali. În acest sens, Kim *et al.* (2016) au raportat că răspunsurile participanților la studii AR sunt influențate nu doar de factori externi (*e.g.*, legați de tehnologia propriu-zisă) dar și interni (*e.g.*, trăsăturile de personalitate ale participanților). Pentru a exemplifica metodologia utilizată în cadrul studiilor de evaluare a sistemelor AR pentru persoanele cu deficiențe de vedere, folosim exemplul oferit de către Kinatader *et al.* (2018), care au testat o aplicație ce transformă informația spațială în tipare vizuale cu contrast ridicat. Eficacitatea aplicației a fost analizată în cadrul a două experimente ce au adresat localizarea persoanelor, recunoașterea pozițiilor și obiectelor, respectiv mobilitatea: un studiu realizat pe patru persoane cu deficiențe de vedere și un studiu cu 48 de participanți cărora le-au fost induse dificultăți de vedere. Rezultatele au arătat faptul că utilitatea aplicației AR evaluată în lucrarea (Kinatader *et al.*, 2018) a variat atât în funcție de sarcinile de rezolvat cât și de gradul de deficiență vizuală al participanților la studiu.

Pentru a adresa corespunzător ultimul aspect, sistemele AR și-au găsit aplicații ca și tehnologie asistivă pentru percepția vizuală. De exemplu, Szpiro *et al.* (2016a, 2016b) au arătat că utilizatorii cu deficiențe de vedere preferă să acceseze informația mai degrabă vizual decât aural și, prin urmare, au accentuat nevoia de a dezvolta astfel de soluții asistive. Drept răspuns, o serie de prototipuri au fost realizate în comunitatea științifică, cum ar fi CueSee, un sistem wearable care combină tehnici de viziune artificială și AR pentru a asista utilizatorii în efectuarea de sarcini de căutare vizuală (Zhao *et al.*, 2016), respectiv sistemul ForeSee, dezvoltat de Zhao *et al.* (2015), care folosește o cameră video și Oculus Rift, un dispozitiv de tip HMD, pentru a prezenta utilizatorilor versiuni procesate ale realității vizuale, cum ar fi magnificări, un contrast îmbunătățit, muchii accentuate, sau detecția și recunoașterea textului. Un alt exemplu este Chroma (Tanuwidjaja *et al.*, 2014), un sistem care permite persoanelor cu deficiențe de vedere accesul la o variantă augmentată a realității vizuale în funcție de tipul specific de daltonism. De asemenea, o serie de realizări provenind din mediul industrial au fost făcute disponibile în această direcție. De exemplu, aplicația Seeing AI³ pentru telefoanele smart narează lumea înconjurătoare prin prisma textului, persoanelor sau obiectelor detectate în mediul ambiental; iar Microsoft Soundscape⁴ folosește tehnologia audio pentru a permite persoanelor cu deficiențe de vedere să se orienteze mai bine și să navigheze mai eficient în spații publice.

Augmentarea realității în vederea oferirii unei mai bune percepții asupra lumii fizice înconjurătoare sau a lumii augmentate digital nu este însă limitată la o augmentare pur vizuală. Furnizarea de feedback haptic, de exemplu prin vibrații controlate la nivelul diverselor părți ale corpului, poate reprezenta o modalitate eficientă de a obține informații privind lumea fizică sau în relație cu lumea virtuală. De

² Conferința IEEE ISMAR (International Symposium on Mixed and Augmented Reality), clasificată A* conform ARC CORE, reprezintă evenimentul principal al comunității științifice interesate de Realitatea Augmentată și Mixtă. Lucrarea (Popovici și Vataavu, 2019), realizată în cadrul acestui proiect, a fost publicată la IEEE ISMAR 2019.

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

⁴ <https://www.microsoft.com/en-us/research/product/soundscape/>



exemplu, Vatavu *et al.* (2016) au introdus conceptul “digital vibrons” pentru a formaliza manifestări ale obiectelor virtuale în lumea fizică concretizate în vibrații furnizate de un dispozitiv purtat pe deget. Astfel, obiectele digitale pot fi extrase din mediul lor nativ, cum ar fi reprezentarea vizuală de pe ecranul unui telefon smart, susținute în mână în prinderea creată de degetul mare și cel arătător și, respectiv, deplasate în cadrul lumii fizice. Pe toată perioada manipulării, obiectele digitale își fac simțită prezența în mâna utilizatorului sau în mediul încojurător prin intermediul unor vibrații, a căror intensitate și frecvență codifică tipul obiectului reprezentat și manipulat (Vatavu *et al.*, 2016).

2.2. Percepția umană și modele ale vederii. Categoriile de deficiențe vizuale

Modelele curente ale vederii umane din literatura științifică pot fi clasificate în trei categorii în funcție de perspectiva folosită pentru modelare: neurobiologică, cognitivă și neurocognitivă.

Abordarea neurobiologică consideră structurile anatomice responsabile pentru conversia spectrului electromagnetic din domeniul vizibil în reprezentări potrivite procesării interne în cadrul creierului. De exemplu, Hubel și Wiesel (1968, 2004) au arătat faptul că neuronii care îndeplinesc aceeași funcție cu caracter vizual sunt grupați într-o structură ierarhică, în cadrul căreia fiecare nivel al ierarhiei furnizează cortexului vizual o serie de caracteristici specifice pentru informația vizuală receptată din lumea fizică. Percepția vizuală reprezintă rezultatul interacțiunilor dintre diversele regiuni corticale (Bar *et al.*, 2001) conectate ierarhic (Crick, 1984). Perspectiva cognitivă asupra vederii umane organizează percepția vizuală sub forma unor module de procesare (Marr, 1982) care transformă un *input* (*i.e.*, două matrice 2D corespunzând razelor luminoase care ating retina fiecărui ochi) într-un *output* (*i.e.*, un model intern 3D al realității vizuale). În acest sens, modelul Marr (1982) face distincția dintre *procesarea primară*, activată în faza pre-atențională a vederii reprezentată de primele 200 ms și centrată pe caracteristici cum ar fi muchii, texturi, culori, locații și viteze, și *procesarea secundară* necesară efectuării de sarcini complexe, cum ar fi identificarea obiectelor, pentru care este nevoie de legătura cu memoria de lungă durată. Perspectiva neurocognitivă mediază cele două abordări anterioare conectând modelul de procesare input-output cu structurile anatomice ale sistemului vizual (Kosslyn, 1999).

Modelele vederii au fost examinate în literatură pentru efectuarea de sarcini folosind dispozitive interactive. De exemplu, Schipor și Vatavu (2017a, 2017b) au analizat diverse modele ale vederii din perspectiva aplicabilității pentru interacțiunea cu ecranele tactile pentru persoanele cu deficiențe de vedere și au scos în evidență o serie de conexiuni între caracteristicile vizuale ale informației afișate pe ecrane (cum ar fi mărimea, forma, culoarea, contrastul, etc.) și capacitatea diverselor modele ale vederii umane de a explica performanțele utilizatorilor în folosirea ecranelor tactile în condiții de manipulare experimentală a caracteristicilor menționate.

În continuarea acestei secțiuni, prezentăm pe scurt o serie de aspecte privind încadrarea dizabilităților de ordin vizual. Dizabilitatea vizuală reprezintă o abilitate diminuată a unei persoane de a vedea într-un grad care determină probleme ce nu pot fi rezolvate prin mijloace corective, cum ar fi prescrierea și purtarea de ochelari. La nivel internațional, afecțiunile vederii sunt clasificate de către IDC-11, versiunea

11 a International Classification of Diseases⁵. La nivel național, statul român recunoaște patru categorii de deficiențe de vedere (referite drept handicap de vedere), conform MO nr. 885 bis/27.12.2007: handicap ușor, mediu, accentuat și grav. De exemplu, handicapul ușor presupune existența unor semne de probleme vizuale însă vederea aproape normală poate fi restaurată prin intermediul purtării de ochelari de corecție. Handicapul mediu presupune necesitatea utilizării de lupe de putere scăzută sau folosirea de font-uri mari pentru citire, persoanele din această categorie putând efectua totuși activități lucrative care nu se bazează prioritar pe stimulii vizuali. Handicapul accentuat se aplică persoanelor care întâmpină probleme în orientarea spațială sau în acomodarea la diverse niveluri de luminozitate, în timp ce handicapul grav cuprinde dificultăți considerabile de orientare spațială, precum și nevoia de asistență, informația fiind obținută exclusiv prin surse non-vizuale, *i.e.*, cărți audio, limbaj Braille, etc. Vatavu (2017a) prezintă o discuție amplă asupra dizabilității vizuale centrată pe folosirea dispozitivelor mobile smart de către utilizatorii cu deficiențe de vedere. Pentru a completa discuția din această secțiune și pentru a ilustra efectele diverselor tipuri de deficiențe vizuale, figura 2 prezintă rezultatele obținute cu ajutorul unei aplicații software de simulare (Impairment Simulation Software⁶) privind degenerescenta maculară, retinopatia diabetică, glaucom, daltonism, cataractă, respectiv pierderea acuității vizuale.



Figura 2. Simulare a diverselor tipuri de deficiențe de vedere: (a) imaginea originală, (b) degenerescentă maculară, (c) retinopatie diabetică, (d) glaucom, (e) daltonism, (f) cataractă, (g,h) pierderea acuității vizuale. Imagini produse folosind simulatorul Impairment Simulation Software.

⁵ <https://icd.who.int/browse11/l-m/en#/http%3a%2f%2fid.who.int%2fid%2fentity%2f868865918>

⁶ <http://www.inclusivedesign toolkit.com/simsoftware/simsoftware.html>



2.3. Interacțiuni cu dispozitive și sisteme wearable

Dispozitivele wearable folosite pentru implementarea sistemelor AR sunt reprezentate de ochelari smart și căști HMD, *e.g.*, Microsoft Hololens⁷, Magic Leap⁸, Vuzix Blade⁹, pentru a menționa doar câteva exemple. Ochelarii smart conțin lentile ce reflectă imaginile proiectate de un dispozitiv de redare. Dintre funcționalitățile acestora putem aminti fotografierea și filmarea, detecția și urmărirea privirii, oferirea de access la servicii de telefonie mobilă prin conexiunea cu un telefon smart, navigație GPS, redarea de conținut multimedia, monitorizarea activității și stării de sănătate, integrarea cu rețelele sociale, etc. De exemplu, Wang *et al.* (2018) au descris o tehnică pentru îmbunătățirea comunicării pentru persoanele cu deficiențe de vedere folosind ochelari smart; Popleteev *et al.* (2015) au introdus Colorizer, o aplicație dezvoltată pentru a crea contraste puternice între culori în vederea asistării vederii pentru persoanele cu discromatopsie; Xu *et al.* (2015) au implementat un sistem eficient de recunoaștere a persoanelor folosind ochelari smart; Bobin *et al.* (2016) au dezvoltat un sistem pentru monitorizarea stării de sănătate și oferirea de informații relevante pacienților cu probleme vasculatorii; iar Hellmund *et al.* (2018) au propus o aplicație de recunoaștere facială folosind ochelari smart.

În ceea ce privește interacțiunea cu conținutul afișat de ochelarii smart/AR, putem distinge trei categorii: interacțiune folosind dispozitive externe, interacțiune tactilă și interacțiune non-tactilă. Folosirea dispozitivelor externe ochelarilor, cum ar fi telefonul mobil, ceasuri smart, trackpad-uri, etc., reutilizează eficient experiența utilizatorilor de a interacționa cu alte sisteme informatice; de exemplu, ochelarii Sony SmartEyeglass¹⁰ și Epson Moverio¹¹ se încadrează în această categorie. De asemenea, pentru introducerea de text, un dispozitiv extern permite utilizatorilor să opereze un cursor și să selecteze caractere pe o tastatură virtuală; Microsoft Hololens oferă un astfel de suport. Diverse tipuri de tastaturi virtuale au fost evaluate în literatură pentru ochelarii smart, printre care Dasher (Ward *et al.*, 2000), AZERTY și QWERTY (McCall *et al.*, 2015). Interacțiunea cu ochelarii smart folosind atingeri efectuate pe ramele ochelarilor reprezintă o altă modalitate de a efectua selecții, introduce text (folosind spre exemplu acțiunea de glisare, vezi Grossman *et al.*, 2015), respectiv pentru a confirma comenzi. De exemplu, rezultatele experimentale raportate de către Yu *et al.* (2016) au arătat o rată de introducere a textului de 19 cuvinte pe minut (WPM). O altă abordare în scopul introducerii de text este reprezentată de tastarea acestuia pe un alt dispozitiv conectat cu ochelarii, cum ar fi un ceas smart (Ahn *et al.*, 2017). O altă modalitate de a interacționa cu conținutul redat de ochelarii smart este reprezentată de gesturi executate în aer, respectiv mișcări ale capului și corpului. De exemplu, Yu *et al.* (2015) au propus diverse comenzi gestuale pentru selectarea unui obiect virtual, rotirea, modificarea dimensiunii, respectiv schimbarea proprietăților obiectului respectiv. Tastatura virtuală operată prin gesturi propusă de către Jung *et al.* (2014) se încadrează de asemenea în această categorie.

⁷ <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>

⁸ <https://www.magicleap.com/>

⁹ <https://www.vuzix.com/products/blade-enterprise>

¹⁰ <https://developer.sony.com/develop/smarteyeglass-sed-e1/>

¹¹ <https://moverio.epson.com/>

3. ÎNȚELEGEREA NEVOILOR DE AUGMENTARE SENZORIALĂ, ÎN SPECIAL VIZUALĂ, A PERSOANELOR CU ȘI FĂRĂ DEFICIENȚE DE VEDERE

În vederea înțelegerii preferințelor utilizatorilor potențiali ai aplicațiilor de augmentare senzorială și, în special, de augmentare a vederii, am realizat **trei studii sub forma de experimente controlate**, care au adresat: (1) solicitarea și colectarea preferințelor pentru diverse scenarii posibile a vederii augmentate, (2) cuantificarea augmentării senzoriale în afara canalelor vizual, auditiv și tactil prin crearea de legături mnemonice între informația digitală și spațiul fizic, respectiv (3) aplicarea augmentării vizuale în cadrul unui domeniu practic reprezentat de Realitatea Augmentată mediată de ecranul TV, *i.e.*, augmentarea vizuală a conținutului media folosind unul dintre cele mai răspândite dispozitive electronice în mediul casnic. Aceste trei studii au implicat un **număr total de 387 de participanți** și au constatat în aplicarea de chestionare specifice solicitând preferințele acestora cu ajutorul unor scale Likert cu 5 și respectiv 7 itemi (Popovici și Vatavu, 2019a; Rusu *et al.*, 2019; Schipor și Vatavu, 2018), efectuarea de măsurători numerice folosind echipamente profesionale de detecție și urmărire a mișcării (Vicon, cu o precizie sub-milimetrică) pentru cuantificarea augmentării senzoriale în contextul ancorării informației digitale în spațiul fizic (Schipor și Vatavu, 2018), respectiv calculul consensului dintre preferințele manifestate de către participanții la aceste studii (Popovici și Vatavu, 2019a; Schipor și Vatavu, 2018).

3.1. Preferințe privind scenarii potențiale de augmentare a vederii

Pentru a înțelege nevoile, dorințele și preferințele utilizatorilor potențiali ai aplicațiilor de augmentare a vederii folosind diverse tehnologii (*e.g.*, AR/MR, viziune artificială și recunoașterea formelor, dispozitive wearable), am proiectat și implementat un studiu de solicitare a acestor preferințe folosind chestionare online (Google Forms) și tehnica interviului semi-structurat. În acest sens, am elaborat în prealabil o taxonomie privind augmentarea vederii prin identificarea unui număr de **32 de scenarii distincte de augmentare vizuală**, incluzând scenarii studiate anterior în literatura domeniului, *e.g.*, Zhao *et al.* (2015, 2016), precum și extinzând sfera acestora către noi oportunități aplicative. Am grupat cele 32 de scenarii în patru categorii de augmentare vizuală, și anume: (1) augmentarea vederii pentru atingerea parametrilor considerați normali pentru vederea umană (*e.g.*, vedere în parametri normali de aproape sau la distanță) implementată de scenariile S_1 - S_8 prezentate în continuare; (2) extinderea vederii folosind senzori (*e.g.*, vedere panoramică oferită de camere video cu câmp de 360°), conform scenariilor S_9 - S_{16} ; (3) augmentarea vederii prin folosirea de tehnologii AI (Artificial Intelligence) / ML (Machine Learning) / CV (Computer Vision), conform scenariilor S_{17} - S_{24} (*e.g.*, vedere augmentată prin recunoașterea automată a fețelor sau a altor obiecte de interes); respectiv (4) extinderea vederii umane în alte domenii ale spectrului electromagnetic decât cel vizibil (*e.g.*, aprecierea de la distanță a temperaturii obiectelor), scenariile S_{25} - S_{32} . Cele 32 de scenarii au fost formulate ca și afirmații descriind pentru participanții la studiu diverse nevoi sau dorințe de augmentare a vederii, *e.g.*, “*Aș dori / aș avea nevoie de tehnologie care să îmi permită să am o vedere periferică mai bună*”, pentru care am solicitat gradul de acord:

- S1. Să văd mai bine la distanță (la câțiva metri)
- S2. Să văd mai bine de aproape (la câțiva cm)
- S3. Să văd culorile mai clar



- S4. Să văd cu un contrast mai bun
- S5. Să văd mai bine atunci când este lumină puternică
- S6. Să am o vedere periferică mai bună
- S7. Să văd mai bine noaptea
- S8. Să văd mai multe detalii ale obiectelor la care privesc, fără să fie nevoie să mă apropiu (rezoluție mai bună a vederii)
- S9. Să văd din unghiuri inaccesibile în mod obișnuit (ex: în spatele unui obiect, după un colț)
- S10. Să văd în locuri în care nu mă aflu (ex: la 2 km distanță), ca și cum aș fi acolo
- S11. Să văd din perspectiva unei alte persoane (shared vision)
- S12. Să văd cu încetinitorul (slow motion)
- S13. Să văd panoramic la 360 de grade în jurul meu
- S14. Să văd aceeași scenă din mai multe unghiuri în același timp (ex.: stânga, dreapta, sus, etc.)
- S15. Să revăd o acțiune care tocmai s-a întâmplat
- S16. Să văd în spatele meu
- S17. Să fie recunoscute automat și evidențiate pentru mine obiectele de interes (indicatoare, telefonul, etc.)
- S18. Să nu fiu distras de obiecte neimportante din fundal: aceste obiecte să fie eliminate sau estompate
- S19. Să aud textul pe care îl privesc, de ex. numele unei strazi pe un indicator (text to speech)
- S20. Să pot identifica ușor persoanele cu care vorbesc (face recognition)
- S21. Să pot identifica ușor expresia feței sau emoția persoanelor cu care vorbesc (emotion recognition)
- S22. Să văd mai bine mișcarea și obiectele care se mișcă
- S23. Să pot identifica vizual locul de unde provine sunetul
- S24. Să văd informații suplimentare (ex. text sau grafică) lângă obiectele spre care privesc (realitate augmentată)
- S25. Să apreciez mai bine distanța față de obiecte
- S26. Să văd prin obiecte, ca și cum ar fi transparente (X-rays)
- S27. Să pot vedea când este întuneric total (infrared)
- S28. Să văd temperatura obiectelor (thermal vision)
- S29. Să pot distinge mai multe culori decât disting acum
- S30. Să identific doar cu vederea materialul din care sunt făcute obiectele spre care privesc
- S31. Să văd undele radio și comunicațiile Internet wireless
- S32. Să văd radiația solară ultravioletă (UV)

Răspunsurile solicitate de la participanți pentru fiecare scenariu au vizat evaluarea nevoilor, dorințelor și preferințelor acestora pentru scenariului respectiv în conformitate cu o serie de variante de răspuns sub forma de scale Likert cu 5 itemi, astfel: 1 – Foarte puțin/Deloc (nu se aplică în cazul meu), 2 – Puțin, 3 – Sunt indecis (tehnologie benefică, dar nu o doresc în mod neapărat), 4 – Mult, 5 – Foarte mult (este deosebit de important pentru mine). În plus, pentru participanții cu dizabilități de vedere, am colectat diverse informații privind vederea lor funcțională la momentul desfășurării studiului prin intermediul testului Visual Functioning Questionnaire (Mangione, 2001) care cuprinde întrebări specifice, cum ar fi: *“Cât de mari dificultăți aveți atunci când munciți sau vă ocupați de hobby-uri care necesită să vedeți de aproape, cum ar fi gătitul, cusutul, reparațiile casnice sau folosirea uneltelor?”* sau *„Din cauza problemelor de vedere, cât de mari dificultăți aveți în a găsi un obiect pe o etajeră plină de lucruri?”* De asemenea, am folosit chestionarul Subjective Well-Being Scale (Lyubomirsky and Lepper, 1999) pentru a

aprecia starea de bine a participanților, din cadrul căruia am folosit șase întrebări/afirmații, de exemplu: *“Nu ies singur din casă din cauza problemelor mele de vedere”* sau *“Unii oameni sunt în general fericiți. Se bucură de viață indiferent de ceea ce li se întâmplă, văzând numai lucrurile bune. În ce măsură vi se potrivește dumneavoastră această descriere?”* Pe lângă aceste chestionare și scale cu răspunsuri predefinite, am folosit pentru participanții cu dizabilități de vedere metoda interviului semi-structurat centrat pe scenariile S_1 - S_{32} identificate în cadrul taxonomiei noastre de augmentare a vederii.

Am aplicat aceste instrumente în cadrul unui studiu la care au participat 17 persoane cu diverse tipuri de deficiențe de vedere (7 bărbați și 10 femei) cu vârste cuprinse între 17 și 73 ani ($M=25.1$, $SD=16.8$ ani); figura 3 prezintă câteva fotografii surprinse în timpul studiului iar tabelul 1 conține detalii specifice privind vederea funcțională pentru câțiva dintre participanți. Rezultatele privind nevoile de augmentare a vederii, conform scenariilor taxonomiei noastre, sunt prezentate în figura 4, indicând preferințe în medie de 4.2 (din maxim 5) pentru atingerea vederii normale în locul vederii extinse (3.7), AI/AR (3.8), sau în alte domenii ale spectrului electromagnetic (3.4 din maxim 5). Pentru a pune aceste rezultate în context, am organizat un al doilea studiu, online, în cadrul căruia am solicitat preferințe de augmentare a vederii de la 178 de persoane fără dizabilități de vedere (78 bărbați, 100 femei), cu vârste cuprinse între 17 și 75 ani ($M=32.4$, $SD=12.8$ ani). Figura 4 prezintă preferințele participanților fără dizabilități pentru scenariile S_1 - S_{32} identificate în cadrul taxonomiei noastre, preferințe care au fost mai reduse în medie decât cele ale participanților cu dizabilități: atingerea vederii normale 3.6 vs. 4.2, extinse 3.5 vs. 3.7, augmentate AI/AR 3.4 vs. 3.8, respectiv în alte domenii ale spectrului electromagnetic 3.2 vs. 3.4.



Figura 3. *Stânga:* interviul cu participanții cu dizabilități de vedere pentru identificarea preferințelor pentru scenarii de augmentare vizuală. *Mijloc:* participanți cu dizabilități de vedere testând diverse dispozitive wearable (Vuxiz Blade și Microsoft Hololens) pentru augmentarea vederii (Rusu *et al.*, 2019). *Dreapta:* un participant cu grad sever de dizabilitate, pentru care vederea nu poate fi augmentată folosind dispozitive AR/MR disponibile comercial, explorează Hololens folosindu-și mâinile.



Gender / Age	Condition	Self-reported use of assistive devices	Visual functioning: self-reported difficulties						
			Walk ¹	Read ²	Obj. ³	Face ⁴	Work ⁵	News ⁶	Side ⁷
1 Male / 17 yrs.	Myopia	Prescription glasses, screen display settings for large fonts	☑☑☑	☑☑☑	☑☑☑	☑☑	☑☑	☑☑	☑
2 Female / 19 yrs.	Congenital cataract	Screen display settings for large fonts	☑☑☑	☑☑	☑	☑☑	☑☑☑	☑☑☑	☑☑
3 Male / 18 yrs.	Myopia and astigmatism	Prescription glasses, display settings, voice input	☑	☑	☑☑	☑☑☑	☑	☑☑☑	☑☑☑
4 Female / 18 yrs.	Retinopathy	Display settings for large fonts, text to speech applications	☑	☑	☑			☑☑☑	
5 Female / 18 yrs.	Glaucoma	Text to speech applications	☑☑	☑☑☑	☑☑☑	☑☑☑	☑☑	☑☑☑	☑☑

¹Walking down steps, down stairs, or walking during night time. ²Reading street signs or store names. ³Locating personal objects. ⁴Seeing other people's reactions during conversations. ⁵Working, hobbies, or other activities that involve vision. ⁶Reading ordinary print, such as from newspapers. ⁷Seeing objects off to the side.
☑ = Little difficulty, ☑☑ = Moderate difficulty, ☑☑☑ = Extreme difficulty or impossible.

Tabel 1. Exemple de date colectate de la participanții cu dizabilități de vedere (Rusu *et al.*, 2019).

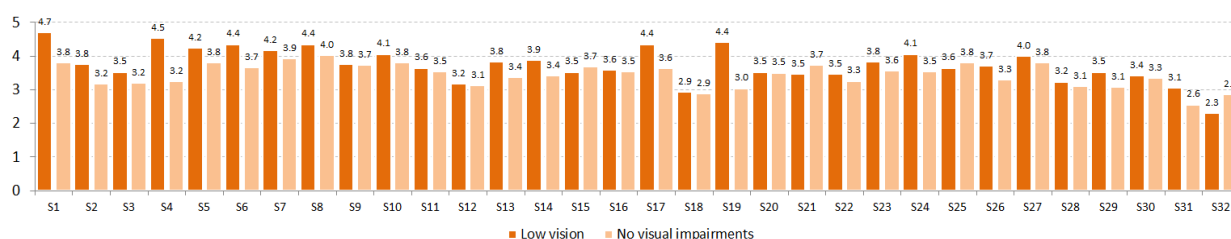


Figura 4. Preferințe (valori medii) pentru scenarii de augmentare a vederii colectate de la N=195 participanți. *Notă:* valoarea 1 indică un scenariu deloc sau foarte puțin dorit iar valoarea 5 un scenariu dorit foarte mult și deosebit de important pentru participanții la acest studiu.

Rezultate preliminare, centrate pe analiza datelor unora dintre participanții cu dizabilități de vedere în contextul aplicativ e-Health, au fost publicate în cadrul conferinței IEEE EHB'19 indexată Web of Science:

Petruța-Paraschiva Rusu, Maria-Doina Schipor, Radu-Daniel Vatavu. (2019). A Lead-In Study on Well-Being, Visual Functioning, and Desires for Augmented Reality Assisted Vision for People with Visual Impairments. *Proceedings of EHB '19, the 7th IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering* (November, 2019). IEEE. WOS:000558648300203
<http://dx.doi.org/10.1109/EHB47216.2019.8970074>

iar un articol detaliind metoda și studiul complet se află în acest moment în evaluare:

Radu-Daniel Vatavu, Petruța-Paraschiva Rusu, Ovidiu-Andrei Schipor. (2020). Examining Preferences for Augmented Vision and Smart Eyewear Devices: A Vignette Study with People with Visual Impairments. *Multimedia Tools and Applications*. Springer
IF: 2.313, 5-Year IF: 1.994 (JCR 2019)

3.2. Augmentarea senzorială prin crearea de legături mnemonice între informația digitală și spațiul fizic

Pentru înțelegerea augmentării senzoriale în afara domeniului vizibil, am proiectat și realizat un al doilea studiu în care ne-am concentrat pe colectarea, analiza și înțelegerea preferințelor utilizatorilor pentru ancorarea de informație digitală **invizibilă, inaudibilă și impalpabilă** folosind topografia spațiului fizic. În

acest sens, un număr de 20 de participanți (dintre care 10 femei) cu vârste cuprinse între 19 și 40 de ani ($M=21.0$, $SD=4.9$ ani) și-au exprimat preferințele privind amplasarea de obiecte virtuale (*e.g.*, fotografii, filme, cărți electronice, etc.) în spațiul fizic, în lipsa oricărui feedback de ordin vizual, auditiv, tactil și bazându-se doar pe imaginație și apoi memorie. Măsurătorile privind amplasarea obiectelor virtuale au fost realizate cu ajutorul unui sistem profesional de detecție și urmărire a mișcării Vicon¹² alcătuit din șase camere IR (fiecare cameră cu o rezoluție de 1Mp și o frecvență a cadrelor de 100 fps) într-o volum de aproximativ 48m³ (4m lungime x 4m adâncime x 3m înălțime). Plecând de la aceste măsurători reprezentate de locații 3D ale amplasării obiectelor virtuale în spațiul fizic, respectiv locații 3D reamintite ulterior, am calculat și analizat consensul dintre preferințele celor 20 de participanți privind amplasarea obiectelor virtuale în spațiul fizic folosind o formulă adaptată după indicatorul AR (Agreement Rate) definit de Wobbrock *et al.* (2005, 2019) și actualizat de Vatavu și Wobbrock (2015, 2016), astfel:

$$AR(r) = 1 - \frac{1}{\lambda} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j>i}^n \delta(p_i, p_j)}{n(n-1)/2}$$

unde r denotă obiectul virtual referit de către participanți (în momentul ancorării în spațiul fizic sau ulterior, în momentul reamintirii locației acestuia), n este numărul de participanți la studiu, δ distanța Euclidiană calculată între două puncte 3D din spațiul fizic unde obiectul virtual r a fost plasat de către participanții i și j , iar λ un coeficient care normalizează valorile distanțelor Euclidiene relativ la dimensiunea spațiului fizic folosit în cadrul studiului. Valoarea medie a consensului, calculată pentru toate condițiile experimentale (Schipor și Vatavu, 2018), a fost .344 ($SD=.106$) pe o scală variind de la 0 (dezacord total) la 1 (consens perfect). Figura 5 ilustrează amplasările obiectelor virtuale în spațiul fizic realizate de către toți participanții la acest studiu.

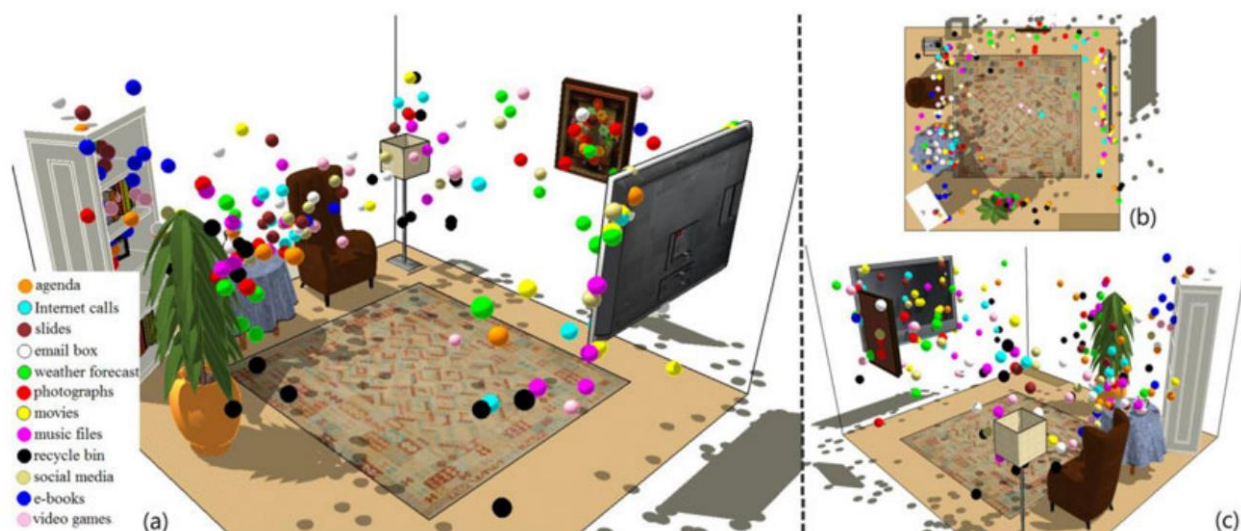


Figura 5. Amplasarea obiectelor virtuale invizibile, inaudibile și impalpabile în spațiul fizic prezentată din trei perspective; detalii în Schipor și Vatavu (2018).

¹² <https://www.vicon.com/>

Figura 6, stânga prezintă rezultate numerice privind performanța medie a celor 20 de participanți în a-și reaminti amplasarea obiectelor virtuale în locații din spațiul fizic, exprimată ca distanța Euclidiană medie calculată între pozițiile 3D ale amplasării inițiale a obiectelor virtuale și pozițiile 3D referite ulterior. Am calculat și analizat această performanță în funcție de diverse variabile independente, cum ar fi momentul reamintirii (*i.e.*, la 30 de minute după etapa de amplasare a obiectelor virtuale în spațiul fizic, respectiv după 24 de ore), genul participanților, abilitățile acestora de orientare spațială, respectiv tipul de pregătire (tehnică/non-tehnică); a se vedea Schipor și Vatavu (2018) pentru detalii. Figura 6, dreapta ilustrează dificultatea percepută de participanți în reamintirea și indicarea precisă a locațiilor obiectelor virtuale invizibile, inaudibile și impalpabile amplasate în spațiul fizic cu răspunsuri sub formă de variante ale unei scale Likert cu 5 itemi, unde 1 denotă reamintire foarte ușoară iar 5 foarte dificilă.

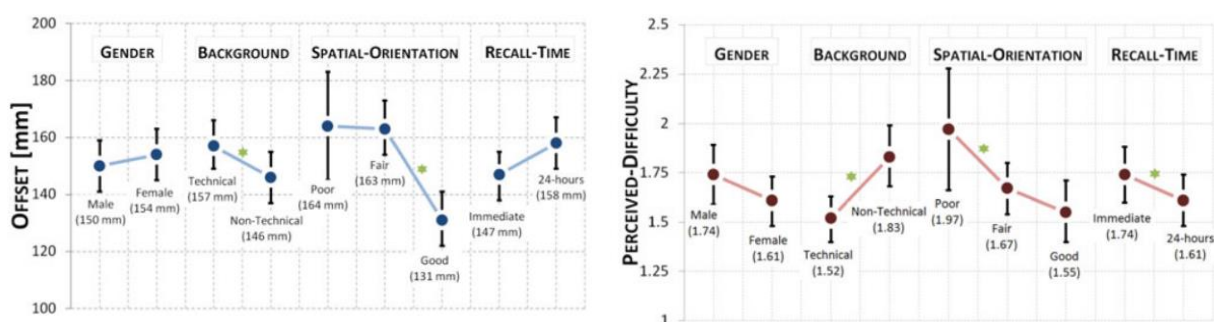


Figura 6. Rezultatele studiului privind augmentarea senzorială în afara canalelor vizual, auditiv și tactil (Schipor și Vatavu, 2018). *Stânga:* diferența medie, exprimată ca distanța Euclidiană, dintre amplasarea inițială în spațiul fizic a obiectelor virtuale invizibile, inaudibile și impalpabile și pozițiile referite ulterior. *Dreapta:* dificultatea percepută a sarcinii de reamintire și indicare a pozițiilor inițiale.

Rezultatele obținute au fost publicate în revista IEEE Pervasive Computing, clasată Q₁ conform Journal Citation Reports 2018 cu un factor de impact de 3.813 și 5-Year IF 4.123:

Ovidiu-Andrei Schipor, Radu-Daniel Vatavu. (2018). Invisible, Inaudible, and Impalpable: Users' Preferences and Memory Performance for Digital Content in Thin Air. *IEEE Pervasive Computing* 17(4), 76-85. IEEE Press. <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MPRV.2018.2873856>

3.3. Scenarii de augmentare a vederii mediate de ecranul smart TV

În vederea explorării de aplicații practice pentru vederea augmentată, am considerat diverse variante aplicative, dintre care am ales domeniul Realității Augmentate/Mixte (Kim et al., 2018; Dey et al., 2018; Billingham et al., 2015) precum și centrarea pe un concept care a atras recent un interes considerabil în comunitatea științifică, și anume experiența consumului de conținut media augmentat folosind ecranul TV ca și dispozitiv de distribuție (Vinayagamoorthy et al., 2018, 2019; Saeghe et al., 2019). Interesul pentru acest scenariu aplicativ este dat de prevalența ecranelor TV, inclusiv smart TV în mediul casnic (vânzările de echipamente TV au fost de 218 milioane unități în 2019, dintre care 70% smart TV¹³), ceea

¹³ <https://www.statista.com/topics/4761/smart-and-connected-tvs/>

ce le face foarte atractive pentru aplicații de augmentare a vederii în special privind scenariile centrate pe AI/AR identificate în cadrul taxonomiei noastre de augmentare a vederii. În acest sens, am organizat un nou studiu online implementat sub forma unui chestionar Google Forms pentru a colecta, analiza și înțelege preferințele utilizatorilor potențiali ai acestui tip de augmentare vizuală privind un număr suplimentar de 20 de scenarii ARTV inspirate de taxonomia noastră, literatura științifică a domeniului televiziunii interactive, respectiv diverse prototipuri și produse AR/MR disponibile pentru televiziune (Jones *et al.*, 2013, 2014; Vatavu, 2013a; Vatavu, 2013b; InAir, 2019; Augment.tv, 2019). Un număr de **172 de participanți** (63 femei) cu vârste cuprinse între 17 și 70 de ani ($M=26.2$; $SD=7.3$) au răspuns la acest chestionar; a se vedea Popovici și Vatavu (2019a) pentru detalii privind designul experimental, modul de implementare a studiului, informații detaliate despre participanți, respectiv despre metodele folosite pentru analiza datelor.

Rezultatele acestui studiu, reprezentate de histogramele preferințelor participanților pentru fiecare scenariu de augmentare vizuală sunt prezentate în figura 7. Mai mult, am folosit aceste rezultate pentru a prezenta comunității științifice o agendă cu implicații pe termen mediu și lung pentru augmentarea vizuală în vederea creării de noi experiențe în sfera de aplicabilitate ARTV (Popovici și Vatavu, 2019b). Rezultatele au fost publicate sub forma a două articole în cadrul conferințelor IEEE ISMAR 2019 (rang A*, conform ARC CORE), respectiv ACM TVX 2019, ambele indexate Web of Science:

Irina Popovici, Radu-Daniel Vatavu. (2019). Understanding Users' Preferences for Augmented Reality Television. *Proceedings of ISMAR 2019, the 18th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (Beijing, China)*. IEEE, 397-406. WOS:000525841300027
<http://dx.doi.org/10.1109/ISMAR.2019.00024>

Irina Popovici, Radu-Daniel Vatavu. (2019). Towards Visual Augmentation of the Television Watching Experience: Manifesto and Agenda. In *Proceedings of TVX '19, the 2019 ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video (Manchester, UK)*, 199-204. ACM, New York, NY, USA. WOS:000482136600020
<https://doi.org/10.1145/3317697.3325121>

De asemenea, am realizat o conceptualizare a augmentării vizuale pentru acest context aplicativ, pentru care am propus o analiză critică a noțiunii ARTV (Augmented Reality TV) plecând de la perspectivele AR din literatură (figura 8). Rezultatul este reprezentat de un spațiu conceptual pentru caracterizarea ARTV din perspectiva a două axe ortogonale: continuul Real-Virtual definit de Milgram și Kishino (1994) privind lumea fizică și continuul Real-Virtual al conținutului afișat folosind ecranul TV; a se vedea figura 9. Lucrarea a primit distincția **Honorable Mention Award** în cadrul conferinței ACM IMX 2020:



Radu-Daniel Vatavu, Pejman Saeghe, Teresa Chambel, Vinoba Vinayagamoorthy, Marian Ursu. 2020. Conceptualizing Augmented Reality Television for the Living Room. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Media Experiences (IMX '20)*. ACM, New York, NY, USA, pp. 1–12.
<https://doi.org/10.1145/3391614.3393660>

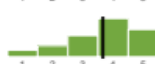
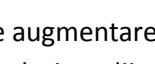
AR scenarios for television		Descriptive statistics for PERCEIVED-VALUE				
		Mdn	M	M ₂₀	SD	Distribution
1	I would like to be able to control and interact with AR content that is displayed around or in front of the TV set	4.00	4.01	4.22	1.03	
2	Additional content, such as character names or details about the transmission, displayed next to the TV set	4.00	3.72	3.80	1.02	
3	A very large field of view using video projections in the entire room	4.00	3.70	3.78	1.03	
4	A larger field of view created using video projections on the wall behind the TV set	4.00	3.70	3.78	0.99	
5	Real objects coming out of the TV set	4.00	3.66	3.82	1.16	
6	Different perspectives of the TV broadcast, such as a movie filmed from different angles, displayed next to the TV set	4.00	3.66	3.71	1.02	
7	User interface controls, such as capture snapshot or record video buttons, displayed next to the TV set	4.00	3.63	3.68	0.94	
8	TV channels displayed next to various physical objects in the room, such as weather channel next to the window, documentary channel next to the bookshelf, etc.	4.00	3.62	3.74	1.12	
9	Menus displayed next to the TV set	4.00	3.59	3.63	0.98	
10	Additional content, such as character names or details about the transmission, displayed in front of the TV set	4.00	3.58	3.64	1.00	
11	TV content displayed close to me so that I can touch it	4.00	3.50	3.64	1.05	
12	Real characters coming out of the TV set	4.00	3.46	3.51	1.16	
13	Links to other content, such as movies or photos, displayed around the TV set	3.50	3.40	3.50	1.02	
14	Additional content from my smartphone or tablet, such as contacts, notifications, or photos, displayed next to the TV	3.00	3.31	3.41	1.07	
15	Additional content, such as channel info or channel preview, displayed on top or around the TV remote control	3.00	3.31	3.37	1.00	
16	Additional information, such as description of buttons, displayed near the buttons of the TV remote control	3.00	3.28	3.36	0.98	
17	Live video or 3D representations of my friends, who are not in the same room with me, but who are watching the same TV show as I do	3.00	3.27	3.32	1.31	
18	Movie subtitles shown outside the TV set	3.00	3.25	3.29	1.20	
19	Multiple TV channels shown next to the TV set	3.00	3.15	3.19	1.17	
20	Multiple TV channels shown in front of the TV, between the viewer and the TV set	3.00	2.94	3.00	1.09	

Figura 7. Preferințele celor N=172 de participanți la studiul privind analiza scenariilor de augmentare vizuală folosind ecranul TV (Popovici și Vatavu, 2019a). Preferințele sunt raportate ca valori medii, mediane și medii trimite 20% alături de histogramele răspunsurilor individuale de tip scală Likert cu 5 itemi cu valori cuprinse între 1 (scenariu deloc util) și 5 (scenariu foarte util).

Definition of AR	Perspective	Impacted by and/or impacts on	Implication for ARTV
2019: Interface and gateway	Integration	Cloud Computing: SaaS, PaaS, IaaS, XaaS & ARCloud	Specific gateway and integration of TV genres
2017: Immersive experience, illusion	Experiential	Human-Computer Interaction	Specific type of immersion
2016: A new form of media	Content consumption	Social & Interactive Media	Specific form of media
1997: Combines the real and the virtual, interactive in real-time, and registered in 3-D	Technology independence	Applied AR	3-D registered and interactive in real time
1997: A specific form of intelligence amplification	Task assistance	Human-Computer Interaction	Specific services
1997: A variation of Virtual Reality	Computer-generated realities	Computer Graphics & Virtual Reality	Anchored in the physical, primary substratum of the living room environment
1994: The left-most part of the RV continuum	Virtual Reality	Computer Graphics	Informative and contextual
1968: Information surrounding users in 3-D, enabled by see-through head-mounted displays			

Figura 8. Diverse perspective și definiții privind Realitatea Augmentată împreună cu impactul acestora pentru domenii aplicative, incluzând vederea augmentată mediată de ecranul smart TV.

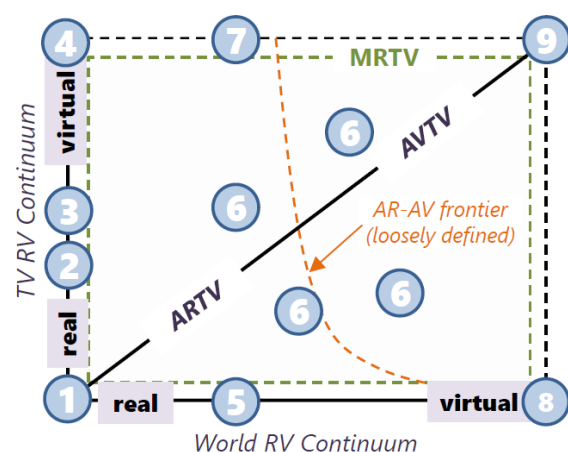


Figura 9. Spațiul conceptual “ARTV Continuum” permite specificarea gradului de augmentare a lumii fizice (axa orizontală) și a conținutului afișat de un ecran, cum ar fi televizorul (axa verticală) pentru a caracteriza funcționarea unei varietăți de dispozitive, aplicații și sisteme de augmentare a vederii mediate de televizor. *Notă:* MR denotă Mixed Reality iar AV Augmented Virtuality, conform terminologiei folosite de Milgram și Kishino (1994).

3.4. Proiectarea de noi metode pentru evaluarea percepției umane în contextul augmentării senzoriale

Studiile realizate au permis colectarea de date ce au fost analizate mai ales din perspectiva consensului dintre preferințele participanților cu privire la scenariile de augmentare a vederii. În acest sens, noțiunea de consens, respectiv măsurile și tehnicile pentru cuantificarea corectă a consensului devin importante în procesul de analiză. Prin urmare, în vederea înțelegerii corespunzătoare a preferințelor utilizatorilor potențiali pentru tehnici de interacțiune și control a augmentării senzoriale, pe lângă setul de chestionare și metodologia aferentă descrise în secțiunea anterioară adresând scenarii posibile de augmentare senzorială, am proiectat și validat două noi metode privind: (1) analiza consensului prin colectarea și analiza preferințelor utilizatorilor privind interacțiunea cu dispozitive și sisteme interactive, în special prin folosirea de comenzi gestuale în contextul metodologiei introduse de Wobbrock *et al.* (2005) și popularizate în interacțiunea bazată pe gesturi (Wobbrock *et al.*, 2009); (2) colectarea

preferințelor pentru interfețele utilizator folosind o variantă nouă a metodei A/B (Kohavi și Longbotham, 2017) sub forma „randomized split testing” denumită AB4Web (Vanderdonckt *et al.*, 2019).

3.4.1. Analiza consensului

Înțelegerea preferințelor utilizatorilor pentru scenarii de augmentare a vederii, scenarii interactive, sau privind comenzi destinate controlului sistemelor interactive este esențială pentru proiectarea unei experiențe utilizator corespunzătoare. În acest sens, o metodologie introdusă de către Wobbrock *et al.* (2005) a devenit foarte populară în ultimii zece ani în domeniul interacțiunii om-calculator (Wobbrock *et al.*, 2009), permițând colectarea și analiza preferințelor utilizatorilor finali ai unui sistem interactiv privind comenzi simbolice pe care aceștia le găsesc potrivite, intuitive și ușor de realizat pentru controlul diverselor funcții ale sistemului respectiv.

Această metodologie a fost aplicată cu succes pentru proiectarea de comenzi bazate gesturi (Wobbrock *et al.*, 2009) precum și pentru aplicații interactive și interfețe utilizator adresând o varietate de dispozitive wearable, cum ar fi ochelari smart (Tung *et al.*, 2015; Koelle *et al.*, 2018; Dingler *et al.*, 2018), inele smart (Gheran *et al.*, 2018a; Gheran *et al.*, 2018b) sau brățări smart (Guerit *et al.*, 2019), relevante pentru tematica acestui proiect de cercetare. Însă, metoda curentă (Wobbrock *et al.*, 2005, 2009), precum și variantele ulterioare care au actualizat formulele privind calculul consensului dintre utilizatori (Vatavu și Wobbrock, 2015, 2016) au drept dezavantaj un control redus al influenței subiectivității experimentatorului asupra ratei de consens raportate în cadrul acestor tipuri de studii. Prin urmare, am propus o nouă perspectivă în scopul îmbunătățirii metodei de solicitare a preferințelor (Wobbrock *et al.*, 2005, 2009; Vatavu și Wobbrock, 2015, 2016). Abordarea noastră consideră simultan *disimilaritatea*, calculată obiectiv cu ajutorul unui program informatic, dintre comenzile propuse de către utilizatorii potențiali ai unui sistem interactiv și *rata de consens* a preferințelor acestora sub forma unei dependențe funcționale. Noua metodă de analiză a consensului, denumită *dissimilarity-consensus analysis* (Vatavu, 2019), folosește o formulă actualizată pentru rata de consens care poate fi aplicată și în cazul solicitării de preferințe multiple de la același participant:

Definition: Consensus for referent R is the percent of all pairs of gestures that are evaluated to be similar,

$$C_R(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N [\Delta(g_i, g_j) \leq \tau]}{\frac{1}{2}N(N-1)} [\cdot 100\%] \quad (1)$$

Definition: Consensus for referent R , under repeated elicitation, is the percent of all pairs of gestures, including their repetitions, that are evaluated to be similar,

$$C_R^*(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N [\xi(\Delta(g_{i,t}, g_{j,u}) \forall t, u) \leq \tau]}{\frac{1}{2}N(N-1)} [\cdot 100\%] \quad (2)$$

Figura 10. Formule nou introduse pentru calculul consensului în cadrul noii variante a metodei de solicitare a preferințelor utilizatorilor (Vatavu, 2019) pentru situația solicitării simple (stânga), respectiv a solicitării multiple (dreapta). *Notă:* N reprezintă numărul de participant la studiu, g_i și g_j preferințele participanților i și j pentru referentul R , iar ξ o funcție de agregare care se aplică în cazul solicitării de preferințe multiple indexate folosind variabilele t și u .

Unul dintre avantajele acestei abordări este reprezentarea consensului pentru un referent R (i.e., un scenariu, o funcție de controlat în cadrul unei interfețe utilizator sau a unui sistem interactiv) sub forma unei funcții C_R de o variabilă reală τ reprezentată de pragul de disimilaritate acceptat pentru diferențele dintre preferințele utilizatorilor exprimate pentru comenzi interactive, e.g., gesturi. Alocând variabilei τ valori între 0 (potrivire perfectă a preferințelor utilizatorilor) și valoarea sa maximă, obținem o curbă crescătoare (figura 11, stânga) care poate fi modelată cu o funcție logistică (figura 11, dreapta).

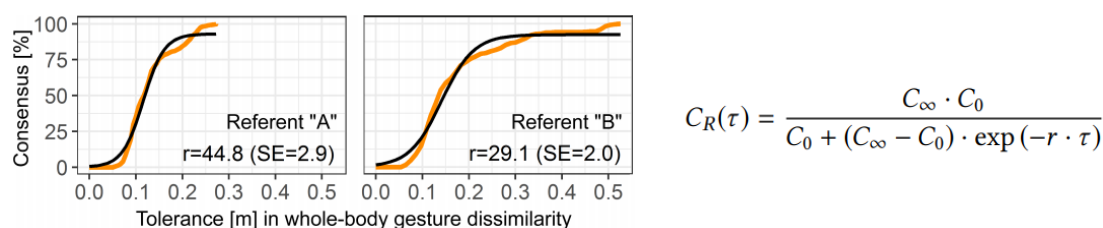


Figura 11. Exemple de curbe disimilaritate-consens (stânga) modelate logistic (dreapta).

Acest rezultat a fost publicat în cadrul conferinței ACM CHI 2019 (conferință de **rang A*** conform ARC CORE), reprezentând cel mai prestigios eveniment științific al domeniului interacțiunii om-calculator (conferința are o valoare h-index=95 și este situată pe primul loc în clasamentul celor mai bune 20 de publicații, incluzând conferințe și reviste, din domeniul interacțiunii om-calculator¹⁴):

Radu-Daniel Vatavu. 2019. The Dissimilarity-Consensus Approach to Agreement Analysis in Gesture Elicitation Studies. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '19)*. ACM, New York, NY, USA, Paper 224, 13 pages.
 WOS:000474467902075 DOI: <https://doi.org/10.1145/3290605.3300454>

3.4.2. Analiza preferințelor

O altă modalitate populară de solicitare a preferințelor utilizatorilor pentru comenzi, interfețe sau diverse aspecte ale sistemelor interactive este reprezentată de metoda A/B (Kohavi și Longbotham, 2017) iar analiza consensului realizată folosind modele de tip BTL (Bradley și Terry, 1952). De exemplu, pentru a afla preferințele unui grup de utilizatori potențiali ai unei interfețe având la dispoziție N variante alternative de proiectare a acesteia, cele $N \cdot (N - 1)/2$ perechi sunt prezentate succesiv participanților la studiu care aleg varianta preferată din fiecare pereche. Deși această metodă este eficientă în vederea determinării și cuantificării consensului unui grup privind diverse aspecte ale interfețelor utilizator (e.g., utilitatea percepută, estetica vizuală, etc.), metoda nu poate fi aplicată decât pentru un număr redus de alternative datorită timpului de prezentare a perechilor care crește pătratic în funcție de N . Cu toate acestea, multe situații practice din proiectarea sistemelor interactive (e.g., pentru controlul dispozitivelor wearable folosind gesturi sau proiectarea de diverse modalități de augmentare a vederii) necesită valori pentru numărul de alternative N care conduc la un număr mare de perechi ce trebuie prezentate utilizatorilor participanți la un studiu de tip A/B. De exemplu, taxonomia propusă în cadrul acestei etape privind scenariile de augmentare a vederii cuprinde un număr de $N = 32$ de variante.

¹⁴ https://scholar.google.es/citations?view_op=top_venues&hl=en&vq=eng_humancomputerinteraction



În această situație, prezentarea unui număr de $32 \cdot (32-1)/2 = 496$ de perechi de variante folosind metoda A/B tradițională se dovedește prohibitivă din perspectiva timpului de participare necesar pentru un astfel de studiu. Prin urmare, am introdus o variantă randomizată pentru metoda A/B, prin care doar un număr redus de perechi de variante este ales pentru prezentare fiecărui participant într-un mod controlat luând în considerare ansamblul tuturor participanților astfel încât să fie asigurată o acoperire cât mai egală a tuturor perechilor de variante $N \cdot (N - 1)/2$ ce pot fi supuse comparației. Mai mult, am propus o interfață denumită AB4Web (capturi ecran ilustrate în figura 12) care facilitează aplicarea metodei; mai multe detalii se află în Vanderdonckt *et al.* (2019).

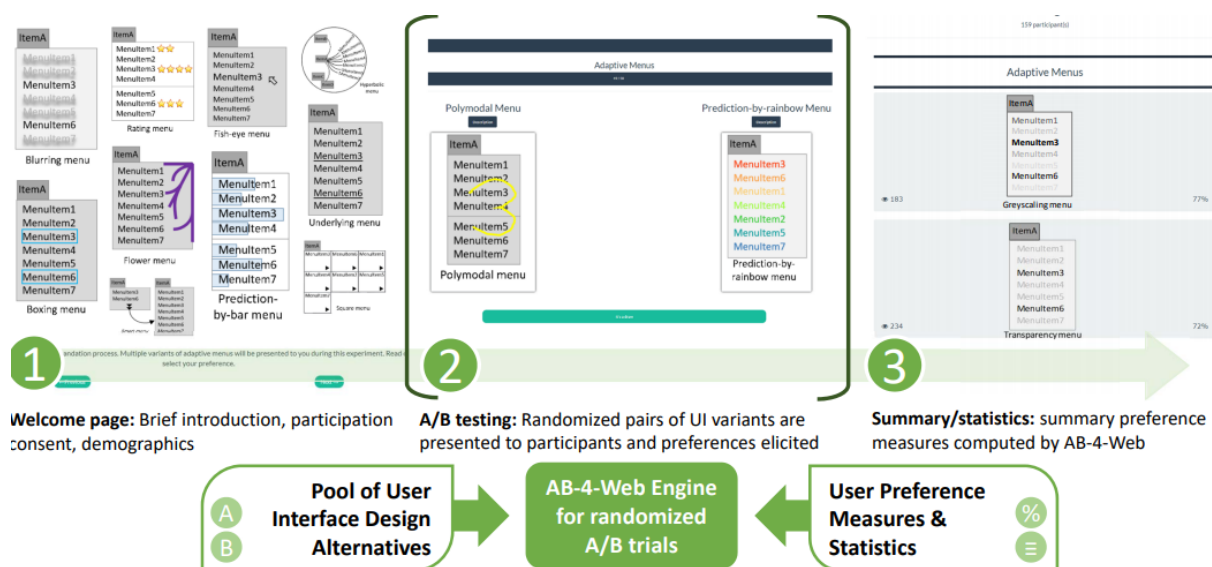


Figura 12. Varianta randomizată a metodei A/B (Vanderdonckt, Zen și Vatavu, 2019).

Rezultatele au fost publicate în cadrul revistei Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction și au fost premiate cu distincția **Honorable Mention Award** din partea ACM SIGCHI (Special Interest Group in Computer-Human Interaction), distincție acordată cu ocazia conferinței ACM EICS 2019:



Jean Vanderdonckt, Mathieu Zen, and Radu-Daniel Vatavu. 2019. AB4Web: An On-Line A/B Tester for Comparing User Interface Design Alternatives. *Proc of the ACM on Human-Computer Interaction* 3, EICS, Article 18 (June 2019), 28 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3331160>

4. PROTOTIPURI ȘI APLICAȚII PENTRU AUGMENTAREA VEDERII FOLOSIND OCHELARI SMART ȘI DISPOZITIVE HEAD-MOUNTED DISPLAY

4.1. Life-Tags

Prototipul Life-Tags, constând într-o pereche de ochelari cu micro-cameră video încorporată (model NorthVision Technologies, SS-ID13, rezoluție Full-HD 1920x1080 pixeli și 90° field of view) împreună cu arhitectura software aferentă, implementează conceptul lifelogging (Gurrin *et al.*, 2014; Dodge și Kitchen, 2007) pentru ochelari smart și aduce ca și contribuție definitorie realizarea automată de rezumate ale lumii vizuale ce sunt prezentate ex post facto utilizatorilor sub forma de nori de concepte sau nori de etichete (*en.*: *tag clouds*). Life-Tags a fost proiectat plecând de la următoarele cerințe:

- D1. *Captură automată și pasivă*, implementând principiul de operare “always on” și captură video realizată în mod pasiv, în conformitate cu specificațiile categoriilor de dispozitive și sisteme destinate lifelogging descrise de către Machajdik *et al.* (2011).
- D2. *Perspectivă first-person la nivelul ochilor*. Acest criteriu și principiu de operare asigură achiziția imaginilor de la nivelul înălțimii utilizatorului. În pofida avantajelor unei astfel de achiziții și prezentări a informației vizuale, acest aspect adoptat pentru Life-Tags ca și cerință de proiectare este ignorat de către majoritatea camerelor video wearable, proiectate de regulă pentru a fi atașate hainelor (Google Clips, 2019; MeCam, 2019; Narrative, 2019; SnapCam, 2019).
- D3. *Anonimitate și orientare către protecția datelor*. Dispozitivul Life-Tags nu trebuie să atragă atenția asupra utilizatorului care îl poartă. Ca și cerință minimă, Life-Tags trebuie să permită comutarea ușoară și imediată a înregistrării on/off, un principiu de operare care privește direct intimitatea trecătorilor, conform recomandărilor “*communicate the intention of use*” (Koelle *et al.*, 2015), respectiv “*if a bystander inquires about the device, first the image capture must be paused, and then the objectives of our study must be explained*” (Chowdhury *et al.*, 2016).
- D4. *Support pentru accesul la memoria digitală la diverse niveluri de granularitate* (fotografii, video, nori de concepte), criteriu inspirat din cerințele “*five R’s of memory access*” enunțate de către Sellen și Whittaker (2010). Aceste cerințe includ: *recollecting*, *reminiscing*, *retrieving*, *reflecting* și *remembering* (p.76), concepte folosite pentru a caracteriza beneficiile sistemelor de tip lifelogging pentru augmentarea memoriei vizuale a utilizatorilor. De exemplu, Life-Tags implementează cerința *recollecting* prin permiterea reținerii mentale a experiențelor vizuale anterioare ca urmare a regăsirii unor concepte familiare în cadrul norului de concepte (*e.g.*, “driving”, “university”, “walk”, etc.; a se vedea norii de concepte ilustrați spre exemplificare în figura 13), dintre care anumite concepte ar putea genera chiar răspunsuri emoționale (cum ar fi “graduation”, “family”, “ceremony”), realizându-se astfel tranziția de la *recollecting* la *reminiscing*, conform Sellen și Whittaker (2010).
- D5. *Integrare ușoară cu alte dispozitive*. Cu toate că dispozitivele wearable cu camere video încorporate dispun de resurse de memorie suficiente pentru stocarea temporară a datelor achiziționate, *e.g.*, NarrativeClip dispune de 8GB memorie ce poate fi folosită pentru a stoca 4.000 fotografii sau 80 de minute de video (Narrative, 2019), descărcarea conținutului pe un



telefon, desktop, sau în cloud este o practică recomandabilă. Conform acestei cerințe, Life-Tags trebuie să poată comunica ușor cu un telefon smart folosind o conexiune wireless.

D6. *Integrare cu rețele sociale*, de exemplu pentru partajarea norului de concepte ca un rezumat al vieții experimentate de către utilizatorul Life-Tags în direcția implementării vederii partajate.



Figura 13. Exemple de nori de concepte (*en.: tag clouds*) generați de Life-Tags în șase scenarii distincte de utilizare: bar, clădire, autobuz, tren, supermarket, restaurant (Aiordăchioae și Vatavu, 2019).

Figura 14 prezintă diagrama bloc a arhitecturii prototipului wearable Life-Tags. Ochelarii cu cameră video încorporată se conectează la o aplicație Android (cerința de proiectare D₅) pe un telefon smart folosind conexiunea Wi-Fi integrată iar imaginile sunt achiziționate la o rezoluție de 1920x1080 pixeli folosind cereri-răspuns bazate pe protocolul HTTP. Aplicația Android oferă funcționalitate on/off (cerința D₃) și, când sistemul rulează, realizează achiziția automată a imaginilor (cerința D₁) la o frecvență de 2 fps. Fotografiile sunt trimise spre analiză către un serviciu extern (Clarifai, 2020), care răspunde cu un obiect de tip JSON conținând o listă de concepte detectate în imaginile respective împreună cu estimări ale încrederii în aceste concepte. Mesajul JSON este analizat pentru a genera o reprezentare (cerința D₅) cu diverse niveluri de interactivitate (D₄), de la un rezumat al experienței vizuale sub forma unui nor de concepte (D₆) la imagini și montaje video conținând conceptele respective. Life-Tags implementează următoarele elemente specifice sistemelor lifelogging, conform specificațiilor (Gurrin *et al.*, 2014): colectare pasivă, procesare și reflectare a datelor corespunzătoare experienței vizuale percepute de utilizator, o bază de date, respectiv memoria surogat reprezentată sub forma norilor de concepte.

Am evaluat prototipul Life-Tags folosind o bază de date alcătuită dintr-un număr de 21.600 fotografii de rezoluție 1920x1080 pixeli achiziționate cu ochelarii cu micro-cameră video încorporată NorthVision Technologies SS-ID13 în contextul a 6 scenarii distincte de utilizare; figura 15 ilustrează exemple de imagini capturate în cadrul fiecărui scenariu. Pentru analiza datelor am folosit următoarele variabile dependente: (1) numărul de concepte (NUM-CONCEPTS) identificate automat în imaginile capturate; (2) dimensiunea jurnalului (LIFELOG-SIZE) în bytes necesară pentru stocarea imaginilor colectate; și (3) eficiența norului de concepte (TAG-CLOUD-EFFICIENCY), calculată ca raportul dintre numărul de concepte și

memoria necesară pentru a stoca imaginile corespunzătoare. O parte din rezultatele experimentale sunt ilustrate în figura 16; pentru detalii, a se vedea Aiordăchioae și Vatavu (2019).

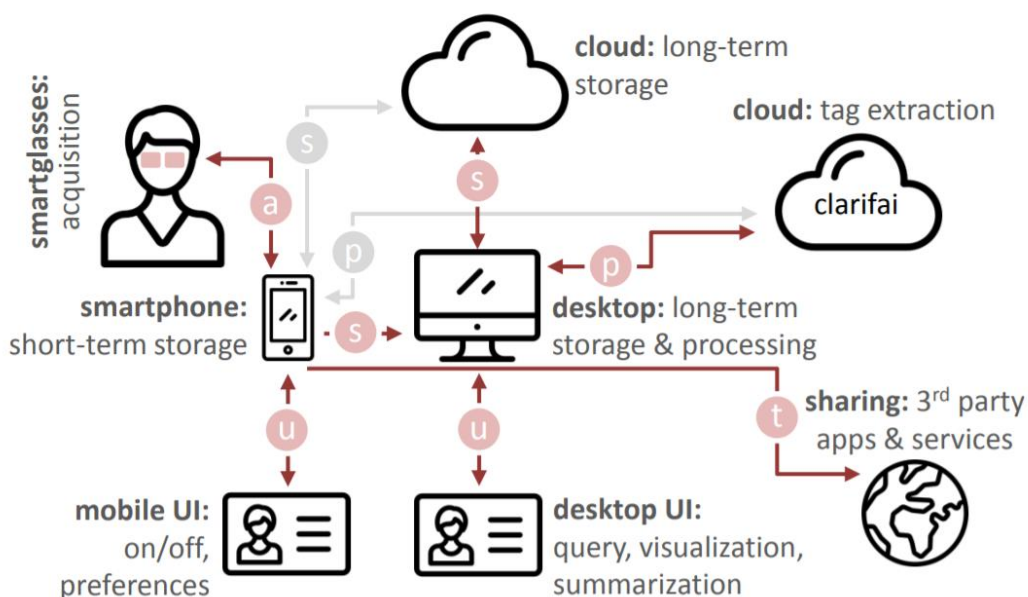


Figura 14. Schema bloc a prototipului Life-Tags ilustrând dispozitive, componente software, servicii terțe și fluxuri de date (Aiordăchioae și Vatavu, 2019). *Notă:* săgețile indică 5 tipuri de fluxuri de date: achiziția (a), stocarea (s), procesarea (p), interfața utilizator (u) și partajarea datelor cu servicii terțe (t).

Prototipul sistemului wearable Life-Tags a fost diseminat în cadrul unui articol publicat în revista *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction (PACMHCI)* editată de către ACM:

Adrian Aiordachioae, Radu-Daniel Vatavu. (2019). Life-Tags: A Smartglasses-based System for Recording and Abstracting Life with Tag Clouds. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 3 (EICS), Article 11 (June 2019), 24 pages. ACM, New York, NY, USA.
<https://doi.org/10.1145/3331157>

Plecând de la aceste rezultate, am continuat dezvoltarea în direcția partajării vederii cu utilizatori aflați la distanță. Nouă versiune reprezintă un sistem lifelogging multi-utilizator multi-sursă, ce permite observatori ai câmpului vizual al utilizatorului principal al ochelarilor cu cameră video încorporată. Spre deosebire de varianta anterioară, arhitectura software implementează stocare în cloud prin intermediul Firebase Storage și Firebase Realtime Database și permite gestionarea de diverse surse video, incluzând camerele video integrate în ochelari smart, camere video fixe, respectiv camere video mobile cum ar fi cele montate pe dispozitive de tip dronă atât timp cât fluxul video este accesibil IP. Figura 17, stânga prezintă diagrama bloc a arhitecturii extinse ilustrând dispozitive wearable (e.g., ochelari smart), dispozitive mobile (e.g., telefoane/tablete), sisteme desktop, server-ul node.js¹⁵ și fluxurile de date.

¹⁵ <https://nodejs.org/en/>



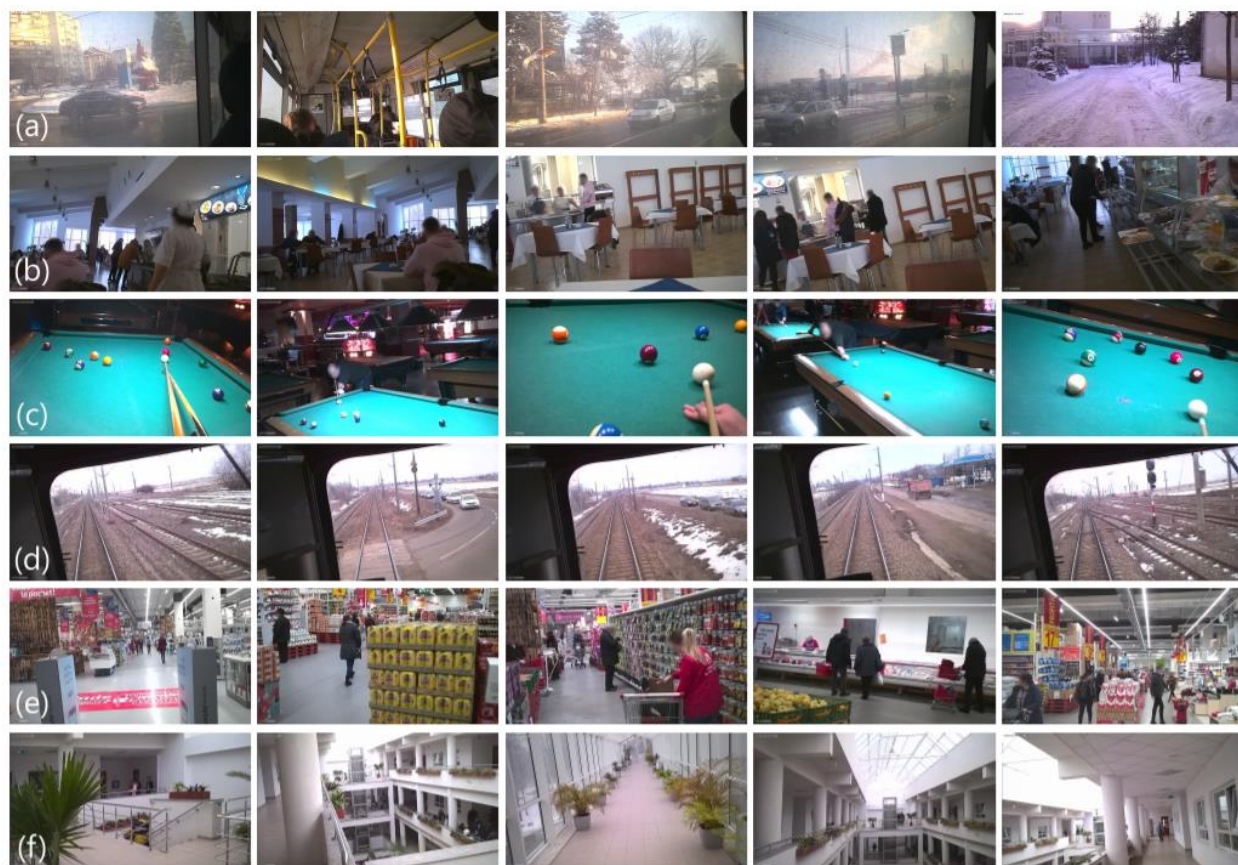


Figura 15. Exemple de imagini achiziționate în cadrul studiului de evaluare a prototipului wearable Life-Tags: (a) deplasarea cu autobuzul, (b) prânz la un restaurant, (c) joc de biliard într-un bar, (d) o călătorie cu trenul, (e) cumpărături la un supermarket și (f) interiorul unei clădiri (Aiordăchioae și Vatavu, 2019).

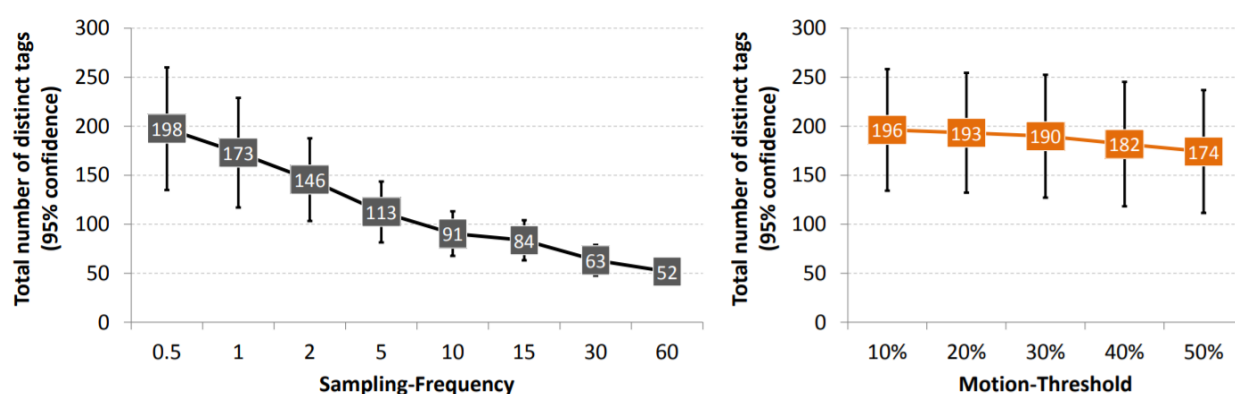


Figura 16. Efectul ratei de eșantionare (stânga) și a pragului de detecție a mișcării (dreapta) asupra numărului de concepte distincte (NUM-CONCEPTS) extrase din înregistrări de 30 de minute la frecvența 2fps (Aiordăchioae și Vatavu, 2019). *Notă:* barele de eroare indică intervale de încredere 95%.

Ochelarii se conectează la un router Wi-Fi folosind conexiunea wireless integrată iar imaginile sunt capturate la o rezoluție de 1920x1080 pixeli de către o aplicație JavaScript rulând pe server-ul node.js și folosind comunicații HTTP. Aplicația server node.js integrează datele primite de la diverse surse video, de la serviciul de extragere a conceptelor din imagini și stocarea rezultatelor în cloud. Librăria JavaScript node-media-server¹⁶ a fost utilizată pentru realizarea de streaming video către utilizatori aflați la distanță în diverse formate și protocoale, cum ar fi HLS, DASH, HTTP-FLV, WS-FLV. De asemenea, un stream video live folosind platforma YouTube permite accesarea în timp interactiv a câmpului vizual al utilizatorului ochelarilor smart cu micro-cameră video încorporată; a se vedea figura 17, dreapta pentru exemple. În vederea asigurării partajării vederii pentru o varietate de dispozitive cu diverse caracteristici tehnice, e.g., sisteme de operare, API/SDK, etc., am optat pentru o implementare JavaScript, transferul datelor realizându-se cu WebSockets¹⁷ și folosind librăria socket.io.¹⁸ Mai multe detalii se află în lucrarea Aiordăchioae (2019) publicată în cadrul IEEE EHB 2019 și indexată Web of Science:

Adrian Aiordachioae. (2019). Eyewear-Based System for Sharing First-Person Video to Remote Viewers. *Proceedings of EHB '19, the 7th IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering* (Iasi, Romania). IEEE. WOS:000558648300003
<https://doi.org/10.1109/EHB47216.2019.8969871>

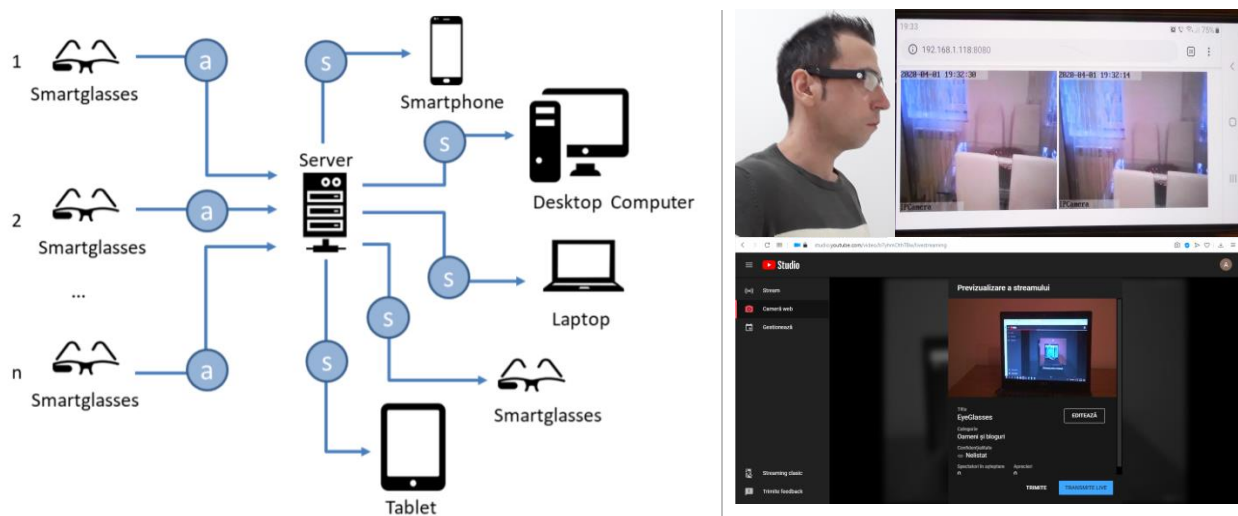


Figura 17. Stânga: Schema bloc a arhitecturii sistemului de vedere partajată implementat cu ajutorul ochelarilor cu cameră video încorporată. Dreapta: ochelarii cu cameră video încorporată folosiți în sistemul Life-Tags, streaming video către un dispozitiv mobil și streaming video folosind YouTube live.

De asemenea, am explorat în cadrul etapei o oportunitate aplicativă a sistemului Life-Tags pentru detecția obiectelor și conceptelor în lumea reală folosind grupuri și mase de utilizatori (opportunistic crowdsensing), un concept studiat anterior pentru dispozitive mobile (Ganti *et al.*, 2011; Roitman *et al.*,

¹⁶ <https://github.com/illuspas/Node-Media-Server>

¹⁷ https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebSockets_API

¹⁸ <https://socket.io/>

2012) fără însă a fi examinată legătura cu fenomenul lifelogging (Gurrin *et al.*, 2014; Sellen and Whittaker, 2010) caracteristic pentru Life-Tags. Rezultatele au fost diseminate în lucrarea:

Adrian Aiordăchioae, Daniel Furtuna, and Radu-Daniel Vatavu. (2020). Aggregating Life Tags for Opportunistic Crowdsensing with Mobile and Smartglasses Users. *Proceedings of GoodTechs '20, the 6th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good*. ACM, New York, NY, USA, pp. 66-71. <https://doi.org/10.1145/3411170.3411237>

4.2. FlexiSee: Aplicație software pentru augmentarea vederii în domeniul vizibil folosind Realitatea Augmentată/Mixtă și Hololens HMD

Aplicația FlexiSee implementează controlul vederii augmentate în domeniul vizibil punând accent pe flexibilitatea oferită utilizatorului în ceea ce privește modalitatea în care vederea este augmentată (de exemplu, prin accentuarea muchiilor sau îmbunătățirea contrastului câmpului vizual), cine controlează augmentarea vederii (utilizatorul principal sau utilizatori secundari ai aplicației, aflați la distanță, de tipul vision assistant sau vision monitor), respectiv dispozitivul care permite controlul augmentării vederii (de exemplu, telefon sau ceas smart). Figura 18 ilustrează conceptul și fotografii reprezentative privind implementarea aplicației FlexiSee împreună cu modalitățile de control aferente. Arhitectura software a aplicației FlexiSee este prezentată în figura 19 și a fost ghidată de următoarele criterii de calitate pe care le-am definit în etapa de proiectare: specificarea ușoară și imediată a filtrelor vizuale pentru augmentarea vederii în domeniul vizibil, posibilitatea controlului filtrelor vizuale local și de la distanță, respectiv integrarea ușoară cu dispozitive smart, inclusiv dispozitive wearable. Un filtru vizual reprezintă orice modificare la nivel software a informației preluate de la camera video integrată în ochelarii smart sau căștile HMD, care este apoi redată pe lentila dispozitivului într-o manieră care este aliniată cu reperele lumii fizice conform principiilor AR/MR.

Aplicația FlexiSee a fost dezvoltată pentru casca HMD Microsoft HoloLens (arhitectură Intel pe 32 biți, memorie 64 GB flash și 2 GB RAM, Windows 10) folosind Visual Studio, Windows Software Development Kit, C++, Boost, RapidJSON și OpenCV.¹⁹ Următoarele filtre vizuale au fost implementate implicit:

1. *Ajustarea contrastului*, un filtru vizual ales datorită menționării sale frecvente în cadrul literaturii științifice (Harper *et al.*, 1999; Peli, 1999; eSight, 2020; Tanuwidjaja *et al.*, 2014; Zhao *et al.*, 2016; 2019a; 2019b). Figura 20 (imaginile din primul rând) demonstrează acest filtru cu diverse valori ale parametrului care specifică nivelul de contrast.
2. *Ajustarea luminozității* (figura 20, al doilea rând) reprezintă un filtru vizual inspirat de rezultatele din Hicks *et al.* (2013), Zhao *et al.* (2019), respectiv ochelarii eSight (2020).
3. *Accentuarea muchiilor* (figura 20, al treilea rând), implementată în diverse variante. Acest filtru a fost inspirat din literatura științifică centrată pe sisteme pentru reabilitarea vederii (Peli *et al.*, 2009; Hwang și Peli, 2014; Langlotz *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2015; 2019a; 2019b).
4. *Recolorare*. Figura 20, imaginile din al patrulea rând, ilustrează filtrul de recolorare pentru trei tipuri de daltonism: deuteranopie (incapacitatea de a percepe culoarea verde), tritanopie

¹⁹ <https://github.com/Microsoft/HoloLensForCV>

(deficiența albastru-galben) și protanopie (incapacitatea de a vedea culoarea roșie). Acest filtru a fost ales pentru implementare ca urmare a utilității sale raportate în literatura științifică (Fuller și Sadovnik, 2017; Langlotz *et al.*, 2018; Melillo *et al.*, 2017; Tanuwidjaja *et al.*, 2014; Zhao *et al.*, 2015; 2019a; 2019b).

5. *Detecția feței* (figura 20, ultimul rând), implementată ca urmare a unor studii care au raportat funcția de recunoaștere a feței interlocutorilor printre cele mai importante funcții așteptate de persoanele cu dizabilități de vedere de la aplicații asistive pentru ochelari smart (Sandnes, 2016).

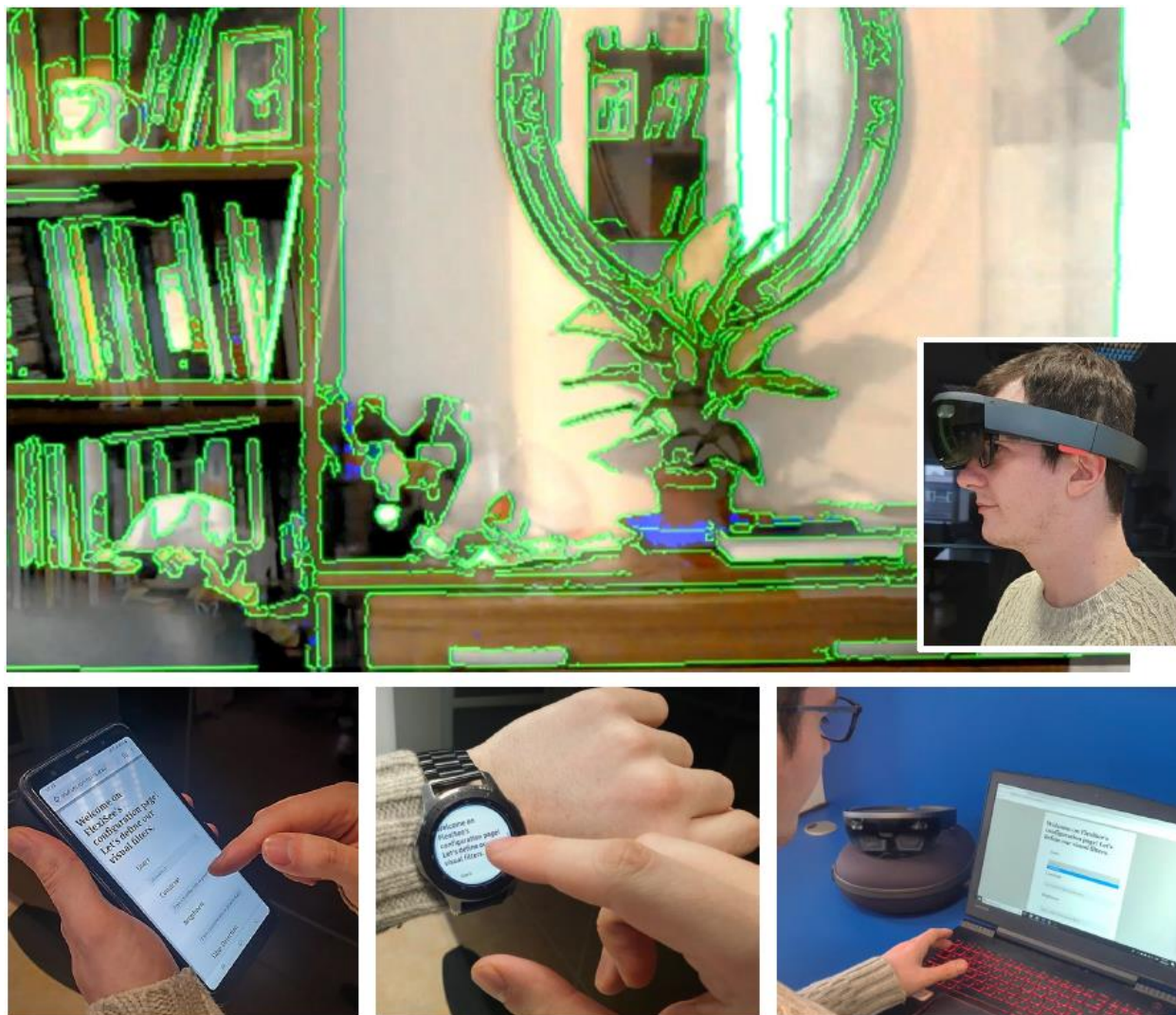


Figura 18. Aplicația FlexiSee, dezvoltată pentru casca HMD Microsoft HoloLens, folosește principiile Realității Augmentate/Mixte pentru a suprapune peste câmpul vizual al utilizatorului o versiune augmentată software sub forma unor filtre vizuale (cum ar fi accentuarea muchiilor, prezentată în această figură). Controlul filtrelor vizuale este posibil folosind o varietate de dispozitive mobile și wearable smart, cum ar fi cele ilustrate în partea de jos a figurii.



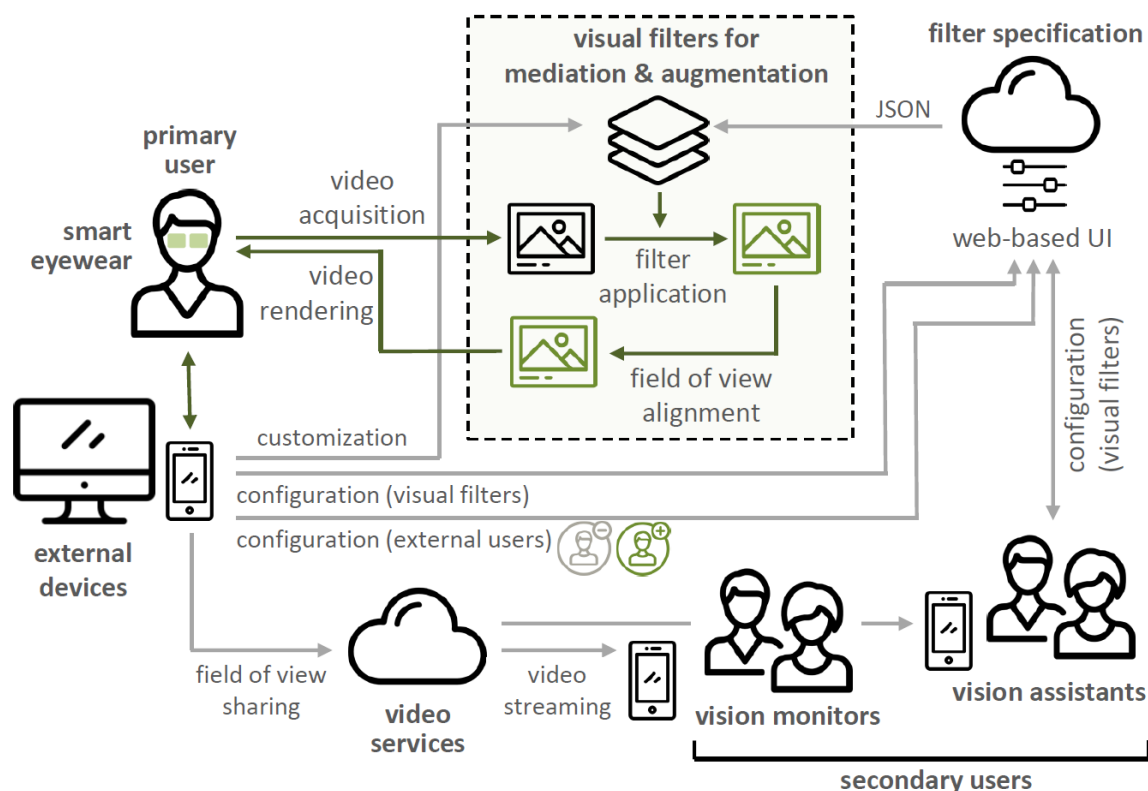


Figura 19. Arhitectura software a aplicației FlexiSee ilustrând utilizatorul principal și utilizatorii secundari (visual monitors și visual assistants), dispozitive smart, componente și fluxuri de date.

Pe lângă aceste filtre implicite, aplicația FlexiSee oferă utilizatorilor posibilitatea de a defini filtre vizuale personalizate pentru augmentarea vederii prin intermediul unei interfețe web care poate rula pe orice dispozitiv cu un browser web modern, *e.g.*, desktop, telefon smart, ceas smart, etc.; a se vedea figura 18 pentru exemple. Filtrele definite de utilizator sunt reprezentate intern în format JSON.

De asemenea, am constituit cele trei criterii de calitate adoptate pentru aplicația FlexiSee sub forma unor dimensiuni de proiectare într-un spațiu conceptual denumit FlexiSee-DS (FlexiSee Design Space) ce permite instanțierea de aplicații și sisteme interactive pentru augmentarea vederii, inclusiv a aplicației FlexiSee și altor sisteme din literatură (Aiordăchioae, 2019; Aiordăchioae și Vatavu, 2019; Aiordăchioae *et al.*, 2020a; Everingham *et al.*, 1998; Harper *et al.*, 1999; Melillo *et al.*, 2017; Stearns *et al.*, 2017; 2018; Zhao *et al.*, 2015; 2016) în scopul dezvoltărilor viitoare în această direcție; a se vedea figura 21.

Rezultatele privind conceptul și implementarea FlexiSee se află în evaluare:

Cristian Pamparău, Radu-Daniel Vatavu. (2020). FlexiSee: Flexible Configuration, Customization, and Control of Mediated and Augmented Vision for Users of Smart Eyewear Devices. *Multimedia Tools and Applications*. Springer (IF 2.313). **În evaluare: Minor Revisions Required**



Figura 20. Filtre vizuale disponibile implicit în aplicația FlexiSee; a se vedea textul pentru detalii.

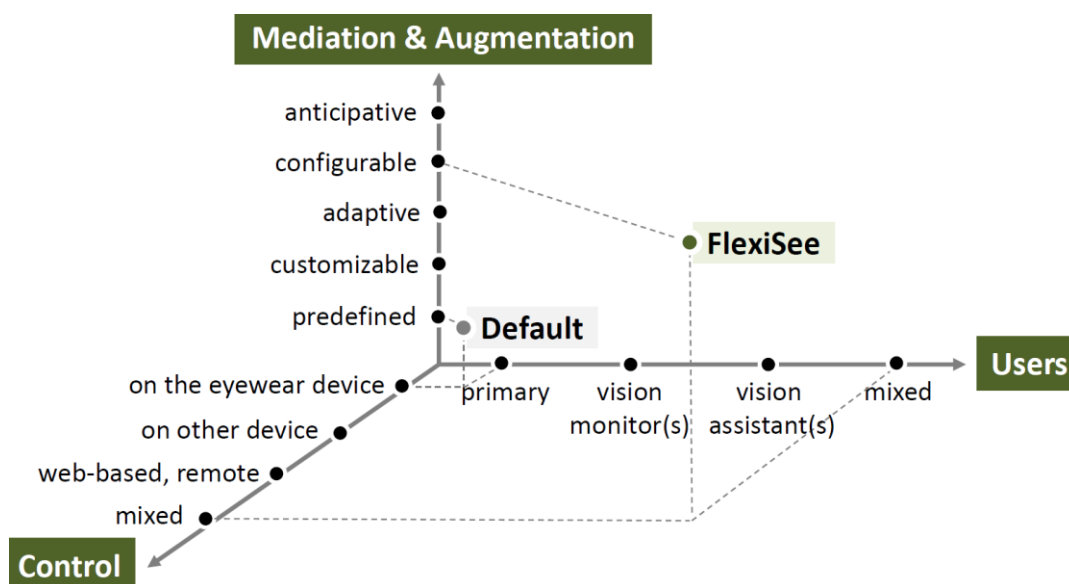


Figura 21. Spațiul de proiectare FlexiSee-DS pentru aplicații asistive de augmentare a vederii.



4.3. MultiVision: Aplicație software pentru controlul vederii augmentate în alte domenii decât cel vizibil folosind dispozitive smart wearable

MultiVision adresează modelul de ochelari AR Vuzix Blade²⁰ care, spre deosebire de HoloLens HMD, este mai ușor de purtat și oferă o acceptabilitate socială mai ridicată în ceea ce privește atragerea atenției asupra dizabilității, *i.e.*, “effectul AT” (Profita *et al.*, 2016). Aplicația implementează 15 comenzi vocale (a se vedea Capitolul 5), detectate de microfonul integrat în ochelarii smart și recunoscute folosind Google Speech API și distanța Levenshtein, respectiv 15 comenzi gestuale realizate pe suprafața tactilă a ecranului integrat în ceasul smart Samsung Gear Fit 2. Aplicația MultiVision extinde tipurile de vedere augmentată implementate de cele două aplicații anterioare către vederea termică și vederea nocturnă prin integrarea senzorului ThermApp²¹ (rezoluție 384x288 pixeli, frecvența 8.7Hz, funcționare în spectrul 7.5 – 14 μm), respectiv vederea la distanță prin integrarea fluxului video furnizat de drone: dronele²² Parrot Mambo Fly pentru interior (și, respectiv, pentru vedere la mică distanță) și Parrot Bepop 2 FPV pentru exterior (vedere la mare distanță) au fost folosite pentru implementare; vezi figura 22.

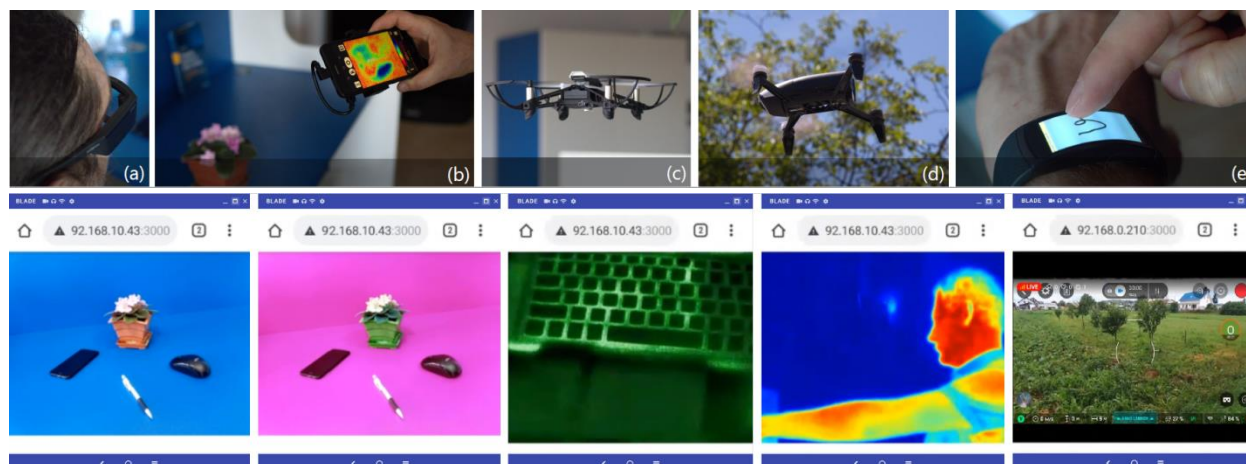


Figura 22. Funcționarea aplicației MultiVision. Imaginile din partea de sus: (a) ochelarii Vuzix Blade, (b) senzorul ThermApp, (c,d) drone cu cameră video încorporată pentru interior și exterior, (e) controlul vederii augmentate folosind comenzi gestuale realizate cu ceasul smart Samsung Gear Fit 2. Imaginile din partea de jos a figurii, de la stânga la dreapta: flux video capturat de camera video integrată în ochelari, recolorare, vedere nocturnă, vedere termică, vedere la distanță furnizată de o dronă.

Rezultate parțiale au fost diseminate în cadrul următorului articol, în curs de indexare Web of Science:

Ovidiu-Andrei Schipor, Adrian Aiordăchioae. (2020). Engineering Details of a Smartglasses Application for Users with Visual Impairments. *Proceedings of DAS 2020, the 15th International Conference on Development and Application Systems*. IEEE, pp. 157-161.
<https://doi.org/10.1109/DAS49615.2020.9108920>

²⁰ <https://www.vuzix.com/products/blade-smart-glasses>

²¹ <https://therm-app.com/>

²² <https://www.parrot.com/en/drones>

4.4. Implementarea unui prototip pentru feedback vibrotactil la nivelul corpului în vederea asistării percepției vizuale

Pentru furnizarea de feedback vibrotactil la nivelul corpului, am proiectat și implementat în cadrul etapei un prototip wearable sub forma unei brățări cu 8 micro-motoare încorporate (figura 23). Brățara este controlată prin intermediul unui protocol bazat pe comunicații Bluetooth (BLE Low Energy) folosind un număr de 8 bytes (câte un byte pentru controlul fiecăruia dintre micro-motoarele încorporate).

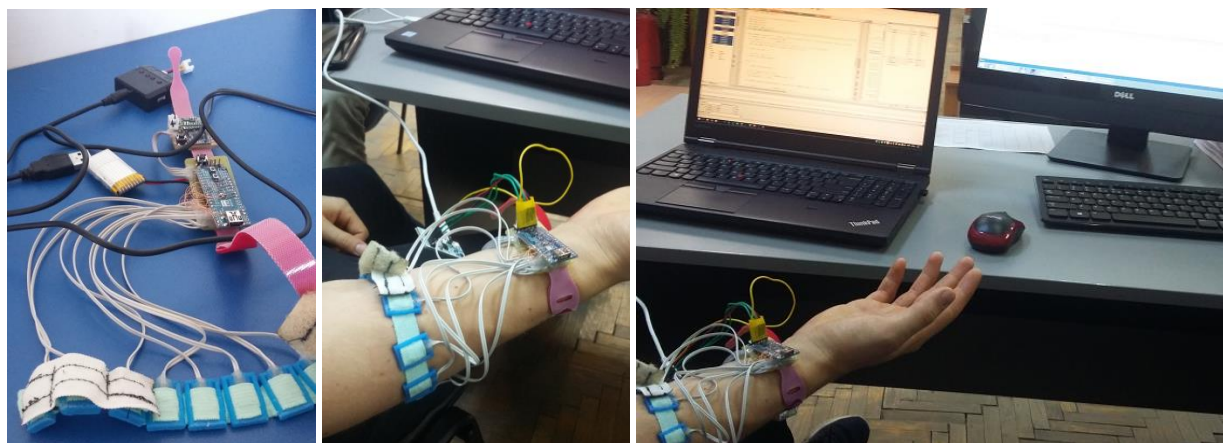


Figura 23. Prototip wearable de tip brățară cu feedback vibrotactil.

Lista componentelor electronice folosite pentru implementare este prezentată în continuare: (1) vibration motor con 3V flex, Jinlong Machinery & Electronics Co., Ltd., cod producător C0720B001F²³ cu următoarele caracteristici: 7mm diametru, operating voltage 2.7-3.3V DC, starting voltage 2.5V DC, rated speed 10,000 rpm; (2) tranzistori bipolari NPN (general purpose amplifier and switch), cod producător MMBT3904²⁴, collector to emitter voltage (Vce) 40V, DC collector current 200mA, power dissipation 350mW; (3) microcontroller STM32F103CBT6²⁵ cu arhitectură ARM Cortex-M3 pe 32 biți, frecvență 72MHz, 48-pin LQFP package, 12-bit ADC, PWM timer, 128 KB flash memory, 37 porturi I/O și interfețe USB, CAN, I2C, SPI; (4) regulator de tensiune S7V8A²⁶, min/max operating voltage 2.7/11.8V, min/max output voltage 2.5/8V; (5) Bluetooth HM-10²⁷ cu următoarele caracteristici: 2.4GHz ISM, dimensiuni 27mm x 13mm x 2.2mm, low energy. Am ales micro-motorul C0720B001F datorită dimensiunilor sale reduse (7mm diametru) ce permit încapsularea în carcase de mici dimensiuni, respectiv datorită tensiunii mici de lucru (3V) cu implicații directe asupra fiabilității electrice a prototipului wearable. Modelul de tranzistor a fost ales pentru tensiunea de deschidere mică (o logică pe 3.3V determină saturație) și curenți suportați mari, limitându-se astfel riscul de deteriorare. De asemenea, microcontrollerul STM32F103CBT6 oferă funcționare în regim low energy.

²³ <http://www.vibration-motor.com/wp-content/themes/vibration-motors/dk-pdf/products/download/C0720B001F.pdf>

²⁴ http://www.farnell.com/datasheets/1876029.pdf?_ga=2.34256097.1375224967.1574283263-1292024572.1571773065

²⁵ [https://uk.farnell.com/stmicroelectronics/stm32f103cbt6/mcu-32bit-cortex-m3-72mhz-](https://uk.farnell.com/stmicroelectronics/stm32f103cbt6/mcu-32bit-cortex-m3-72mhz-lqfp/dp/1606327?scope=partnumberlookahead&ost=STM32F103CBT6&searchref=searchlookahead&exaMfpn=true&ddkey=htt)

[lqfp/dp/1606327?scope=partnumberlookahead&ost=STM32F103CBT6&searchref=searchlookahead&exaMfpn=true&ddkey=htt](https://uk.farnell.com/stmicroelectronics/stm32f103cbt6/mcu-32bit-cortex-m3-72mhz-lqfp/dp/1606327?scope=partnumberlookahead&ost=STM32F103CBT6&searchref=searchlookahead&exaMfpn=true&ddkey=htt)

²⁶ <https://www.pololu.com/product/2118>

²⁷ <https://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/PIC32/uart/HM10/DSD%20TECH%20HM-10%20datasheet.pdf>

5. TEHNICI DE INTERACȚIUNE GESTUALĂ ȘI VOCALĂ PENTRU CONTROLUL VEDERII AUGMENTATE FOLOSIND DISPOZITIVE WEARABLE

Am realizat două studii pentru informarea comenzilor bazate pe voce și gesturi pentru prototipurile și aplicațiile dezvoltate în cadrul proiectului, pentru care am examinat literatura științifică în ceea ce privește modalități de control prin voce și gesturi a dispozitivelor smart wearable, cu accent pe ochelari smart și pe categoria de utilizatori reprezentată de persoanele cu dizabilități de vedere, astfel:

- Am alcătuit un inventar al comenzilor vocale propuse pentru aplicații asistive destinate ochelarilor smart analizând un număr de 13 prototipuri de sisteme și aplicații selectate din peste 500 de lucrări științifice identificate ca urmare a parcurgerii unor contribuții de tip review/survey publicate între anii 2014 și 2019 (Csapó *et al.*, 2015; Azenkot and Zhao, 2017; Tapu *et al.*, 2014, 2020; Zhao *et al.*, 2019a; Vatavu, 2017a; Real și Araujo, 2019) adresând tematica interacțiunii cu dispozitive mobile și wearable pentru utilizatorii cu dizabilități de vedere. Dintre acestea, un număr de 60 de lucrări au adresat ochelari smart și/sau dispozitive HMD, dintre care opt au implementat comenzi vocale. De asemenea, am realizat o analiză a dispozitivelor comerciale de tip ochelari smart destinate utilizatorilor cu dizabilități de vedere, selectând un număr de cinci produse reprezentative care implementează comenzi bazate pe voce. Tabelul 2 prezintă rezultatele obținute grupate în 11 categorii (C_1 - C_{11}) în conformitate cu natura comenzilor vocale și a funcțiilor executate, de la funcții pentru inițializarea dispozitivului/aplicației până la funcții pentru comunicarea la distanță între utilizatori. Analiza noastră a scos în evidență o frecvență ridicată (53.8%) a comenzilor vocale pentru controlul audio (C_6), a funcțiilor de magnificare (C_3), recunoaștere a textului (C_8), recunoaștere a obiectelor și a fețelor (C_9), urmate de categoria comenzilor vocale pentru augmentarea vizuală (C_4 – 46.2%). Rezultatele obținute au fost publicate în următoarea lucrare în curs de indexare WoS:

Adrian Aiordăchioae, Ovidiu-Andrei Schipor, Radu-Daniel Vatavu. 2020. An Inventory of Voice Input Commands for Users with Visual Impairments and Assistive Smartglasses Applications. *Proceedings of DAS 2020, the 15th International Conference on Development and Application Systems*. IEEE, pp. 146-150. <https://doi.org/10.1109/DAS49615.2020.9108915>

- Am implementat o analiză sistematică a literaturii științifice privind preferințele utilizatorilor cu dizabilități de vedere pentru comenzi gestuale pentru a interacționa cu dispozitive smart, pentru care am folosit interogarea (Gesture AND (Elicitation OR Guessability) AND Study) în cadrul bazelor de date ACM DL, IEEE Xplore, Science Direct, Springer Link, DBLP și Google Scholar. Dintr-un număr total de 249 de lucrări rezultate, am identificat 12 studii care au adresat preferințele utilizatorilor cu dizabilități de vedere, din care am extras un număr de 53 de comenzi gestuale de diverse tipuri (gesturi de tip atingere, gesturi de mișcare accelerată, gesturi libere executate cu mâna în aer, etc.) propuse de utilizatori pentru controlul a 44 de funcții pentru telefoane smart, televiziune smart și interfețe utilizator tangible (TUIs). Tabelul 3 grupează cele 12 lucrări selectate pentru această analiză în patru categorii în funcție de natura studiilor implementate, astfel: (1) șase lucrări au aplicat metoda solicitării de comenzi gestuale, GES – Gesture Elicitation Study (Dim *et al.*, 2014; Dim *et al.*, 2016; Kane *et al.*, 2008; Luthra and Ghosh, 2015; Romano *et al.*, 2015; Shi *et al.*, 2017); (2) o lucrare

(Wang *et al.*, 2019) a implementat metoda brainstorming (Kunz *et al.*, 2014) pentru solicitarea de comenzi gestuale; (3) două lucrări (Modanwal și Sarawadekar, 2018a; 2018b) au realizat studii de clasificare (rating/ranking) a unor comenzi gestuale predefinite; respectiv (4) un număr de trei lucrări (Buzzi *et al.*, 2017; Vatavu, 2017b; Vatavu *et al.*, 2018) au colectat gesturi de la utilizatori cu dizabilități de vedere și au raportat informații privind consensul acestora privind execuția gestuală. Gesturile și funcțiile aferente sunt prezentate în tabelul 4. Rezultatele au fost publicate în lucrarea:

Radu-Daniel Vatavu, Jean Vanderdonckt. 2020. What Gestures Do Users with Visual Impairments Prefer to Interact with Smart Devices? And How Much We Know About It. In *Companion Publication of the 2020 ACM Designing Interactive Systems Conference (DIS' 20 Companion)*. ACM, New York, NY, USA, pp. 85–90. <https://doi.org/10.1145/3393914.3395896>

	Categorie comenzi	Frecv.	Exemple de comenzi vocale
C1	Start/Stop	5	Ok Glass, Start Chroma, Okay Google..., Go to sleep, Shut down, Close, Open, Go to sleep, Hello Vuzix, Stop, Quit, System restart, Turn off system, Abort current task, System restart, Turn off system, Stop function, Glasses <command>, OrCam, please <command>, How are you?
C2	System information request	4	Help, Info, Check Internet connectivity, Tell build, Tell battery status, Tell time, Tell date, Tell vocal commands, Help
C3	Magnification	7	Make it large, Glasses make bigger, Glasses make smaller, Bioptic, Set zoom <number>, Max zoom, Reset zoom, Zoom in, Zoom out, Scene, Scene with bubble
C4	Visual enhancement	6	Glasses freeze image, Okay Google: RP, Increase brightness, Decrease brightness, Max brightness, Min brightness, Set brightness <number>, Okay Google: Television
C5	Application navigation	5	Move the window down, Glasses go back, Next, Back, Move left right up down in out forward back, Scroll left right up down, Go left right up down in out forward back home, Select this, Pick this, Okay, Confirm, Next, Previous, Cancel, Show menu, Enter user menu, Enter tutorial
C6	Sound and voice settings	7	Glasses voice off, Louder, Quieter, Slower, Faster, Louder, Quieter, Slower, Faster, Disable reading navigation, Enable reading navigation, Change voice, Speak faster, Speak slower, Enable voice prompts, Disable voice prompts, Set volume <number>, Increase volume, Decrease volume, Max volume, Min volume, Voice off
C7	System settings	4	Torch on, Flashlight on, Light on, Torch off, Flashlight off, Light off, Change auto suspend time, Change face repetition time, Connect to Bluetooth audio device, Disable auto flash, Enable auto flash, Set time, Clear user settings
C8	Text recognition and enhancement	7	Okay Google: Iris Reader, Okay Google: Reading Line, Okay Google: Reading yellow, Okay Google: Reading green, Okay Google: Reading inverted
C9	Object and face recognition	7	Find exit door, Find room <number>, Read QR code, Disable face recognition, Set face recognition to auto, Set face recognition to manual, Remove all learned faces, Remove all learned products, Indoor, Outdoor, What we have?, Where am I?, Sofa, Prompt, Up/down stairs, 30 feet to..., Turn left
C10	Multimedia recording & play	4	Glasses start recording, Glasses capture image, Take photo, Next photo, Previous photo, Exit photo, Next video, Previous video, Play video, Photo gallery, Video player
C11	Communications	1	Make an Aira video call, Make an Aira audio call

Tabel 2. Un inventar al comenzilor vocale identificate în literatura științifică sau implementate în diverse produse comerciale pentru ochelari smart destinați utilizatorilor cu dizabilități de vedere.

Pe baza acestor analize, am proiectat următoarele comenzi vocale privind controlul vederii augmentate (implementate în cadrul prototipului MultiVision prezentat în secțiunea anterioară): (1) *recunoaște obiecte*, (2) *citește text*, (3) *găsește obiectul [...]*, (4) *activează vibrații*, (5) *dezactivează vibrații*, (6) *activează sunet*, (7) *dezactivează sunet*, (8) *mărește intensitatea volumului*, (9) *micșorează intensitatea volumului*, (10) *activează vederea termică*, (11) *dezactivează vederea termică*, (12) *activează vederea nocturnă*, (13) *dezactivează vederea nocturnă*, (14) *activează vederea la distanță*, (15) *dezactivează*

vederea la distanță. Pentru fiecare comandă vocală am proiectat o comandă gestuală complementară reprezentată de desenarea pe o suprafață sensibilă la atingere a unor litere ale alfabetului latin, conform tehnicii mnemonice Augmented Letters (Roy *et al.*, 2013), respectiv rezultatelor studiului (Vatavu *et al.*, 2013) în vederea facilitării memorabilității acestor comenzi gestuale; vezi figura 24.

Study	Study type	Gesture types	Device / Context	User category	Participants				Num. referents	Num. elicited gestures	Consensus gesture set	Goal of the study / outcome
					#	M/F	Age [yrs.] Mean (SD)	Control group ¹				
1 Kane <i>et al.</i> , 2011 [10]	GES	touch, stroke-gestures	10" tablet	Blind	10	4/6	49 (12.2)	Yes/10	22	880	n/a	Design guidelines
2 Dim and Ren, 2014 [6]	GES	motion gestures	smart phone	Blind	13	9/4	61 (16.91)	No,[20]	15	195	Yes	Implemented user interface
3 Romano <i>et al.</i> , 2015 [19]	GES	touch, motion, stroke-gestures	iPhone 4S	Blind	8	4/4	61 (11.3)	No,[10]	19	278	n/a	Empirical study
4 Luthra and Ghosh, 2015 [14]	GES	touch and stroke-gestures	smart phone	Blind	12	10/2	31 (9.6)	No	25	300	n/a	Design guidelines
5 Dim <i>et al.</i> , 2016 [7]	GES	mid-air gestures	TV	Blind	12	7/5	53.9 (12.64)	No,[25]	15	180	Yes	Guidelines, methodology
6 Shi <i>et al.</i> , 2017 [23]	GES	tangible input	3D printing	Blind	12	4/8	40.8(13.2)	No	6	56	Yes	Guidelines, proposal
7 Modanwal and Sarawadekar, 2018 [15]	R/R	free-hand gestures	n/a	Blind	25	25	21.4 (2.3)	No	31 ⁽²⁾	1,550	n/a	Prototype
8 Modanwal and Sarawadekar, 2018 [16]	R/R	free-hand gestures	n/a	Blind	25	25	21.4 (2.3)	No	31 ⁽²⁾	1,550	n/a	Prototype
9 Wang <i>et al.</i> , 2019 [36]	B	touch gestures (with the ear)	smart phone	Blind, low vision	30	20/10	n/a	No	8	n/a	Yes	EarTouch prototype
10 Buzzi <i>et al.</i> , 2017 [4]	GC	touch and stroke-gestures	smart phone	Blind, low vision	36	22/14	F25(14.3) M50(16.8)	No	25 ⁽³⁾	812	n/a	Design guidelines
11 Vatavu, 2017 [29]	GC	stroke-gestures	10" tablet	Low vision	10	6/4	35.7(11.7)	Yes/10	12 ⁽³⁾	2,400	n/a	\$P+ recognizer
12 Vatavu <i>et al.</i> 2018 [30]	GC	stroke-gestures	10" tablet	Low vision	27	12/15	29.1(12.3)	Yes/27	12 ⁽³⁾	6,562	n/a	Design guidelines

¹Comparisons were conducted with participants without visual impairments (control group). ²Not referents, but hand postures for which participants expressed their preferences. ³Not referents, but gesture types that participants articulated during the study and their gestures were analyzed using measures of agreement (consistency) following Anthony *et al.* [2].

Tabel 3. Inventar al studiilor privind comenzi gestuale definite de utilizatori cu dizabilități de vedere.

Smartphone input

Answer call: bring phone to ear [6]; **double-tap with ear** [36]
Hang up call: remove phone from ear [6]; **ear swipe** [36]
Ignore call: cover the phone with the hand [6]; **ear swipe** [36]
Voice search: bring phone to mouth [6]; **long ear press** [36]
Call missed call: shake front-back and bring phone to ear [6]
Select: shake front-back [6]; **ear double tap** [36]
Home screen: turn phone back and front [6]
Next/Previous: flip phone right/left along vertical axis [6]
Pan: move phone to left, right, up, down [6]
Pause: cover the phone with the hand [6]
Power off: sweep hand on the phone from top to bottom [6]
Get caller info: tap with the ear [36]
Get time/battery level: ear tap at the top/bottom screen [36]
Mode switch: press with the ear [36]
Navigate: ear swipe [36]
Explore: free-form gesture with ear [36]
Show menu: rotate phone while pressed onto the ear to activate the menu and swipe to navigate menu items [36]
Continuous input: rotate phone while pressed onto the ear [36]

TV control

Turn TV on/off: perform tap in mid-air [7]
Play/pause TV: open/close palm [7]
Turn volume up/down: move palm upward/downward [7]
Change TV channel: hand rotates imaginary knob in mid-air [7]
Show TV guide: draw circle in mid-air [7]
Go to favorite TV channel: clap hands [7]
Show TV Menu: hands separate like opening a book [7]
Answer No: the index fingers of the two hands form a cross [7]
Answer Yes: the "OK" emblematic hand pose [7]
Go to previous/next channel: swipe hand left/right [7]
Voice guide: move both hands to ears [7]

Tangible interactions

Get general information: press/touch with index finger [23]
Select element and get its name:
index finger taps once/presses/touches the element [23]
Select sub-area of element and get its name:
index finger swipes on the area [23]
Get more information:
index finger swipes; tap/tap and hold with the index finger [23]
Record/retrieve notes: index finger taps twice [23]

Tabel 4. Comenzi gestuale, cu grad de consens ridicat, propuse de persoane cu dizabilități de vedere în cadrul studiilor de solicitare a preferințelor. Diverse culori indică diverse tipuri de gesturi: gesturi de atingere (verde), mișcare accelerată (mov), gesturi libere realizate cu mâna în aer (negru), respectiv forme desenate pe suprafețe sensibile la atingere (albastru). Referințele din paranteze respectă ordinea din lucrarea (Vatavu și Vanderdonckt, 2020) publicată în cadrul acestui proiect.

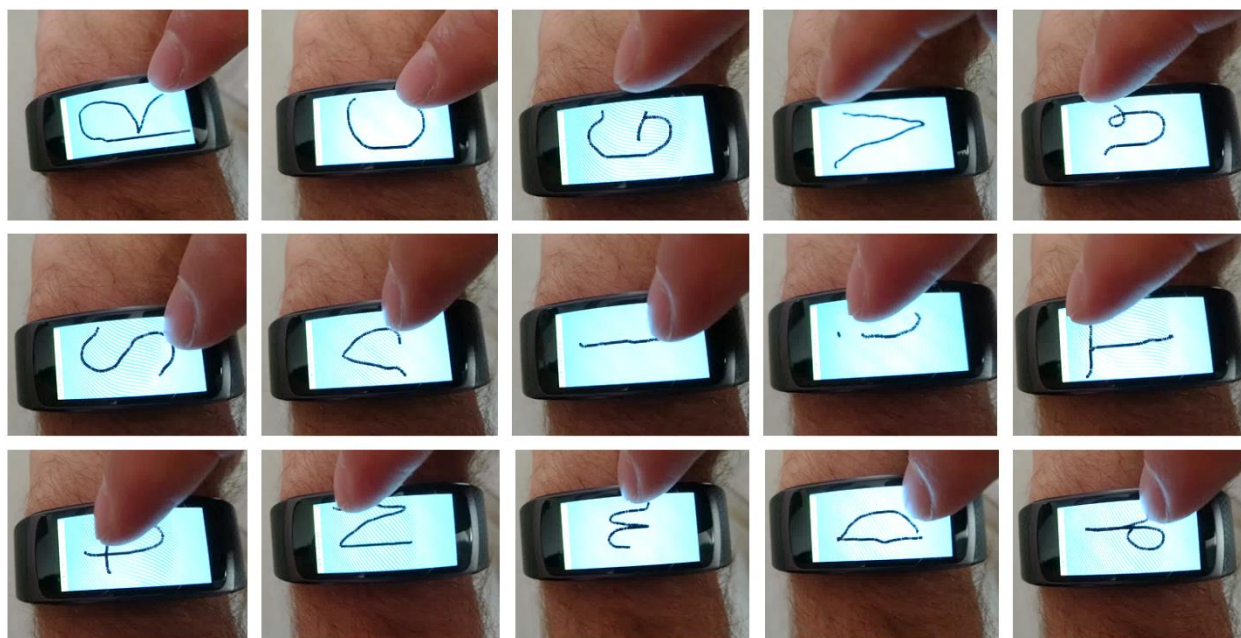


Figura 24. Comenzi gestuale, inspirate de tehnici mnemonice (Roy *et al.*, 2013; Vatavu *et al.*, 2013), propuse pentru controlul vederii augmentate. De la stânga la dreapta: (R) recunoaște obiecte, (C) citește text, (G) găsește obiectul [...], (V/v) activează/dezactivează vibrații, (S/s) activează/dezactivează sunet, (I/i) mărește/micșorează intensitatea volumului audio, (T/t) activează/dezactivează vederea termică, (N/n) activează/dezactivează vederea nocturnă, (D/d) activează/dezactivează vederea la distanță.

Comenzile gestuale și vocale pentru controlul vederii augmentate au fost implementate în cadrul aplicației MultiVision descrisă în Capitolul 4. Recunoașterea gesturilor a fost implementată folosind algoritmul ȘP (Vatavu *et al.*, 2012) disponibil în regim open-source.²⁸ Recunoașterea comenzilor vocale a fost realizată folosind distanța Levenshtein aplicată cuvintelor recunoscute de către Google Speech API plecând de la semnalul audio achiziționat de microfonul încorporat în ochelarii AR Vuzix Blade.

De asemenea, am colaborat în cadrul proiectului la proiectarea unui concept și aplicații de management a comenzilor gestuale pentru sisteme interactive (Magrofuoco *et al.*, 2019). Publicația rezultată a fost premiată cu distincția **Best Tech Note Award** în cadrul conferinței ACM EICS 2019:



Nathan Magrofuoco, Paolo Roselli, Jean Vanderdonck, Jorge Luis Pérez-Medina, and Radu-Daniel Vatavu. 2019. GestMan: A Cloud-based Tool for Stroke-Gesture Datasets. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems (EICS '19)*. ACM, New York, NY, USA, Article 7, 6 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3319499.3328227>

²⁸ <http://depts.washington.edu/accelab/proj/dollar/pdollar.html>

Pentru evaluarea acestor tehnici, am realizat următoarele studii: (1) o evaluare a aplicației FlexiSee din perspectiva utilizabilității percepute de către utilizatori la distanță de tipul vision assistant; (2) o evaluare a caracteristicilor gesturilor realizate de utilizatori cu deficiențe de vedere folosind disimilaritatea-consens (Vatavu, 2019) și o bază de date alcătuită din 6,562 de gesturi realizate pe ecrane tactile.

5.1. Studiu privind utilizabilitatea aplicației FlexiSee pentru Realitatea Augmentată/Realitatea Mixtă și HoloLens HMD

Am proiectat și implementat un studiu utilizator în vederea solicitării de feedback din partea utilizatorilor potențiali ai aplicației FlexiSee pentru a înțelege eventuale probleme de utilizabilitate privind controlul filtrelor vizuale în special și aplicației în general, precum și pentru a înțelege percepția acestora privind tehnologia nouă pe care o propunem. Zece ($N=10$) tineri adulți cu vârste cuprinse între 20 și 32 de ani ($M=26.6$, $SD=3.8$, $Mdn=27.5$ ani), dintre care trei femei, au luat parte la acest studiu. Toți participanții dețineau și foloseau în mod regulat telefoane smart iar patru dintre ei foloseau ceasuri smart, aspect care încadrează eșantionul de participanți în rândul utilizatorilor potențiali.

Studiul s-a desfășurat online datorită măsurilor impuse pentru distanțarea socială în anul 2020, participanții jucând rolul de vision monitor, respectiv vision assistant, în conformitate cu axa Users a spațiului FlexiSee-DS ilustrat în figura 21. Participanților le-a fost descris conceptul FlexiSee, demonstrată aplicația și prezentată interfața utilizator web pentru controlul de la distanță a filtrelor vizuale ce permit augmentarea vederii utilizatorului principal care poartă casca HMD HoloLens, respectiv monitorizarea vederii utilizatorului principal prin intermediul unui flux YouTube live. În timpul studiului, participanții au fost liberi să testeze efectul diverselor filtre vizuale. În total, participanții au testat un număr de 213 filtre ($M=21.3$, $SD=15.0$, $Mdn=15.0$) iar jurnalele completate automat de către interfața web au arătat că fiecare filtru vizual a primit aproximativ același nivel de atenție ($M=20.0\%$, $SD=2.1\%$). În ordinea descrescătoare a folosirii filtrelor vizuale se înscriu: *accentuarea muchiilor* (21.6% dintre toate încercările participanților), *ajustarea contrastului* (21.1%), *recolorarea* (20.7%), *ajustarea luminozității* (20.2%) și *detecția feței* (16.4%); a se vedea figura 20 pentru exemple ale acestor filtre vizuale.

Testul System Usability Scale – SUS (Brooke, 1996) a fost aplicat pentru a evalua numeric utilizabilitatea percepută de către participanții la studiu privind controlul vederii augmentate pentru utilizatorul principal, aflat la distanță, care a purtat casca HMD HoloLens. Rezultatele SUS individuale au variat între 57.5 și 100²⁹ cu o medie de 75.3, ceea ce plasează FlexiSee deasupra nivelului “good” (corespunzător unui scor SUS de 68), conform recomandărilor din Bangor *et al.* (2009). De asemenea, participanții au evaluat diverse caracteristici și funcționalități ale aplicației FlexiSee, exprimându-și gradul de acord cu diverse afirmații (a se vedea tabelul 5) și folosind pentru răspuns variante ale unor scale Likert cu 5 itemi de la 1 – strongly disagree la 5 – strongly agree.

Rezultatele privind conceptul și implementarea FlexiSee se află în evaluare (în etapa Minor Revisions Required) în vederea publicării în cadrul revistei Multimedia Tools and Applications:

Cristian Pamparău, Radu-Daniel Vatavu. (2020). FlexiSee: Flexible Configuration, Customization, and Control of Mediated and Augmented Vision for Users of Smart Eyewear Devices. *Multimedia Tools and Applications*. Springer (IF 2.313). **În evaluare: Minor Revisions Required**

Statement	Likert-scale rating		
	Mean	Stdev	Median
1. I believe that the FlexiSee concept is useful for remote assistants to experience directly what the primary user is seeing [†]	4.30	0.67	4.00
2. I believe that the FlexiSee concept is useful for the primary user to be able to share with remote assistants his/her visual experience directly [†]	4.70	0.67	5.00
3. I believe that the FlexiSee concept is useful for remote assistants to set visual filters for the primary user [†]	4.30	0.82	4.50
4. I believe that the FlexiSee concept is useful for the primary user to be assisted remotely with visual filters [†]	4.80	0.42	5.00
5. I believe that the FlexiSee concept fosters connectedness between remote assistants and the primary user [†]	3.60	1.07	3.00
6. I believe that the FlexiSee concepts fits well and brings added value to inter-human communication and collaboration in the current context of prevalent smart mobile devices, wearable gadgets, and activity in social media web sites [†]	4.80	0.42	5.00

[†] Higher is better

Tabel 5. Rezultate privind percepțiile participanților la studiul privind utilizabilitatea aplicației FlexiSee.

5.2. Evaluarea disimilaritate-consens a gesturilor realizate de utilizatori cu dizabilități de vedere

Pentru a înțelege aspectele privind performanța interacțiunii prin gesturi a persoanelor cu dizabilități de vedere, am aplicat metoda de analiză disimilaritate-consens (Vatavu, 2019) și am calculat și analizat modul în care gesturile sunt realizate de către utilizatorii cu și fără dizabilități. Figura 25 prezintă rezultatele obținute pentru fiecare tip de gest în parte (în total, 16 gesturi reprezentate de diverse forme geometrice: cerc, litera "A", semnul întrebării, etc.) dintr-o bază de date publică (Vatavu *et al.*, 2018) alcătuită dintr-un număr total de 6,562 de înregistrări de tip gesturi traiectorii de atingere (*en.: stroke-gestures*) executate de către 54 de participanți, dintre care 27 cu diverse tipuri de dizabilități vizuale. Modelele logistice (Vatavu, 2019) s-au potrivit bine datelor experimentale ($C_0=0.91$ pentru utilizatorii cu dizabilități de vedere, respectiv $C_0=1.50$ pentru utilizatorii fără dizabilități și $C_\infty=96.51$, pentru utilizatorii cu dizabilități de vedere respectiv 97.64 pentru utilizatorii fără dizabilități; $p<.001$).³⁰ Rezultatele privind rata de creștere (r) în cadrul curbelor de disimilaritate-consens (τ -C) au indicat faptul că, pe ansamblu,

³⁰ Conform Vatavu (2019), o valoare C_0 apropiată de 0, respectiv o valoare C_∞ apropiată de 100 denotă o potrivire bună a datelor experimentale cu modelele logistice utilizate în cadrul metodei de analiză disimilaritate-consens.



persoanele cu dizabilități de vedere prezintă un consens mai redus ($r = 6.53$, $SE = 0.36$) decât persoanele fără dizabilități ($r = 8.38$, $SE = 0.29$) în execuția gesturilor.

Aceste rezultate au fost publicate în cadrul conferinței ACM MobileHCI 2020:

Radu-Daniel Vatavu. 2020. Quantifying the Consistency of Gesture Articulation for Users with Low Vision with the Dissimilarity-Consensus Method. *Proceedings of MobileHCI '20 Extended Abstracts, the 22nd International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. ACM, New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1145/3406324.3410709>

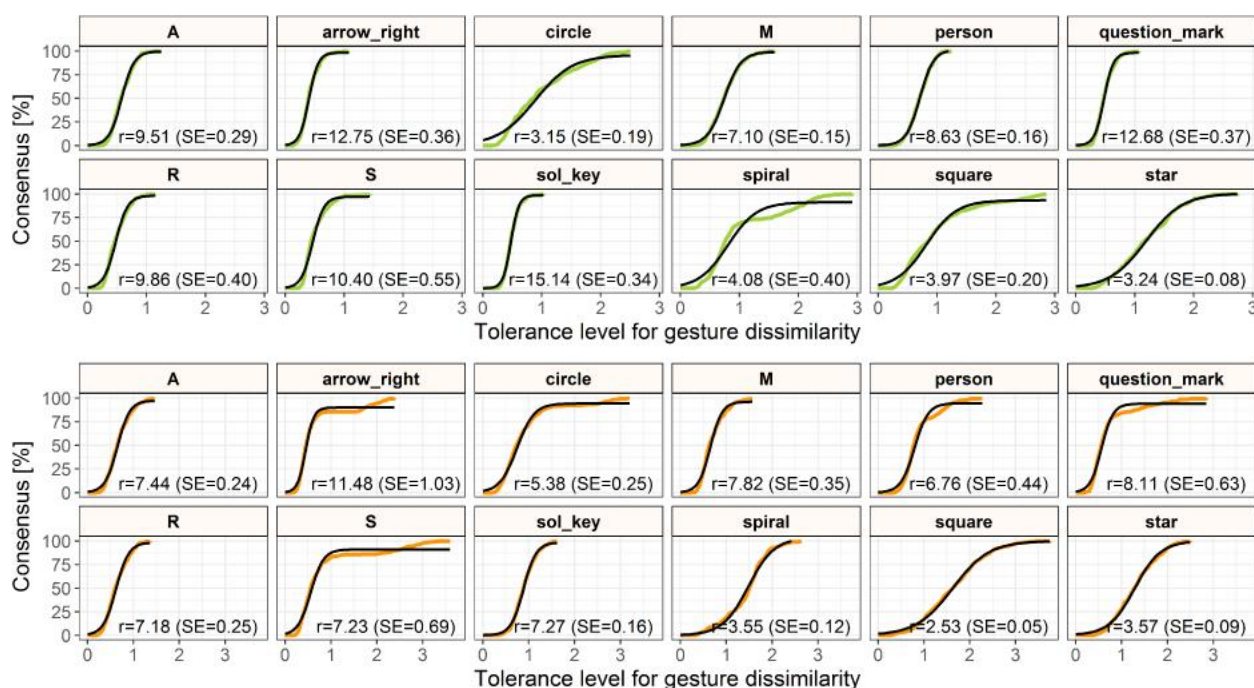


Figura 25. Curbe de creștere disimilaritate-consens pentru gesturi produse de utilizatori fără dizabilități de vedere (sus - verde) și cu dizabilități (jos - portocaliu). Modelele logistice sunt afișate în negru.

6. DISEMINAREA REZULTATELOR ȘTIINȚIFICE

6.1. Publicații științifice realizate în cadrul proiectului

Rezultatele științifice obținute în cadrul proiectului au fost diseminate în cadrul a 16 lucrări publicate în reviste și la conferințe, dintre care de remarcat o serie conferințe foarte selective (având ratele de acceptare de 25.1%, 26.0%, 22.1%, respectiv 23.8%) relevante pentru tematica proiectului de cercetare din domeniul interacțiunii om-calculator. De asemenea, două articole au fost publicate în conferințe de **rang A*** conform clasificării curente ARC CORE 2020 (ACM CHI 2019 și IEEE ISMAR 2019) iar 11 articole au fost deja indexate sau se află în curs de indexare Web of Science. Toate articolele sunt disponibile în bazele de date internaționale ACM, IEEE Xplore, Scopus sau DBLP. Trei lucrări au fost premiate de către ACM în cadrul PACM 2019, EICS 2019 și IMX 2020. Lista articolelor publicate în cadrul proiectului:

1. Ovidiu-Andrei Schipor, Radu-Daniel Vatavu. (2018). Invisible, Inaudible, and Impalpable: Users' Preferences and Memory Performance for Digital Content in Thin Air. *IEEE Pervasive Computing* 17(4), 76-85. IEEE. <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MPRV.2018.2873856>
IF: 3.813, 5-Year IF: 4.123 (JCR 2018) | WOS:000457920900009
Articolul este nominalizat pentru Premiile Academiei Române 2020
2. Jean Vanderdonckt, Mathieu Zen, Radu-Daniel Vatavu. (2019). AB4Web: An On-Line A/B Tester for Comparing User Interface Design Alternatives. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 3 (EICS), Article 18 (June 2019), 28 pages. ACM, New York, NY, USA.
<https://doi.org/10.1145/3331160> | **ACCEPTANCE RATE: 33.3% (21/63)**
 **Articolul a primit distincția „Honorable Mention Award” din partea ACM SIGCHI (Special Interest Group in Computer-Human Interaction), acordată în cadrul ACM EICS 2019**
3. Adrian Aiordăchioae, Radu-Daniel Vatavu. (2019). Life-Tags: A Smartglasses-based System for Recording and Abstracting Life with Tag Clouds. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 3 (EICS), Article 11 (June 2019), 24 pages. ACM, New York, NY, USA. DOI:
<https://doi.org/10.1145/3331157> | **ACCEPTANCE RATE: 33.3% (21/63)**
4. Irina Popovici, Radu-Daniel Vatavu. (2019). Understanding Users' Preferences for Augmented Reality Television. *Proceedings of ISMAR 2019, the 18th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. IEEE, 397-406. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2019.00024>
WOS:000525841300027 | ACCEPTANCE RATE: 22.1% (36/163)
A★ Conferință de rang A*, conform clasificării ARC CORE
5. Petruța-Paraschiva Rusu, Maria-Doina Schipor, Radu-Daniel Vatavu. (2019). A Lead-In Study on Well-Being, Visual Functioning, and Desires for Augmented Reality Assisted Vision for People with Visual Impairments. *Proc. of EHB '19, the 7th IEEE Int. Conf. on e-Health and Bioengineering*. IEEE.
WOS:000558648300203 <http://dx.doi.org/10.1109/EHB47216.2019.8970074>
6. Adrian Aiordăchioae. (2019). Eyewear-Based System for Sharing First-Person Video to Remote Viewers. *Proceedings of EHB '19, the 7th IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering*. IEEE. **WOS:000558648300003** <https://doi.org/10.1109/EHB47216.2019.8969871>
7. Nathan Magrofuoco, Paolo Roselli, Jean Vanderdonckt, Jorge Luis Pérez-Medina, Radu-Daniel Vatavu. (2019). GestMan: A Cloud-based Tool for Stroke-Gesture Datasets. *Proc. of EICS '19, the 11th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, Article 7, 6 pages. ACM, New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1145/3319499.3328227> **WOS:000524581600007**
 **Articolul a primit distincția “Best Tech Note Award” în cadrul conferinței ACM EICS 2019**
8. Irina Popovici, Radu-Daniel Vatavu. (2019). Towards Visual Augmentation of the Television Watching Experience: Manifesto and Agenda. In *Proceedings of TVX '19, the 2019 ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online*, 199-204. ACM, New York, NY, USA. **WOS:000482136600020** <https://doi.org/10.1145/3317697.3325121>
9. Radu-Daniel Vatavu. (2019). The Dissimilarity-Consensus Approach to Agreement Analysis in Gesture Elicitation Studies. In *Proceedings of CHI '19, the 37th ACM Conference on Human Factors*



in Computing Systems, Paper No. 224, 14 pages. ACM, New York, NY, USA.

<https://doi.org/10.1145/3290605.3300454>

WOS:000474467902075 | ACCEPTANCE RATE: 23.8% (703/2958)

A★ Conferință de rang A*, conform clasificării ARC CORE

10. Radu-Daniel Vatavu. (2020). Connecting Research from Assistive Vision and Smart Eyewear Computing with Crisis Management and Mitigation Systems: A Position Paper. *Romanian Journal of Information Science and Technology* 23(S), S29–S39. Romanian Academy.

<http://www.romjist.ro/abstract-652.html>

IF: 0.485 | WOS: 000537095200004

11. Radu-Daniel Vatavu. (2020). Quantifying the Consistency of Gesture Articulation for Users with Low Vision with the Dissimilarity-Consensus Method. *Proceedings of MobileHCI '20 Extended Abstracts, the 22nd International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. ACM, New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1145/3406324.3410709>
12. Adrian Aiordăchioae, Daniel Furtună, Radu-Daniel Vatavu. (2020). Aggregating Life Tags for Opportunistic Crowdsensing with Mobile and Smartglasses Users. *Proceedings of GoodTechs '20, the 6th EAI Int. Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good*. ACM, New York, NY, USA, pp. 66–71. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3411170.3411237> [în curs de indexare WoS]
13. Radu-Daniel Vatavu, Jean Vanderdonckt. 2020. What Gestures Do Users with Visual Impairments Prefer to Interact with Smart Devices? And How Much We Know About It. In Companion Publication of the 2020 ACM Designing Interactive Systems Conference (DIS' 20 Companion). ACM, New York, NY, USA, pp. 85–90. <https://doi.org/10.1145/3393914.3395896>

ACCEPTANCE RATE: 25.1% (50/199)

14. Radu-Daniel Vatavu, Pejman Saeghe, Teresa Chambel, Vinoba Vinayagamoorthy, Marian Florin Ursu. (2020). Conceptualizing Augmented Reality Television for the Living Room. *Proceedings of IMX '20, the ACM International Conference on Interactive Media Experiences*. ACM, New York, NY, USA, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1145/3391614.3393660>

ACCEPTANCE RATE: 26.0% (13/50)

 **Articolul a primit distincția „Honorable Mention Award” din partea ACM SIGCHI (ACM Special Interest Group in Computer-Human Interaction)**

15. Ovidiu-Andrei Schipor, Adrian Aiordăchioae. (2020). Engineering Details of a Smartglasses Application for Users with Visual Impairments. *Proceedings of DAS 2020, the 15th International Conference on Development and Application Systems*. IEEE, pp. 157–161. <https://doi.org/10.1109/DAS49615.2020.9108920> [în curs de indexare WoS]
16. Adrian Aiordăchioae, Ovidiu-Andrei Schipor, Radu-Daniel Vatavu. (2020). An Inventory of Voice Input Commands for Users with Visual Impairments and Assistive Smartglasses Applications. *Proc. of DAS 2020, the 15th International Conference on Development and Application Systems*. IEEE, pp. 146–150. <https://doi.org/10.1109/DAS49615.2020.9108915> [în curs de indexare WoS]

Alte articole se află în evaluare la momentul redactării acestui raport:

17. Cristian Pamparău, Radu-Daniel Vatavu. (2020). FlexiSee: Flexible Configuration, Customization, and Control of Mediated and Augmented Vision for Users of Smart Eyewear Devices. *Multimedia Tools and Applications*. Springer (IF 2.313). **În evaluare: Minor Revisions Required**
18. Radu-Daniel Vatavu, Petruța-Paraschiva Rusu, Ovidiu-Andrei Schipor, Maria-Doina Schipor. (2020). Examining Preferences for Augmented Vision and Smart Eyewear Devices: A Vignette Study with People with Visual Impairments. *Multimedia Tools and Applications*. Springer (IF 2.313). **În evaluare**
19. Adrian Aiordăchioae, Cristian Pamparău, Radu-Daniel Vatavu. (2020). Lifelogging Meets Alternate and Cross-Realities: An Investigation into Broadcasting Personal Visual Realities to Remote Audiences. *Multimedia Tools and Applications*. Springer (IF 2.313). **În evaluare**

6.2. Colaborări internaționale cu instituții de prestigiu

Pe perioada derulării proiectului au fost întreprinse o serie de colaborări științifice cu cercetători de prestigiu pentru obținerea de rezultate la un nivel înalt, printre care amintim Prof. Jean Vanderdonck (Université catholique de Louvain, Belgia, 14.000 citări, h=60, expert în interacțiunea om-calculator și inginerie software³¹), Prof. Marian Ursu (University of York, expert în media interactivă), Prof. Teresa Chambel (Universidade de Lisboa, expert în interacțiune om-calculator și multimedia), Dr. Vinoba Vinayagamoorthy (BBC R&D London, expert în AR/VR, interacțiune om-calculator și multimedia) și alții. Figura 26 rezumă colaborările științifice.



Figura 26. Harta colaborărilor științifice realizate în cadrul proiectului, materializate în diverse publicații în reviste și conferințe de prestigiu (Proceedings of the ACM, ACM IMX 2020, ACM DIS 2020, ACM EICS 2019).

6.3. Resurse disponibile în regim open-source

Pe lângă contribuțiile de natură științifică diseminate în cadrul articolelor publicate în reviste și la conferințe, am obținut următoarele contribuții și rezultate tehnice:

³¹ <https://scholar.google.com/citations?user=U-FgGrkAAAAJ&hl=en>

- Aplicație software FlexiSee pentru casca HMD HoloLens demonstrând vederea augmentată în domeniul vizibil, controlată cu dispozitive mobile și wearable cu browser web. Codul sursă este disponibil pe pagina web a proiectului de cercetare în regim open-source (New BSD License).
- Aplicație software MultiVision pentru ochelari AR Vuzix Blade și ceas smart Samsung Gear Fit 2, demonstrând vederea augmentată în afara domeniului vizibil. Codul sursă este disponibil pe pagina web a proiectului de cercetare în regim open-source (New BSD License).
- Diagrama de proiectare hardware a brățării cu micro-motoare pentru feedback vibrotactil este disponibilă pe pagina web a proiectului de cercetare.
- Set de date cu **6,240 observații experimentale** privind dorințele și preferințele de vedere augmentată, colectate sub formă de evaluări personale cu scale Likert în cinci puncte de la un număr de **195 de participanți** ai unui studiu organizat mix in-situ și online, dintre care interviuri organizate in-situ cu 17 participanți cu deficiențe de vedere. Disponibil în format CSV pe pagina web a proiectului de cercetare.
- Set de date cu **3,440 observații experimentale** privind dorințele și preferințele de vedere augmentată în contextul televiziunii interactive (ARTV), colectate sub formă de evaluări personale cu scale Likert în cinci puncte de la un număr de **172 de participanți**. Disponibil în format CSV pe pagina web a proiectului de cercetare.
- Set de date cu **1,680 observații experimentale** reprezentând preferințele unui număr de **20 de participanți** pentru augmentarea senzorială în afara simțurilor vizual, auditiv și tactil, colectate folosind un sistem automat de detecție și urmărire a mișcării de tip Vicon cu precizie sub-milimetrică. Disponibil în format CSV pe pagina web a proiectului de cercetare.

În conformitate cu activitățile desfășurate, rezultatele tehnice și științifice obținute în perioada 10 octombrie 2018 – 9 octombrie 2020, activitățile de diseminare, colaborările întreprinse, publicațiile realizate, precum și în conformitate cu activitățile de management întreprinse în această perioadă, considerăm obiectivele proiectului îndeplinite în procent de 100%.

REFERINȚE

- Ahn *et al.*, 2017 Sunggeun Ahn, Seongkook Heo, Geehyuk Lee. 2017. Typing on a Smartwatch for Smart Glasses. In *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS '17)*. ACM, New York, NY, USA, 201-209. <https://doi.org/10.1145/3132272.3134136>
- Aiordăchioae, 2019 Adrian Aiordăchioae. (2019). Eyewear-Based System for Sharing First-Person Video to Remote Viewers. *Proceedings of EHB '19, the 7th IEEE Int. Conf. on e-Health and Bioengineering*. IEEE, 4 pages. <http://dx.doi.org/10.1109/EHB47216.2019.8970074>
- Aiordăchioae și Vatau, 2019 Adrian Aiordăchioae, Radu-Daniel Vatau. (2019). Life-Tags: A Smartglasses-based System for Recording and Abstracting Life with Tag Clouds. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction 3* (EICS), Article 11 (June 2019), 24 pages. ACM, New York, NY, USA. DOI: <https://doi.org/10.1145/3331157>
- Aiordăchioae *et al.*, Adrian Aiordăchioae, Daniel Furtună, Radu-Daniel Vatau. (2020). Aggregating Life

- 2020a Tags for Opportunistic Crowdsensing with Mobile and Smartglasses Users. *Proceedings of GoodTechs '20, the 6th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good*. ACM, New York, NY, USA, 66-71. <https://doi.org/10.1145/3411170.3411237>
- Aiordăchioae et al., 2020b Adrian Aiordachioae, Ovidiu-Andrei Schipor, Radu-Daniel Vatavu. (2020). An Inventory of Voice Input Commands for Users with Visual Impairments and Assistive Smartglasses Applications. *Proceedings of DAS 2020, the 15th International Conference on Development and Application Systems*. IEEE, 146-150. <https://doi.org/10.1109/DAS49615.2020.9108915>
- Augment.tv, 2019 augment.tv. AR Lens for Video. <https://augmen.tv/> 2019
- Azenkot și Zhao, 2017 S. Azenkot, Y. Zhao. 2017. Designing Smartglasses Applications for People with Low Vision. *ACM SIGACCESS Accessibility and Computing*, no. 119, 19–24. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3167902.3167905>
- Azuma, 1997 Ronald T. Azuma. 1997. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6, 4 (August 1997), 355-385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Bar et al., 2001 Bar M., Tootell R.B., Schacter D.L., Greve D.N., Fischl B., Mendola J.D., Rosen B.R., Dale A.M. 2001. Cortical mechanisms specific to explicit visual object recognition. *Neuron*. 2001 Feb;29(2):529-35. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11239441>
- Bangor et al., 2009 Bangor, A., Kortum, P., Miller, J. 2009. Determining what Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies* 4(3), 114–123. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2835587.2835589>
- Bekele et al., 2018 Mafkereseb Kassahun Bekele, Roberto Pierdicca, Emanuele Frontoni, Eva Savina Malinverni, and James Gain. 2018. A Survey of Augmented, Virtual, and Mixed Reality for Cultural Heritage. *Journal on Computing and Cultural Heritage* 11, 2, Article 7 (March 2018), 36 pages. <https://doi.org/10.1145/3145534>
- Billinghurst et al., 2015 Mark Billinghurst, Adrian Clark, Gun Lee. 2015. A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*. 8, 2-3 (March 2015), 73-272. <http://dx.doi.org/10.1561/11000000049>
- Bobin et al., 2016 Maxence Bobin, Margarita Anastassova, Mehdi Boukallel, Mehdi Ammi. 2016. SyMPATHy: smart glass for monitoring and guiding stroke patients in a home-based context. In *Proceedings of the 8th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems (EICS '16)*. ACM, New York, NY, USA, 281-286. <https://doi.org/10.1145/2933242.2935870>
- Bradley și Terry, 1952 Ralph Allan Bradley, Milton E. Terry. 1952. Rank Analysis of Incomplete Block Designs: I. The Method of Paired Comparisons. *Biometrika* 39, 3/4 (1952), 324–345. <http://www.jstor.org/stable/2334029>
- Brooke, 1996 Brooke, J. 1996. SUS: A Quick and Dirty Usability Scale. *Usability Evaluation in Industry*. Taylor & Francis.



- <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9780429157011/chapters/10.1201/9781498710411-35>
- Buzzi *et al.*, 2017 M.C. Buzzi, M. Buzzi, B. Leporini, A. Trujillo. 2017. Analyzing Visually Impaired People's Touch Gestures on Smartphones. *Multimedia Tools and Applications* 76(4). <https://doi.org/10.1007/s11042-016-3594-9>
- Chowdhury *et al.*, 2016 Soumyadeb Chowdhury, Md Sadek Ferdous, Joemon M Jose. 2016. Bystander Privacy in Lifelogging. In *Proceedings of the 30th International BCS Human Computer Interaction Conference: Companion Volume (HCI '16)*. BCS Learning & Development Ltd., Swindon, UK, Article 15, 3 pages. <https://doi.org/10.14236/ewic/HCI2016.62>
- Clarifai, 2020 Computer Vision and AI Enterprise Platform, <https://www.clarifai.com/>
- Crick, 1984 Crick, F. 1984. Function of the thalamic reticular complex: the searchlight hypothesis. In *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. July 81(14):4586-4590. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6589612>
- Csapó *et al.*, 2015 Á. Csapó, G. Wersényi, H. Nagy, T. Stockman. 2015. A Survey of Assistive Technologies and Applications for Blind Users on Mobile Platforms: A Review and Foundation for Research. *Journal on Multimodal User Interfaces*, vol. 9, no. 4, 275–286. <https://doi.org/10.1007/s12193-015-0182-7>
- Dey *et al.*, 2018 Dey, A., Billinghamurst, M., Lindeman, R. W., & Swan, J. E. 2018. A Systematic Review of 10 Years of Augmented Reality Usability Studies: 2005 to 2014. *Frontiers in Robotics and AI*, 5. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00037>
- Dim *et al.*, 2014 N.K. Dim, X. Ren. 2014. Designing Motion Gesture Interfaces in Mobile Phones for Blind People. *Journal of Computer Science and Technology* 29(5), 812-824. <https://doi.org/10.1007/s11390-014-147>
- Dim *et al.*, 2016 N.K. Dim, C. Silpasuwanchai, S. Sarcar, X. Ren. 2016. Designing Mid-Air TV Gestures for Blind People Using User- and Choice-Based Elicitation Approaches. *Proceedings of DIS '16, the ACM International Conference on Designing Interactive Systems*, 204–214. <https://doi.org/10.1145/2901790.2901834>
- Dingler *et al.*, 2018 Tilman Dingler, Rufat Rzayev, Alireza Sahami Shirazi, Niels Henze. 2018. Designing Consistent Gestures Across Device Types: Eliciting RSVP Controls for Phone, Watch, and Glasses. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. ACM, New York, NY, USA, Paper 419, 12 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3173574.3173993>
- Dodge și Kitchen, 2007 Martin Dodge, Rob Kitchen. 2007. 'Outlines of a World Coming into Existence': Pervasive Computing and the Ethics of Forgetting. *Environment and Planning B: Planning and Design* 34, 3 (2007), 431–445. <https://doi.org/10.1068/b32041t>
- eSight, 2020 eSight: Electronic Glasses for the Legally Blind. <https://www.esighteyewear.eu>
- Everingham *et al.*, 1998 M. Everingham, B. Thomas, T. Troscianko. 1998. Head-Mounted Mobility Aid for Low Vision Using Scene Classification Techniques. *The International Journal of*

- Fuller și Sadovnik, 2017
 Fuller, T., Sadovnik, A. 2017. Image Level Color Classification for Colorblind Assistance. *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP '17)*, 1985–1989. <http://dx.doi.org/10.1109/ICIP.2017.8296629>
- Ganti et al., 2011
 R.K. Ganti, F. Ye, H. Lei. 2011. Mobile Crowdsensing: Current State and Future Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 49(11), 32-39. <http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2011.6069707>
- Gheran et al., 2018a
 Bogdan-Florin Gheran, Jean Vanderdonckt, Radu-Daniel Vatavu. 2018. Gestures for Smart Rings: Empirical Results, Insights, and Design Implications. In *Proceedings of the 2018 Designing Interactive Systems Conference (DIS '18)*. ACM, New York, NY, USA, 623-635. DOI: <https://doi.org/10.1145/3196709.3196741>
- Gheran et al., 2018b
 Bogdan-Florin Gheran, Radu-Daniel Vatavu, Jean Vanderdonckt. 2018. Ring x2: Designing Gestures for Smart Rings using Temporal Calculus. In *Proceedings of the 2018 ACM Conference Companion on Designing Interactive Systems*. ACM, New York, NY, USA, 117-122. DOI: <https://doi.org/10.1145/3197391.3205422>
- Google Clips, 2019
 Google Clips. 2019. Google Clips Specifications. <https://support.google.com/googleclips/answer/7545447?hl=en>
- Grossman et al., 2015
 Tovi Grossman, Xiang Anthony Chen, George Fitzmaurice. 2015. Typing on Glasses: Adapting Text Entry to Smart Eyewear. In *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '15)*. ACM, New York, NY, USA, 144–152. <https://doi.org/10.1145/2785830.2785867>
- Guerit et al., 2019
 Robin Guérit, Alessandro Cierro, Jean Vanderdonckt, Jorge Luis Pérez-Medina. 2019. Gesture Elicitation and Usability Testing for an Armband Interacting with Netflix and Spotify. In *Proceedings of ICITS 2019, the International Conference on Information Technology & Systems*, pp. 625-637. Springer, Cham https://doi.org/10.1007/978-3-030-11890-7_60
- Gurrin et al., 2014
 Cathal Gurrin, Alan F. Smeaton, Aiden R. Doherty. 2014. LifeLogging: Personal Big Data. *Foundations and Trends in Information Retrieval* 8, 1 (June 2014), 1–125. <https://doi.org/10.1561/15000000033>
- Harper et al., 1999
 Harper, R., Culham, L., Dickinson, C. 1999. Head Mounted Video Magnification Devices for Low Vision Rehabilitation: A Comparison With Existing Technology. *British J. of Ophthalmology* 83(4), 495–500. <http://dx.doi.org/10.1136/bjo.83.4.495>
- Hellmund et al., 2018
 Till Hellmund, Andreas Seitz, Juan Haladjian, Bernd Bruegge. 2018. IPRA: Real-Time Face Recognition on Smart Glasses with Fog Computing. In *Proceedings of the 2018 ACM International Joint Conference and 2018 International Symposium on Pervasive and Ubiquitous Computing and Wearable Computers (UbiComp '18)*. ACM, New York, NY, USA, 988-993. <https://doi.org/10.1145/3267305.3274122>
- Hwang și Peli, 2014
 Hwang, A., Peli, E. 2014. An Augmented-Reality Edge Enhancement Application for Google Glass. *Optometry & Vision Science* 91(8), 1021–1030.



- <http://dx.doi.org/10.1097/OPX.0000000000000326>
- Hubel și Wiesel, 1968 Hubel, D.H., Wiesel, T.N. 1968. Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *Journal of Physiology*. Mar;195(1):215-43.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4966457>
- Hubel și Wiesel, 2004 D.H. Hubel, T.N. Wiesel. 2004. Brain and visual perception: the story of a 25-year collaboration. Oxford University Press
- InAir, 2019 InAiR. The complete TV experience. <https://www.inair.tv>, 2019
- Jones *et al.*, 2013 B. R. Jones, H. Benko, E. Ofek, A. D. Wilson. 2013. IllumiRoom: Peripheral projected illusions for interactive experiences. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13)*, pp. 869–878. ACM, NY, USA, 2013. <http://dx.doi.org/10.1145/2470654.2466112>
- Jones *et al.*, 2014 B. Jones, R. Sodhi, M. Murdock, R. Mehra, H. Benko, A. Wilson, E. Ofek, B. MacIntyre, N. Raghuvanshi, L. Shapira. 2014. RoomAlive: Magical experiences enabled by scalable, adaptive projector-camera units. In *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 637–644. ACM, New York, NY, USA, 2014. <http://dx.doi.org/10.1145/2642918.2647383>
- Jung *et al.*, 2014 Jinki Jung, Jinwoo Jeon, Hyeopwoo Lee, Kichan Kwon, Jamal Zemerly, Hyun Seung Yang. 2014. Augmented keyboard: a virtual keyboard interface for smart glasses. In *Proceedings of the 13th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry (VRCAI '14)*. ACM, New York, NY, USA, 159-164. DOI: <https://doi.org/10.1145/2670473.2670482>
- Kane *et al.*, 2008 S.K. Kane, J.P. Bigham, J.O. Wobbrock. 2008. Slide Rule: Making Mobile Touch Screens Accessible to Blind People Using Multi-Touch Interaction Techniques. *Proceedings of the 10th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '08)*, 73–80. <https://doi.org/10.1145/1414471.1414487>
- Kim *et al.*, 2016 Kim, K., Bruder, G., Maloney, D., Welch, G. (2016). The Influence of Real Human Personality on Social Presence with a Virtual Human in Augmented Reality. The Eurographics Association. <https://doi.org/10.2312/egve.20161443>
- Kim *et al.*, 2018 Kim, K., Billingham, M., Bruder, G., Duh, H. B.-L., Welch, G. F. (2018). Revisiting Trends in Augmented Reality Research: A Review of the 2nd Decade of ISMAR (2008–2017). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(11), 2947–2962. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2868591>
- Kinaterder *et al.*, 2018 Kinaterder, M., Gualtieri, J., Dunn, M. J., Jarosz, W., Yang, X.-D., Cooper, E. A. (2018). Using an Augmented Reality Device as a Distance-based Vision Aid-Promise and Limitations. *Optometry and Vision Science*, 95(9), 727–737.
<https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001232>
- Koelle *et al.*, 2015 Marion Koelle, Matthias Kranz, Andreas Möller. 2015. Don't Look at Me That Way!: Understanding User Attitudes Towards Data Glasses Usage. In *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile*

- Devices and Services (MobileHCI '15)*. ACM, New York, NY, USA, 362–372.
<https://doi.org/10.1145/2785830.2785842>
- Koelle *et al.*, 2018 Marion Koelle, Swamy Ananthanarayan, Simon Czupalla, Wilko Heuten, Susanne Boll. 2018. Your smart glasses' camera bothers me!: exploring opt-in and opt-out gestures for privacy mediation. In *Proceedings of the 10th Nordic Conference on Human-Computer Interaction (NordicCHI '18)*. ACM, New York, NY, USA, 473–481. DOI: <https://doi.org/10.1145/3240167.3240174>
- Kohavi și Longbotham, 2017 Ron Kohavi and Roger Longbotham. 2017. Online Controlled Experiments and A/B Testing. Springer US, 922–929. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7687-1_891
- Kosslyn, 1999 Kosslyn, S.M. 1999. If neuroimaging is the answer, what is the question?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. July 29; 354(1387): 1283–1294. <https://dx.doi.org/10.1098%2Frstb.1999.0479>
- Kunz *et al.*, 2014 A. Kunz, K. Miesenberger, M. Mühlhäuser, A. Alavi, S. Pölzer, D. Pöll, P. Heumader, D. Schnelle-Walka. 2014. Accessibility of Brainstorming Sessions for Blind People. *ICCHP '14*, 237–244. https://doi.org/10.1007/978-3-319-08596-8_38
- Langlotz *et al.*, 2018 Tobias Langlotz, Jonathan Sutton, Stefanie Zollmann, Yuta Itoh, Holger Regenbrecht. 2018. ChromaGlasses: Computational Glasses for Compensating Colour Blindness. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. ACM, New York, NY, USA, Paper 390, 1–12. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173964>
- Lyubomirsky and Lepper, 1999 S. Lyubomirsky, H. S. Lepper. 1999. A Measure of Subjective Happiness: Preliminary Reliability and Construct Validation. *Soc. Indic. Res.*, vol. 46, no. 2, pp. 137–155, Feb. 1999. <https://doi.org/10.1023/A:1006824100041>
- Luthra și Ghosh, 2015 V. Luthra, S. Ghosh. 2015. Understanding, Evaluating and Analyzing Touch Screen Gestures for Visually Impaired Users in Mobile Environment. *Proceedings of UAHCI '15*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20681-3_3
- Machajdik *et al.*, 2011 J. Machajdik, A. Hanbury, A. Garz, R. Sablatnig. 2011. Affective Computing for Wearable Diary and Lifelogging Systems: An Overview. In *Proceedings of the 35th Workshop of the Austrian Association for Pattern Recognition*. Austrian Computer Society. <https://www.ec.tuwien.ac.at/node/6421>
- Magrofuoco *et al.*, 2019 Nathan Magrofuoco, Paolo Roselli, Jean Vanderdonckt, Jorge Luis Pérez-Medina, Radu-Daniel Vatavu. (2019). GestMan: A Cloud-based Tool for Stroke-Gesture Datasets. *Proceedings of EICS '19, the 11th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems* (Valencia, Spain), Article 7, 6 pages. ACM, New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1145/3319499.3328227>
- Mangione *et al.*, 2001 Carol M. Mangione, Paul P. Lee, Peter R. Gutierrez, Karen Spritzer, Sandra Berry, Ron D. Hays. (2001). Development of the 25-list-item National Eye Institute Visual Function Questionnaire. *Arch Ophthalmol*. 119(7):1050-1058. DOI: <http://dx.doi.org/10.1001/archophth.119.7.1050>
- Marr, 1982 D. Marr. 1982. Vision: A computational investigation into the human



- representation and processing of visual information. MIT Press
- McCall *et al.*, 2015 R. McCall, B. Martin, A. Popleteev, N. Louveton, T. Engel. 2015. Text entry on smart glasses. In *Proceedings the 8th International Conference on Human System Interaction (HSI 2015)*. 195–200. <https://doi.org/10.1109/HSI.2015.7170665>
- MeCam, 2019 MeCam. 2019. High definition video camera | Best life logging device | Mini video camera - MeCam. <https://mecam.me/products/mecam-hd>
- Melillo *et al.*, 2017 Melillo, P., Riccio, D., Di Perna, L., Sanniti Di Baja, G., De Nino, M., Rossi, S., Testa, F., Simonelli, F., Frucci, M. 2017. Wearable Improved Vision System for Color Vision Deficiency Correction. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine* 5, 1–7. <http://dx.doi.org/10.1109/JTEHM.2017.2679746>
- Milgram și Kishino, 1994 Paul Milgram, Fumio Kishino. 1994. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems* E77-D, 12 (December 1994), 1321–1329
- Milgram *et al.*, 1995 Paul Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, F. Kishino. 1995. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Proc. of Telem manipulator and Telepresence Technologies*. <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Modanwal și Sarawadekar, 2018a G. Modanwal, K. Sarawadekar. 2018. A Gesture Elicitation Study with Visually Impaired Users. *HCI '18*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92279-9_7
- Modanwal și Sarawadekar, 2018b G. Modanwal, K. Sarawadekar. 2018. A New Dactylology and Interactive System Development for Blind–Computer Interaction. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems* 48(2). <http://dx.doi.org/10.1109/THMS.2017.2734065>
- Narrative, 2019 Narrative. 2019. The World's Most Wearable HD Video Camera | Narrative Clip 2. <http://getnarrative.com/>
- Peli, 1999 Peli, E. 1999. Simple 1-D Image Enhancement for Head-Mounted Low Vision Aid. *Visual Impairment Research* 1(1), 3–10. <https://doi.org/10.1076/vimr.1.1.3.4449>
- Peli *et al.*, 2009 Peli, E., Luo, G., Bowers, A., Rensing, N. 2009. Development and Evaluation of Vision Multiplexing Devices for Vision Impairments. *International Journal of Artificial Intelligence Tools: Architectures, Languages, Algorithms* 18(3), 365–378. <https://doi.org/10.1142/S0218213009000184>
- Popleteev *et al.*, 2015 Andrei Popleteev, Nicolas Louveton, Roderick McCall. 2015. Colorizer: Smart Glasses Aid for the Colorblind. In *Proceedings of the 2015 workshop on Wearable Systems and Applications (WearSys '15)*. ACM, New York, NY, USA, 7-8. <http://dx.doi.org/10.1145/2753509.2753516>
- Popovici și Vatavu, 2019a Irina Popovici, Radu-Daniel Vatavu. (2019). Understanding Users' Preferences for Augmented Reality Television. *Proceedings of ISMAR 2019, the 18th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. IEEE, 269-278. <http://dx.doi.org/10.1109/ISMAR.2019.00024>
- Popovici și Vatavu, Irina Popovici, Radu-Daniel Vatavu. (2019). Towards Visual Augmentation of the

- 2019b Television Watching Experience: Manifesto and Agenda. In *Proc. of TVX '19, the 2019 ACM Int. Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video*. ACM, New York, NY, USA, 199-204. <https://doi.org/10.1145/3317697.3325121>
- Profita et al., 2016 Halley Profita, Reem Albaghli, Leah Findlater, Paul Jaeger, Shaun K. Kane. 2016. The AT Effect: How Disability Affects the Perceived Social Acceptability of Head-Mounted Display Use. *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*. ACM, New York, NY, USA, 4884–4895. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858130>
- Real și Araujo, 2019 S. Real, A. Araujo. 2019. Navigation Systems for the Blind and Visually Impaired: Past Work, Challenges, and Open Problems. *Sensors*, vol. 19, no. 15, 3404. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fs19153404>
- Roitman et al., 2012 Haggai Roitman, Jonathan Mamou, Sameep Mehta, Aharon Satt, L.V. Subramaniam. 2012. Harnessing the Crowds for Smart City Sensing. *Proceedings of the 1st International Workshop on Multimodal Crowd Sensing (CrowdSens '12)*, 17–18. <https://doi.org/10.1145/2390034.2390043>
- Romano et al., 2015 M. Romano, A. Belluci, I. Aedo. 2015. Understanding Touch and Motion Gestures for Blind People on Mobile Devices. *Proceedings of INTERACT '15*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22701-6_3
- Roy et al., 2013 Quentin Roy, Sylvain Malacria, Yves Guiard, Eric Lecolinet, James Eagan. 2013. Augmented Letters: Mnemonic Gesture-based Shortcuts. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13)*. ACM, New York, NY, USA, 2325–2328. <https://doi.org/10.1145/2470654.2481321>
- Rusu et al., 2019 Petruta-Paraschiva Rusu, Maria-Doina Schipor, Radu-Daniel Vatavu. (2019). A Lead-In Study on Well-Being, Visual Functioning, and Desires for Augmented Reality Assisted Vision for People with Visual Impairments. *Proceedings of EHB '19, the 7th IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering*. IEEE Press
- Saeghe et al., 2019 P. Saeghe, S. Clinch, B. Weir, M. Glancy, V. Vinayagamoorthy, O. Pattinson, S.R. Pettifer, R. Stevens. 2019. Augmenting Television With Augmented Reality. In *Proc. of the 2019 ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video (TVX '19)*. ACM, New York, NY, USA, 255-261. DOI: <https://doi.org/10.1145/3317697.3325129>
- Sandnes, 2016 Sandnes, F.E. 2016. What Do Low-Vision Users Really Want From Smart Glasses? Faces, Text and Perhaps No Glasses at All. *Proceedings of the International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP '16)*, 187–194. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41264-1_25
- Schipor și Vatavu, 2017a Maria Doina Schipor, Radu-Daniel Vatavu. 2017a. Neurobiological and Neurocognitive Models of Vision for Touch Input on Mobile Devices. In *Proceedings of EHB '17, the 6th IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering*. IEEE Press, 353-356. <https://doi.org/10.1109/EHB.2017.7995434>
- Schipor și Vatavu, 2017b Maria Doina Schipor, Radu-Daniel Vatavu. 2017b. Coping Strategies of People with



- 2017b Low Vision for Touch Input: A Lead-in Study. In *Proceedings of EHB '17, the 6th IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering*. IEEE Press, 357-360. <http://dx.doi.org/10.1109/EHB.2017.7995435>
- Schipor și Vatavu, 2018 Ovidiu-Andrei Schipor, Radu-Daniel Vatavu. (2018). Invisible, Inaudible, and Impalpable: Users' Preferences and Memory Performance for Digital Content in Thin Air. *IEEE Pervasive Computing* 17(4), 76-85. IEEE Press. <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MPRV.2018.2873856>
- Sellen și Whittaker, 2010 Abigail J. Sellen, Steve Whittaker. 2010. Beyond Total Capture: A Constructive Critique of Lifelogging. *Communications of the ACM* 53, 5 (May 2010), 70–77. <https://doi.org/10.1145/1735223.1735243>
- Shi et al., 2017 Lei Shi, Yuhang Zhao, Shiri Azenkot. 2017. Designing Interactions for 3D Printed Models with Blind People. In *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '17)*. ACM, New York, NY, USA, 200–209. DOI: <https://doi.org/10.1145/3132525.3132549>
- SnapCam, 2019 SnapCam. 2019. iON USA | SnapCam. <https://usa.ioncamera.com/snapcam/>
- Stearns et al., 2017 Stearns, L., DeSouza, V., Yin, J., Findlater, L., Froehlich, J.E. 2017. Augmented Reality Magnification for Low Vision Users With the Microsoft HoloLens and a Finger-Worn Camera. *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '17)*. ACM, New York, NY, USA, 361–362. <https://doi.org/10.1145/3132525.3134812>
- Stearns et al., 2018 Stearns, L., Findlater, L., Froehlich, J.E. 2018. Design of an Augmented Reality Magnification Aid for Low Vision Users. *Proceedings of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '18)*. ACM, New York, NY, USA, 28–39. <https://doi.org/10.1145/3234695.3236361>
- Szpiro et al., 2016a Sarit Felicia Anaïs Szpiro, Shafeka Hashash, Yuhang Zhao, Shiri Azenkot. 2016. How People with Low Vision Access Computing Devices: Understanding Challenges and Opportunities. In *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '16)*. ACM, New York, NY, USA, 171-180. <https://doi.org/10.1145/2982142.2982168>
- Szpiro et al., 2016b Sarit Szpiro, Yuhang Zhao, Shiri Azenkot. 2016. Finding a store, searching for a product: a study of daily challenges of low vision people. In *Proc. of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp '16)*. ACM, New York, NY, USA, 61-72. <https://doi.org/10.1145/2971648.2971723>
- Tanuwidjaja et al., 2014 Enrico Tanuwidjaja, Derek Huynh, Kirsten Koa, Calvin Nguyen, Churen Shao, Patrick Torbett, Colleen Emmenegger, Nadir Weibel. 2014. Chroma: A Wearable Augmented-Reality Solution for Color Blindness. In *Proc. of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*. ACM, New York, NY, USA, 799–810. <https://doi.org/10.1145/2632048.2632091>
- Tapu et al., 2014 R. Tapu, B. Mocanu, E. Tapu. 2014. A Survey on Wearable Devices Used to Assist

- the Visual Impaired User Navigation in Outdoor Environments. *Proceedings of the 11th International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ISETC.2014.7010793>
- Tapu *et al.*, 2020 R. Tapu, B. Mocanu, T. Zaharia. 2020. Wearable Assistive Devices for Visually Impaired: A State of the Art Survey. *Pattern Recognition Letters*, 137, pp. 37-52. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2018.10.031>
- Thomas, 2012 Bruce H. Thomas. 2012. A survey of visual, mixed, and augmented reality gaming. *Computers in Entertainment* 10, 1, Article 3 (December 2012), 33 pages. <http://dx.doi.org/10.1145/2381876.2381879>
- Tung *et al.*, 2015 Ying-Chao Tung, Chun-Yen Hsu, Han-Yu Wang, Silvia Chyou, Jhe-Wei Lin, Pei-Jung Wu, Andries Valstar, Mike Y. Chen. 2015. User-Defined Game Input for Smart Glasses in Public Space. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*. ACM, New York, NY, USA, 3327-3336. DOI: <https://doi.org/10.1145/2702123.2702214>
- Vanderdonckt *et al.*, 2019 Jean Vanderdonckt, Mathieu Zen, Radu-Daniel Vatavu. 2019. AB4Web: An On-Line A/B Tester for Comparing User Interface Design Alternatives. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 3, EICS, Article 18 (June 2019), 28 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3331160>
- Vatavu *et al.*, 2012 Radu-Daniel Vatavu, Lisa Anthony, Jacob O. Wobbrock. 2012. Gestures as point clouds: a 3D recognizer for user interface prototypes. In *Proceedings of the 14th ACM international conference on Multimodal interaction (ICMI '12)*. ACM, New York, NY, USA, 273–280. DOI: <https://doi.org/10.1145/2388676.2388732>
- Vatavu, 2013a R.-D. Vatavu. 2013. Point & Click Mediated Interactions for Large Home Entertainment Displays. *Multimedia Tools and Applications*, 59(1):113–128, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s11042-010-0698-5>
- Vatavu, 2013b R.-D. 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)*, pp. 143–152. ACM, New York, NY, USA, 2013. <http://dx.doi.org/10.1145/2465958.2465972>
- Vatavu *et al.*, 2013 Radu-Daniel Vatavu, Géry Casiez, Laurent Grisoni. 2013. Small, medium, or large? Estimating the user-perceived scale of stroke gestures. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13)*. ACM, New York, NY, USA, 277–280. <https://doi.org/10.1145/2470654.2470692>
- Vatavu și Wobbrock, 2015 Radu-Daniel Vatavu, Jacob O. Wobbrock. 2015. Formalizing Agreement Analysis for Elicitation Studies: New Measures, Significance Test, and Toolkit. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*. ACM, New York, NY, USA, 1325-1334. DOI: <https://doi.org/10.1145/2702123.2702223>
- Vatavu și Wobbrock, 2016 Radu-Daniel Vatavu, Jacob O. Wobbrock. 2016. Between-Subjects Elicitation Studies: Formalization and Tool Support. In *Proceedings of the 2016 CHI*



- Vatavu *et al.*, 2016 Radu-Daniel Vatavu, Annette Mossel, Christian Schönauer. 2016. Digital vibrons: understanding users' perceptions of interacting with invisible, zero-weight matter. In *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '16)*. ACM, New York, NY, USA, 217-226. DOI: <https://doi.org/10.1145/2858036.2858228>
- Vatavu, 2017a R.-D. Vatavu. 2017. Visual Impairments and Mobile Touchscreen Interaction: State-of-the-Art, Causes of Visual Impairment, and Design Guidelines. *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 33, no. 6, 486–509. <https://doi.org/10.1080/10447318.2017.1279827>
- Vatavu, 2017b R.-D. Vatavu. 2017. Improving Gesture Recognition Accuracy on Touch Screens for Users with Low Vision. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*. ACM, New York, NY, USA, 4667–4679. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025941>
- Vatavu *et al.*, 2018 R.-D. Vatavu, B.F. Gheran, M.D. Schipor. 2018. The Impact of Low Vision on Touch-Gesture Articulation on Mobile Devices. *IEEE Pervasive Computing* 17 (1). <https://doi.org/10.1109/MPRV.2018.011591059>
- Vatavu, 2019 Radu-Daniel Vatavu. 2019. The Dissimilarity-Consensus Approach to Agreement Analysis in Gesture Elicitation Studies. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '19)*. ACM, New York, NY, USA, Paper 224, 13 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3290605.3300454>
- Vatavu, 2020 Radu-Daniel Vatavu. (2020). Quantifying the Consistency of Gesture Articulation for Users with Low Vision with the Dissimilarity-Consensus Method. *Proceedings of MobileHCI '20 Extended Abstracts, the 22nd International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. ACM, New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1145/3406324.3410709>
- Vatavu și Vanderdonckt, 2020 R.-D. Vatavu, Jean Vanderdonckt. 2020. What Gestures Do Users with Visual Impairments Prefer to Interact with Smart Devices? And How Much We Know About It. In *Companion Publication of the 2020 ACM Designing Interactive Systems Conference (DIS' 20 Companion)*. ACM, New York, NY, USA, 85–90. <https://doi.org/10.1145/3393914.3395896>
- Vatavu *et al.*, 2020 Radu-Daniel Vatavu, Pejman Saeghe, Teresa Chambel, Vinoba Vinayagamoorthy, Marian F Ursu. 2020. Conceptualizing Augmented Reality Television for the Living Room. In *Proc. of the ACM International Conference on Interactive Media Experiences (IMX '20)*. ACM, New York, NY, USA, 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1145/3391614.3393660>
- Vinayagamoorthy *et al.*, 2018 Vinoba Vinayagamoorthy, Maxine Glancy, Paul Debenham, Alastair Bruce, Christoph Ziegler, Richard Schäffer. 2018. 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)*. ACM, New York, NY, USA, 179-184. DOI: <https://doi.org/10.1145/3210825.3213562>
- Vinayagamoorthy et al., 2019 Vinoba Vinayagamoorthy, Maxine Glancy, Christoph Ziegler, Richard Schäffer. 2019. Personalising the TV Experience using Augmented Reality: An Exploratory Study on Delivering Synchronised Sign Language Interpretation. In *Proc. of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, New York, NY, USA, Paper 532, 12 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3290605.3300762>
- Wang et al., 2018 Chen Wang, Xintong Zhu, Xiguang Wang, Xiaomeng Yan, Zhenzheng Wang, Yong Wang, Jing Ju, Yusong Yang. 2018. Monitoring the Emotional Flow of Blind People by Using Physiological Sensors and Smart Glasses. In *Proceedings of the 2018 ACM Conference Companion on Designing Interactive Systems*. ACM, New York, NY, USA, 339-342. <https://doi.org/10.1145/3197391.3205401>
- Wang et al., 2019 R. Wang, C. Yu, X.-D. Yang, W. He, Y. Shi. 2019. EarTouch: Facilitating Smartphone Use for Visually Impaired People in Mobile and Public Scenarios. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '19)*. ACM, New York, NY, USA, Paper 24, 1–13. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300254>
- Ward et al., 2000 David J. Ward, Alan F. Blackwell, David J. C. MacKay. 2000. Dasher—a data entry interface using continuous gestures and language models. In *Proc. of the 13th Annual ACM Symposium on User interface software and technology*. ACM, New York, NY, USA, 129-137. <http://dx.doi.org/10.1145/354401.354427>
- Wobbrock et al., 2005 Jacob O. Wobbrock, Htet Htet Aung, Brandon Rothrock, Brad A. Myers. 2005. Maximizing the guessability of symbolic input. In *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '05)*. ACM, New York, NY, USA, 1869-1872. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1056808.1057043>
- Wobbrock et al., 2009 Jacob O. Wobbrock, Meredith Ringel Morris, Andrew D. Wilson. 2009. User-defined gestures for surface computing. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09)*. ACM, New York, NY, USA, 1083-1092. DOI: <https://doi.org/10.1145/1518701.1518866>
- Xu et al., 2015 Weitao Xu, Yiran Shen, Neil Bergmann, Wen Hu. 2015. Poster: Robust and Efficient Sensor-assisted Face Recognition System on Smart Glass. In *Proceedings of the 13th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '15)*. ACM, New York, NY, USA, 379-380. <https://doi.org/10.1145/2809695.2817873>
- Yu et al., 2015 Chih-Hsiang Yu, Wen-Wei Peng, Shys-Fan Yang-Mao, Yuan Wang, Winyu Chinthammit, Henry Been-Lirn Duh. 2015. A hand gesture control framework on smart glasses. In *SIGGRAPH Asia 2015 Mobile Graphics and Interactive Applications (SA '15)*. ACM, New York, NY, USA, Article 16, 4 pages. <https://doi.org/10.1145/2818427.2818444>
- Yu et al., 2016 Chun Yu, Ke Sun, Mingyuan Zhong, Xincheng Li, Peijun Zhao, Yuanchun Shi. 2016.



- One-Dimensional Handwriting: Inputting Letters and Words on Smart Glasses. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*. ACM, New York, NY, USA, 71-82.
<https://doi.org/10.1145/2858036.2858542>
- Zhao *et al.*, 2015 Yuhang Zhao, Sarit Szpiro, Shiri Azenkot. 2015. ForeSee: A Customizable Head-Mounted Vision Enhancement System for People with Low Vision. In *Proc. of the 17th Int. ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility (ASSETS '15)*. ACM, New York, NY, USA, 239-249. <https://doi.org/10.1145/2700648.2809865>
- Zhao *et al.*, 2016 Yuhang Zhao, Sarit Szpiro, Jonathan Knighten, Shiri Azenkot. 2016. CueSee: exploring visual cues for people with low vision to facilitate a visual search task. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp '16)*. ACM, New York, NY, USA, 73-84.
<https://doi.org/10.1145/2971648.2971730>
- Zhao *et al.*, 2019a Y. Zhao, S. Szpiro, L. Shi, S. Azenkot. 2019. Designing and Evaluating a Customizable Head-mounted Vision Enhancement System for People with Low Vision. *ACM Transactions on Accessible Computing*, vol. 12, no. 4, 15:1–15:46, Dec. 2019. <http://dx.doi.org/10.1145/3361866>
- Zhao *et al.*, 2019b Yuhang Zhao, Edward Cutrell, Christian Holz, Meredith Ringel Morris, Eyal Ofek, Andrew D. Wilson. 2019. SeeingVR: A Set of Tools to Make Virtual Reality More Accessible to People with Low Vision. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '19)*. ACM, New York, NY, USA, Paper 111, 1–14. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300341>

Director proiect,

Radu-Daniel VATAVU

