



Universitatea  
Ștefan cel Mare  
Suceava

Facultatea de Inginerie  
Electrică și Știința  
Calculatoarelor

# TEZĂ DE DOCTORAT

DOMENIUL CALCULATOARE ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI

## Integrarea Interacțiunilor Om-Dronă în Spații Inteligente

### REZUMAT

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:  
*Prof.univ.dr.ing. Radu-Daniel VATAVU*

DOCTORAND:  
*Ing. Alexandru-Ionuț ȘIEAN*

SUCEAVA, 2024

UNIVERSITATEA "ȘTEFAN CEL MARE" DIN SUCEAVA  
FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ ȘI ȘTIINȚA CALCULATOARELOR

*Laboratorul de Mașini Inteligente și Vizualizare a Informației (MintViz),*

*Centrul de Cercetare MANSiD*

# Integrarea Interacțiunilor Om-Dronă în Spații Inteligente

Conducător științific,

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

Doctorand,

***Ing. Alexandru-Ionuț ȘIEAN***

Suceava, Romania

2024



Această teză de doctorat a fost realizată în cadrul Laboratorului de Mașini Inteligente și Vizualizare a Informației (MintViz) din cadrul Centrul integrat de cercetare, dezvoltare și inovare pentru Materiale Avansate, Nanotehnologii și Sisteme Distribuite de fabricație și control (MANSiD 671/09.04.2015) al Universității ”Ștefan cel Mare” din Suceava.

# CUPRINS

<b>1</b>	<b>Introducere</b>	<b>6</b>
1.1	Contribuțiile Tezei de Doctorat . . . . .	8
1.2	Publicații Științifice . . . . .	8
1.3	Rezumat . . . . .	10
<b>2</b>	<b>Analiza Sistematică a Literaturii de Specialitate privind Contribuțiile de Cercetare în Domeniul Interacțiunii Om-Dronă</b>	<b>11</b>
2.1	Metoda de Cercetare . . . . .	12
2.2	Implicații pentru IOD Aplicare În Mediile Inteligente . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Interacțiunea Om-Dronă în Medii Interioare Inteligente</b>	<b>14</b>
3.1	Revizuire Sistematică a Literaturii de Specialitate privind Interacțiunea prin Gesturi Bazată pe Radar . . . . .	14
3.1.1	Context, Domeniu de Aplicare și Întrebări de Cercetare . . . . .	16
3.1.2	Taxonomie de Locații pentru Integrarea Detectării Gesturilor pe Bază de Radar în Mediile de Inteligență Ambientală . . . . .	17
3.2	RadarFusion: Explorarea Integrării Radarului în Obiectele de Zi cu Zi pentru Controlul Televizorului cu Mâinile . . . . .	20
3.2.1	Context . . . . .	20
3.2.2	Implementarea Prototipului . . . . .	20
3.2.3	Evaluare . . . . .	21
3.3	SkySculptor: Controlul Dronelor prin Intermediul Radarului și al Gesturilor cu Piciorul . . . . .	21
3.3.1	Controlul Dronelor pe Bază de Gesturi . . . . .	21
3.3.2	Cerințe de Proiectare . . . . .	22
3.3.3	Detalii de Implementare . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Interacțiunea Om-Dronă în Medii Exterioare Inteligente</b>	<b>24</b>
4.1	Interacțiuni pentru Fotografii și Înregistrări Video cu Drone . . . . .	24
4.1.1	Context și Contribuții . . . . .	24
4.1.2	Metoda . . . . .	26
4.1.3	Rezultate . . . . .	26
4.2	DroneDynamics: Dronele ca însoțitoare ale vehiculelor inteligente . . . . .	27
4.2.1	Context . . . . .	28
4.2.2	Proiectarea Studiului . . . . .	28
4.2.3	Rezultate . . . . .	28
4.2.4	Preferințele Șoferilor în ceea ce Privește Interacțiunea cu Dronele . . . . .	28
4.3	Radiance: Concept și Sistem Interactiv de Împrumut a Dronelor în Spații Publice	36
4.3.1	Context . . . . .	36
4.3.2	Implementarea Tehnică . . . . .	36
4.3.3	Criterii de Proiectare a Gesturilor pentru Radiance . . . . .	38
4.3.4	Limitări și Dezvoltări Viitoare . . . . .	39

<b>5</b>	<b>Interacțiunea Om-Dronă în Medii de Asistență Inteligente</b>	<b>41</b>
5.1	Tehnologii Purtabile pentru Utilizatorii cu Deficiențe Motorii: Revizuire sistematică, Inventar și Implicații pentru Cercetare . . . . .	41
5.1.1	Domeniu de Aplicare . . . . .	42
5.1.2	Rezultate . . . . .	43
5.1.3	Un Inventar al Interacțiunilor Purtabile pentru Utilizatorii cu Deficiențe Motorii . . . . .	44
5.1.4	Implicații de Cercetare pentru Interacțiunile Purtabile Accesibile . . . . .	44
5.2	Tehnologie Asistivă care Permite Fuziunea Inteligenței Ambientale și a Realității Mixte pentru Persoanele cu Dizabilități Motorii . . . . .	45
5.2.1	Introducere . . . . .	45
5.2.2	Domeniu de Aplicare . . . . .	45
5.2.3	Rezultate . . . . .	45
5.3	WingsGuardian: Urmărire și Asistență cu Drona pentru Persoanele cu Deficiențe Motorii . . . . .	48
5.3.1	Introducere . . . . .	48
5.3.2	Interacțiuni pentru Pilotarea Dronelor . . . . .	48
5.3.3	WingsGuardian . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Concluzii</b>	<b>50</b>
	<b>Mulțumiri</b>	<b>52</b>
	<b>Referințe</b>	<b>53</b>

# 1 INTRODUCERE

SPAȚIILE publice și spectacolele live devin rapid locuite de drone, cu exemple bine cunoscute, de la Jocurile Olimpice la Cirque du Soleil. De exemplu, dronele au înlocuit pirotehnica tradițională la ceremonia de deschidere a Jocurilor Olimpice din 2022 [19] și au fost integrate fără probleme în spectacolele live ale marilor trupe rock, precum Metallica.<sup>1</sup> Cirque du Soleil's Sparked a încorporat dronele și în spectacolele contemporane [146]. Dronele s-au găsit, de asemenea, în aplicații în diverse domenii, inclusiv în sport [112], educație [49] și bunăstare [85]. Veniturile de pe piața globală a dronelor au fost proiectate să ajungă la 4,0 miliarde de dolari americani în 2023, cu o prognoză de creștere anuală de 3,24% până în 2028, în timp ce volumul dronelor ar trebui să ajungă la 9,3 milioane de unități până în 2028, iar proiecțiile de piață indică o creștere de 8,3% în 2024.<sup>2</sup> În consecință, înțelegerea și îmbunătățirea Interacțiunii Om-Drona (IOD) reprezintă în prezent puncte de interes pentru comunitatea științifică.

Piața globală a fost martora unei utilizări tot mai mari a dronelor, iar relația dintre utilizatori și drone a trecut de la una la una la interacțiuni mai ample de tip roi [165, 172]. Au fost propuse noi modalități de interacțiune cu roiurile de drone, iar prezența dronelor se transformă rapid într-o constantă pentru publicul larg, conducând la comportamente similare celor manifestate față de animalele de companie [36, 85]. În plus, se dezvoltă o varietate de tehnici de interacțiune pentru drone, inclusiv gesturi de la distanță, dar și atingere fizică [2], în timp ce apariția capacităților de urmărire automată a subiecților marchează o schimbare semnificativă în IOD [166]. Obiectivul general al acestor progrese este de a propulsa dronele într-o eră a dispozitivelor autonome de luare a deciziilor, minimizând intervenția utilizatorului. În acest context, anul 2020 reprezintă un punct de cotitură în industria dronelor, caracterizată de o revizuire majoră a reglementărilor de bază.<sup>3</sup>

Acceptarea socioculturală a dronelor în spațiile publice, în special pe marile piețe globale, a influențat semnificativ proiectarea și dezvoltarea tehnologiei dronelor [55]. Ca atare, explorarea modalităților de interacțiune cu dronele a devenit de o importanță vitală în cadrul domeniului specific al informaticii și al comunității științifice în general. În acest context, informatica cu drone a găsit numeroase aplicații în multe domenii. Printre exemple se numără asistența utilizatorilor în spații locuite, cum ar fi locuințele [136], însoțirea [1, 2, 4] și comunicarea [8, 9, 12]. Modalitățile de interacțiune utilizate în mod obișnuit [52, 113] sunt reprezentate de voce [25, 78], interfețe grafice cu utilizatorul pentru dispozitive mobile [26, 41], și intrare multimodală [42, 150]. În plus, diferite tehnologii de localizare, urmărire și poziționare, cum ar fi radarele, au fost utilizate pentru interacțiunea cu dronele [174], iar dronele au devenit însoțitori personali pentru vehiculele inteligente. Aceste progrese creează necesitatea de a identifica parametri capabili să cuantifice valoarea IOD în contextul mai larg al Interacțiunii Om-Calculator (IOC) într-un spectru larg de scenarii de utilizare. Cu toate acestea, în urmărirea inovației tehnologice în domeniul informaticii cu drone, o întrebare-cheie a fost mai degrabă neglijată: *Care sunt tehnicile intuitive și naturale de interacțiune cu dronele?* În urma numeroaselor analize sistematice raportate în această teză, comunitatea științifică pare să fi conceput, dezvoltat și evaluat tehnicile de interacțiune pentru drone în mod izolat, în cadrul diferitelor domenii de cercetare.

<sup>1</sup><https://www.livedesignonline.com/tait/metallica-worldwired-debuts-first-indoor-autonomous-drone-swarm-for-major-tour>

<sup>2</sup><https://www.statista.com/outlook/cmo/consumer-electronics/drones/worldwide>

<sup>3</sup><https://pilotinstitute.com/drone-statistics/>

În acest context, prezint în această teză rezultatele empirice ale preferințelor utilizatorilor pentru interacțiunea cu dronele, care includ utilizarea dronelor în medii inteligente de interior, exterior și de asistență. Sunt introduse și discutate noi concepte, sisteme practice, dar și direcții de cercetare în domeniul IOD. Teza prezintă contribuții științifice în trei dimensiuni (medii de interior, exterior și medii de asistență), în care sunt detaliate preferințele utilizatorilor și sunt implementate aplicații ale interacțiunilor naturale pentru implicarea dronelor, după cum urmează.

Capitolul 2 prezintă o trecere în revistă a stadiului actual în domeniul IOD. În cadrul comunității științifice, accentul principal a fost pus pe interacțiunile cu dispozitive mobile, inclusiv intrarea tactilă și prin gesturi, acordându-se o atenție comparativ mai mică altor modalități. În plus, sunt prezentate rezultatele unei analize centrate pe seturi de date și participanți la studii care implică drone, cu scopul de a înțelege aplicațiile și tehnicile de interacțiune actuale.

Capitolul 3 prezintă contribuții privind interacțiunea cu drone în legătură cu *mediile interioare inteligente*, cu accent pe tehnologia de recunoaștere a gesturilor bazată pe radar. Este explorată potențiala integrare a acestei tehnologii în mediile de locuit în vederea abilitării controlului bazat pe gesturi al dronelor. O Revizuire Sistematică a Literaturii (RSL) realizată pe această temă prezintă noi căi de cercetare în domeniul IOD. Rezultatele au evidențiat seturi de gesturi caracterizate prin simplitate și vocabulare limitate, o tendință de evaluare a performanțelor tehnice ale sistemului fără a ține cont de experiența utilizatorului și absența unor tendințe concludente în aplicațiile de gesturi bazate pe radar pentru IOD. În cele din urmă, prezint o aplicație software care permite interacțiunea om-dronă prin intermediul gesturilor picioarelor detectate prin radar.

Capitolul 4 prezintă contribuțiile la IOD în ceea ce privește *mediile exterioare inteligente* în ceea ce privește preferințele utilizatorilor în utilizarea dronelor ca însoțitor al vehiculelor. În plus, sunt prezentate detaliile tehnice ale unei aplicații software care dispune de capacitatea de ”împrumut” a dronelor din spații publice pentru diverse sarcini. Acest lucru se realizează prin interacționarea prin gesturi, facilitată de dispozitive de detectare a degetelor și a mâinilor. În această aplicație, utilizatorii au la dispoziție trei modele de interacțiune cu drona împrumutată. Primul mod presupune gesturi tactile efectuate pe o suprafață care poate include propriul corp al utilizatorului. Al doilea implică gesturi de mișcare efectuate în aer. Cel de-al treilea cuprinde interacțiuni definite de utilizatorii înșiși.

Capitolul 5 prezintă implicațiile IOD pentru *mediile de asistență inteligente*. În primul rând, sunt prezentate rezultatele unui RSL efectuat asupra interacțiunilor purtabile pentru utilizatorii cu deficiențe motorii, inclusiv diverse dispozitive purtabile, cum ar fi ceasuri inteligente, ochelari inteligenți, căști, dispozitive de urmărire a activității fizice, mănuși de date și brățări. Constatările conturează patru direcții potențiale pentru cercetări viitoare care vizează creșterea accesibilității interacțiunilor purtabile pentru persoanele cu deficiențe motorii. Ulterior, a fost întreprinsă o a doua RSL pentru a identifica contribuțiile științifice la intersecția dintre mediile de Inteligența Ambientală (IA) și Realitatea Mixtă (RM), abordând nevoile persoanelor cu dizabilități motorii în mediile inteligente și mixte. Rezultatele au arătat că afișajele montate pe cap și PC-urile de birou sunt dispozitivele cele mai frecvent utilizate în literatura științifică pentru a oferi experiențe de RM în medii inteligente. În plus, acest capitol prezintă detaliile tehnice ale unui sistem interactiv practic care permite urmărirea scaunelor cu roțile și aterizarea autonomă a dronelor în locații predefinite în cadrul unui mediu de asistență inteligent.

Capitolul 6 prezintă concluzia acestei teze, împreună cu oportunitățile pentru lucrări viitoare.



## 1.1 Contribuțiile Tezei de Doctorat

Această teză de doctorat prezintă mai multe contribuții teoretice și practice, după cum urmează:

- (1) O trecere în revistă a stadiului actual al tehnologiei în domeniul IOD, axată pe tehnicile de interacțiune, modalitățile și tehnologia interfeței cu utilizatorul pentru calculul cu drone (Capitolul 2). Rezultatele au relevat un interes disproporționat pentru gesturile mâinii ca mijloc de intrare în comparație cu alte părți ale corpului. Constatările corespunzătoare acestei contribuții au fost publicate în Șiean *et al.* [172].
- (2) O RSL de detectare și recunoaștere a gesturilor pe bază de radar, axat pe domenii de aplicare, care a dezvoltat proiecte de interacțiune bazată pe gesturi cu seturi limitate de gesturi. Pentru o explorare în profunzime a unui scenariu specific de introducere a gesturilor pe bază de radar, ofer o prezentare generală a soluțiilor de proiectare potențiale pentru integrarea radarelor în mediile inteligente ale camerelor de zi (Capitolul 3). Aceste contribuții au fost publicate în Șiean *et al.* [173, 174].
- (3) O examinare practică și un sistem interactiv care implementează gesturi ale picioarelor bazate pe radar, detectate cu dispozitivul Walabot Creator cu 15 antene și cu Walabot API<sup>4</sup>, pentru aplicații de navigare și control al dronelor (Capitolul 3). Aceste contribuții au fost publicate în Șiean [171].
- (4) O examinare practică a tehnicilor de interacțiune bazate pe gesturi pentru controlul camerei dronelor în contextul fotografiilor aeriene și al aplicațiilor video bazate pe drone (Capitolul 4). Rezultatele au fost publicate în Șiean *et al.* [176].
- (5) O examinare practică a preferințelor utilizatorilor pentru modalitățile de interacțiune om-dronă în contextul dronelor care însoțesc vehiculele inteligente (Capitolul 4).
- (6) O examinare practică și un sistem interactiv care demonstrează controlul dronelor prin intermediul gesturilor în aer ale degetelor și mâinilor detectate de un dispozitiv purtabile (Capitolul 4).
- (7) O examinare practică și un sistem interactiv care permite utilizatorilor să ”împrumute” drone din spațiile publice pentru diferite sarcini. Sistemul utilizează gesturi ale degetelor și ale mâinilor detectate cu ajutorul dispozitivului Tap Strap 2 (Capitolul 4).
- (8) O explorare a dronelor ca tehnologie de asistență pentru utilizatorii cu deficiențe motorii. În acest scop, sunt furnizate rezultate de la două RSL. În primul RSL, examinez interacțiunile purtabile pentru utilizatorii cu deficiențe motorii. În cel de-al doilea, examinez contribuțiile științifice la intersecția dintre mediile IA și RM. Constatările sunt utilizate pentru a evidenția oportunitățile de aplicații specifice pentru utilizarea dronelor ca tehnologie de asistență pentru utilizatorii cu deficiențe motorii (Capitolul 5). Aceste contribuții au fost publicate în Șiean și Vatavu [175] și, respectiv, Șiean *et al.* [177].
- (9) Un sistem interactiv practic care permite urmărirea scaunelor cu roțile și aterizarea autonomă a dronelor în locații predefinite în cadrul unui mediu de asistență inteligentă (Capitolul 5).

## 1.2 Publicații Științifice

Rezultatele prezentate în această teză de doctorat au fost prezentate în zece lucrări științifice, dintre care una a primit două premii (a se vedea Anexa B: W4A 2022 Accessible Challenge Delegates și Anexa C: W4A 2022 Accessible Challenge Judges' Award).

<sup>4</sup>[https://api.walabot.com/\\_sample.html](https://api.walabot.com/_sample.html)

- (1) **Alexandru-Ionuț Șiean**, Cristian Pamparău, Arthur Sluÿters, Radu-Daniel Vatavu, Jean Vanderdonckt. 2023. Flexible gesture input with radars: Systematic literature review and taxonomy of radar sensing integration in ambient intelligence environments. *J Ambient Intell Human Comput* 14, 7967–7981 <https://doi.org/10.1007/s12652-023-04606-9>  
**Last available IF: 3.662 | 5-Year IF: 3.718 (JCR 2021)**
- (2) **Alexandru-Ionuț Șiean**, Cristian Pamparău, and Radu-Daniel Vatavu. 2022. Scenario-based Exploration of Integrating Radar Sensing into Everyday Objects for Free-Hand Television Control. In *ACM International Conference on Interactive Media Experiences (IMX '22)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 357–362. <https://doi.org/10.1145/3505284.3532982> **WOS:001117055700044**
- (3) **Alexandru-Ionuț Șiean** and Radu-Daniel Vatavu. 2021. Wearable Interactions for Users with Motor Impairments: Systematic Review, Inventory, and Research Implications. In *Proceedings of the 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '21)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 7, 1–15. <https://doi.org/10.1145/3441852.3471212> **A rank (ARC CORE)**  
**Acceptance Rate: 29%(36/124)**
- (4) **Alexandru-Ionuț Șiean**, Radu-Daniel Vatavu, and Jean Vanderdonckt. 2021. Taking That Perfect Aerial Photo: A Synopsis of Interactions for Drone-based Aerial Photography and Video. In *ACM International Conference on Interactive Media Experiences (IMX '21)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 275–279. <https://doi.org/10.1145/3452918.3465484> **WOS:001117065300035**
- (5) **Alexandru-Ionuț Șiean**, Laura-Bianca Bilius, Radu-Daniel Vatavu. 2022. Assistive Technology in the Synchrony Between Ambient Intelligence and Mixed Reality for People with Motor Disabilities. In *Novais, P., Carneiro, J., Chamoso, P. (eds) Ambient Intelligence – Software and Applications – 12th International Symposium on Ambient Intelligence. (ISAmI 2021)*. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 483. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-06894-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-06894-2_3)
- (6) Alexandru-Tudor Andrei, **Alexandru-Ionuț Șiean**, and Radu-Daniel Vatavu. 2022. Tap4Light: Smart Lighting Interactions by Tapping with a Five-Finger Augmentation Device. In *13th Augmented Human International Conference (AH2022)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 4, 1–2. <https://doi.org/10.1145/3532525.3532535> **WOS:000944005200008**
- (7) Ovidiu-Andrei Schipor, Laura-Bianca Bilius, Ovidiu-Ciprian Ungurean, **Alexandru-Ionuț Șiean**, Alexandru-Tudor Andrei, and Radu-Daniel Vatavu. 2022. Personalized wearable interactions with WearSkill. In *Proceedings of the 19th International Web for All Conference (W4A '22)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 8, 1–2. <https://doi.org/10.1145/3493612.3520474> **WOS:000884352600025**  
**Accessibility Challenge Judges' Award**  
**Accessibility Challenge Delegates' Award**
- (8) Santiago Villarreal-Narvaez, **Alexandru-Ionuț Șiean**, Arthur Sluÿters, Radu-Daniel Vatavu, and Jean Vanderdonckt. 2022. Informing Future Gesture Elicitation Studies for Interactive Applications that Use Radar Sensing. In *Proceedings of the 2022 International Conference on Advanced Visual Interfaces*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 50, 1–3. <https://doi.org/10.1145/3531073.3534475>  
**WOS:001051742000055**

- (9) **Alexandru-Ionuț Șiean**, Bogdanel-Constantin Gradinaru, Ovidiu-Ionut Gherman, Mirela Danubianu and Laurentiu-Dan Milici. 2023. Opportunities and Challenges in Human-Swarm Interaction: Systematic Review and Research Implications. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA)*, 14(4) 2023. <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140499> **IF: 0.9, WOS:000988718400001**
- (10) **Alexandru-Ionuț Șiean**. 2024. SkySculptor: Intuitive Drone Control Through Ground-Integrated Radar and Foot Gestures in Smart Indoor Environments. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA)*, 15(2), 2024. <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0150204> **IF: 0.9, WOS: Forthcoming**

### 1.3 Rezumat

Această teză de doctorat explorează diverse moduri de interacțiune, scenarii de utilizare și grupuri de utilizatori pentru dronele integrate în medii inteligente. Pe măsură ce dronele continuă să joace un rol central în diverse medii, înțelegerea cerințelor și așteptărilor utilizatorilor finali în ceea ce privește interacțiunile cu dronele este esențială pentru a sprijini viitoarele progrese în domeniul informaticii pentru drone care se axează pe nevoile și preferințele utilizatorilor. În acest scop, această teză raportează preferințele specifice ale utilizatorilor identificate pentru scenarii în care dronele joacă diverse roluri, de exemplu, asistenți personali pentru vehicule, punând accentul pe metoda de interacțiune pentru a rezolva diverse sarcini. Sunt prezentate rezultatele mai multor RSL, subliniind necesitatea de a continua cercetările în domeniul IOD pentru a integra dronele în diverse domenii de aplicare. Pe baza acestor rezultate, se prezintă o agendă cu implicații pentru cercetarea IOD în direcția unor noi moduri de interacțiune, aplicații și instrumente care implică integrarea dronelor în medii inteligente.

## 2 ANALIZA SISTEMATICĂ A LITERATURII DE SPECIALITATE PRIVIND CONTRIBUȚIILE DE CERCETARE ÎN DOMENIUL INTERACȚIUNII OM-DRONĂ

PROGRESUL IOD a făcut ca interacțiunea cu obiectele zburătoare, în special cu dronele, să fie captivantă [35]. În ultimele două decenii, cercetătorii și practicienii s-au concentrat pe explorarea de noi tehnologii, artefacte [10] și tehnici de interacțiune [47] care permit interacțiunea de la distanță și în zbor cu dronele [206]. Ca urmare a acestor eforturi, dronele s-au regăsit în diverse aplicații, cum ar fi ajutarea pompierilor să localizeze supraviețuitorii în timpul situațiilor de urgență [9], furnizarea ca și gardă de corp pentru persoanele care merg singure noaptea [105] și ghidarea pietonilor [45]. Dronele sunt utilizate din ce în ce mai mult într-o gamă variată de domenii și scenarii [86], inclusiv în medii profesionale [104] și în activități recreative [39]. Acestea pot fi operate în mod semi-autonom [114] sau complet autonom [96], sau pot interacționa cu diverse categorii de utilizatori [49, 151]. Deși unele drone funcționează independent [14], altele funcționează ca parte a unui roi [162, 172].

În acest capitol, ofer o prezentare generală a contribuțiilor cercetării în domeniul IOD prin intermediul unui RSL. Efectuez o analiză detaliată a domeniilor și aplicațiilor din ansamblul lucrărilor existente în domeniul IOD. Pentru a realiza această analiză, analizez articolele din literatura științifică obținute în principal din ACM Digital Library<sup>56</sup> și bazele de date IEEE Xplore<sup>7</sup>, două surse recunoscute ca depozite semnificative de rezultate științifice în domeniul Informaticii. Rezultatele arată că influența IOC s-a extins în diverse domenii, inclusiv în ramura IOD, așa cum a subliniat Funk *et al.* [65]. Literatura științifică subliniază, de asemenea, rolul critic al interfeței cu utilizatorul și al tehnicilor de interacțiune cu sistemele informatice în asigurarea succesului și a utilizării eficiente a dronelor [73]. În plus, aceste progrese rămân semnificative chiar și în situațiile în care există limitări tehnice, cum ar fi factorii contextuali (*e.g.*, lumina, zgomotul sau condițiile meteorologice) sau constrângerile impuse de utilizatori [135]. Să luăm în considerare, de exemplu, nevoile utilizatorilor cu deficiențe motorii care se bazează pe tehnologiile de asistență pentru a accesa conținutul și serviciile digitale [175, 177]. În plus, persoanele cu deficiențe motorii pot întâmpina dificultăți atunci când interacționează cu computerele. Recunoscând gama diversă de utilizatori, împreună cu nevoile lor unice, ne putem asigura că beneficiile dronelor și ale tehnologiilor legate de drone sunt accesibile tuturor utilizatorilor.

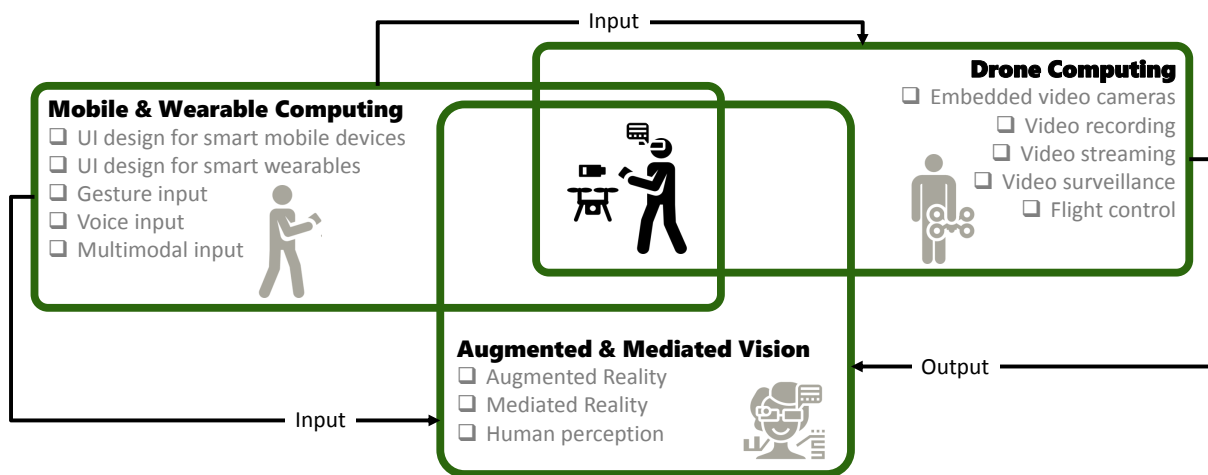
Cercetarea continuă în domeniul IOD joacă un rol în avansarea aplicațiilor interactive inovatoare, cu scopul de a oferi experiențe noi utilizatorilor prin facilitarea interacțiunii dintre

<sup>5</sup>În martie 2020, ACM-DL conține 786.000 de articole cu text integral și 3,2 milioane de înregistrări de publicații urmărite;

<https://libraries.acm.org/digital-library/acm-guide-to-computing-literature>

<sup>6</sup><https://dl.acm.org/>

<sup>7</sup><https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>



**Figure 2.1.** O prezentare vizuală a modalităților de intrare și de ieșire în calculul cu ajutorul dronelor care intersectează domeniile conexe ale calculului mobil & purtabil (*i.e.*, dronele ca dispozitive de asistență personală) și respectiv viziunea augmentată & mediată (*i.e.*, dronele ca și camerele personale).

utilizatori și drone [67]. În acest context, dronele capătă o popularitate din ce în ce mai mare, fiind utilizate în diverse scopuri, contribuind la îmbunătățirea calității vieții [87].

În consecință, un număr considerabil de articole științifice au fost publicate pe această temă, oferind informații despre interfața cu utilizatorul și proiectarea interacțiunii pentru drone, cum ar fi voce [98, 208], gesturi [2, 30], intrări multimodale [52, 80], interfețe utilizator pentru mobil [26, 41], sau căști BCI/EEG [25, 137]. Figura 2.1 oferă o prezentare vizuală a modalităților de intrare și ieșire a dronelor în două secțiuni distincte. Comunitatea științifică a acumulat în mod continuu noi cunoștințe de proiectare pentru interacțiunea cu dronele, cum ar fi tipuri de gesturi specifice sau modalități de intrare bazate pe gesturi, rezultând o listă tot mai mare de comenzi pentru a controla și interacționa cu dronele [186, 195].

## 2.1 Metoda de Cercetare

A fost realizată o RSL pe tema interacțiunilor dintre oameni și drone, iar rezultatele unei meta-analize a unui total de  $N=105$  articole științifice din acest domeniu sunt raportate utilizând Ghidul de bune practici al lui Siddaway *et al.* [170]. Contribuțiile de cercetare axate pe interacțiunea dintre oameni și drone, metodele de interacțiune, comenzile, participanții, autorii și alți parametri au fost analizați prin selectarea articolelor relevante din literatura științifică. În plus, a fost efectuată o analiză cantitativă a comenzilor, concentrându-se în principal pe controlul dronei sau al altor dispozitive atașate de dronă, rezultând un total de 341 de gesturi. Concluziile și implicațiile acestui studiu evidențiază direcții de cercetare importante pentru a încuraja dezvoltările ulterioare în domeniul IOD. În această secțiune, prezint o procedură în 4 etape constând în *identificare*, *verificare*, *eligibilitate*, și *incluere*, urmând abordarea propusă de Liberati *et al.* [118]. Fiecare fază a fost implementată pentru a mă asigura că rezultatele obținute sunt ușor de aplicat și reproductibile.

## 2.2 Implicații pentru IOD Aplicate În Mediile Inteligente

În această secțiune, propun trei *implicații* bazate pe concluziile studiilor anterioare care abordează (1) *mediile interioare*, (2) *mediile exterioare*, și (3) *mediile de asistență inteligente* în care au fost utilizate anterior dronele.

(1) *Interacțiunea Om-Dronă în Medii Interioare Inteligente*

Identificarea tendințelor emergente, cum ar fi evaluarea performanțelor tehnice ale sistemului și a aplicațiilor bazate pe dispozitive (*e.g.*, radar, purtabile) sau seturi de gesturi, oferă o bază pentru cercetările viitoare. Aceste constatări au, de asemenea, implicații practice, cum ar fi utilizarea gesturilor pentru controlul sistemelor de informare în cadrul mediilor interioare inteligente. De exemplu, necesitatea de a încorpora senzori în diverse locații, cum ar fi obiectele din camerele de zi, pentru a evidenția o cale promițătoare pentru investigații științifice viitoare. Versatilitatea senzorilor radar și amplasarea lor strategică, împreună cu propunerea unei game largi de gesturi, recomandă explorarea, pe care o prezint în Capitolul 3. În plus, introducerea unei taxonomii pentru a clasifica locațiile ar ajuta la proiectarea interacțiunilor cu alte dispozitive din încăperea. În cele din urmă, dronele ca asistenți personali, prin echiparea lor cu tehnologii noi de detecție, cum ar fi radarele, pot îmbunătăți experiența utilizatorului atunci când interacționează în medii inteligente.

(2) *Interacțiunea Om-Dronă în Medii Exterioare Inteligente*

Pot fi identificate noi direcții de analiză și dezvoltare pentru fotografia aeriană și controlul video cu drona. Accentul va fi pus pe înțelegerea funcțiilor și a comenzilor sistemelor utilizate în aceste interacțiuni. Scopul formării unui dicționar de interacțiuni este de a contribui în mod constructiv la conceperea unor mecanisme de control eficiente care să se alinieze la obiectivele fotografiei aeriene cu ajutorul tehnologiei dronelor. Interesul tot mai mare pentru drone, în special ca însoțitori personali, poate duce la noi aplicații, cum ar fi dronele ca însoțitori a vehiculelor personale. După examinarea literaturii de specialitate, devine evident că sunt necesare lucrări fundamentale pentru a evidenția preferințele utilizatorilor și contextele de utilizare și funcțiile dronelor. De exemplu, viziunea pentru cercetările viitoare este de a îmbunătăți diverse metode de introducere a datelor, de a încorpora mecanisme de feedback și de a aborda preocupări cheie precum siguranța și autonomia dronelor. Pilotarea colaborativă apare, de asemenea, ca un domeniu important. Direcția de cercetare se va îndrepta către aplicații practice care cuprind diverse scenarii, inclusiv aterizarea automată sau controlul seturilor de drone, cu obiectivul de a dezvolta sisteme de interacțiune pentru drone care utilizează interacțiuni naturale.

(3) *Interacțiunea Om-Dronă în Medii de Asistență Inteligente*

Realizarea RSL despre interacțiunile pentru persoanele cu deficiențe motorii are implicații semnificative pentru o varietate de domenii de aplicații, inclusiv interacțiunile și colaborările cu drone. Un aspect important este crearea unei liste cuprinzătoare de comenzi bazate pe gesturi, inclusiv provocările legate de accesibilitate, preferințele utilizatorilor pentru interacțiuni, evaluarea performanțelor utilizatorilor și înțelegerea modelelor de utilizare care implică diferite dispozitive interactive. Există o direcție promițătoare în ceea ce privește dezvoltarea de sisteme care pot satisface cerințele utilizatorilor, pot anticipa aceste cerințe și pot spori eficiența utilizatorilor atât în domeniul fizic, cât și în cel digital. În plus, este necesar să se dezvolte aplicații care să utilizeze drone pentru a spori accesibilitatea pentru persoanele cu diverse deficiențe.

## 3 INTERACȚIUNEA OM-DRONĂ ÎN MEDII INTERIOARE INTELIGENTE

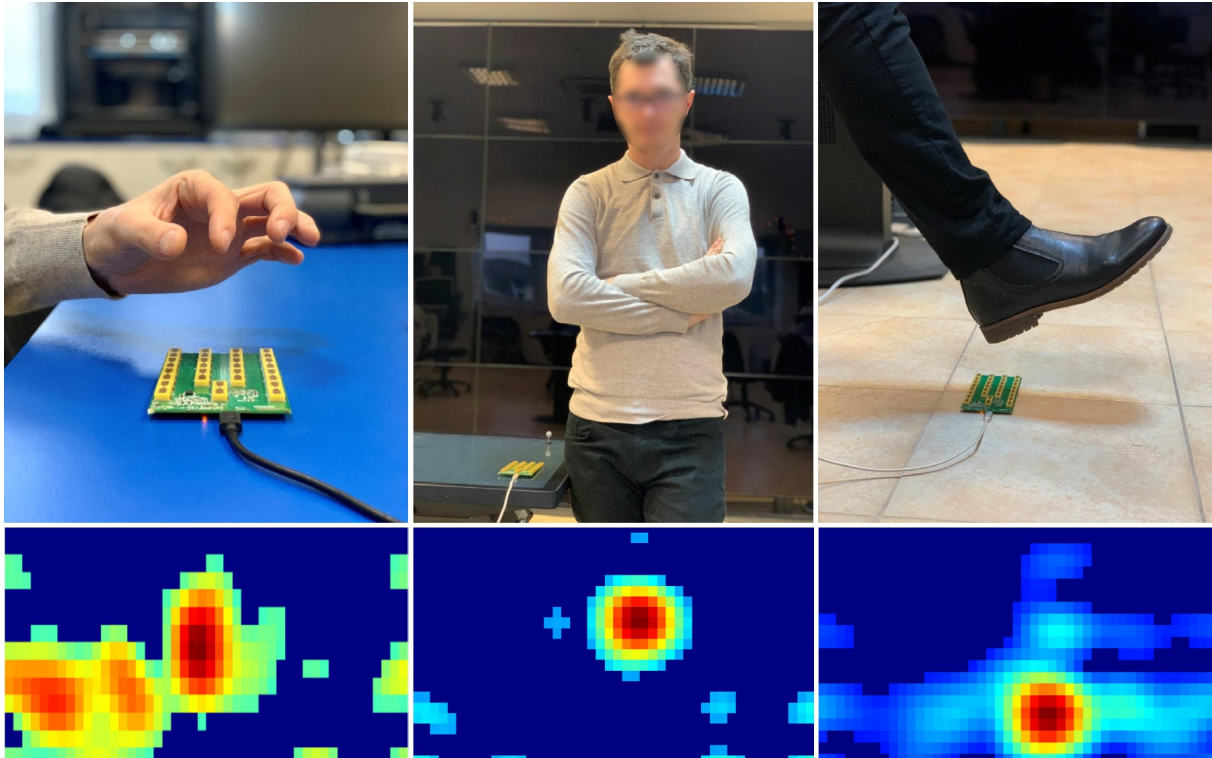
CAPITOLUL anterior a arătat că literatura științifică se află încă în stadii incipiente în ceea ce privește tehnicile de interacțiune om-dronă și există o absență notabilă a unui set cuprinzător de interacțiuni naturale, cum ar fi cele bazate pe gesturi, pentru controlul echipamentelor dronelor, inclusiv al camerei dronelor. Pentru a aborda acest aspect, am realizat o RSL care a examinat progresele recente în tehnologia de recunoaștere a gesturilor bazată pe radar, cu un accent specific pe aplicarea seturilor de gesturi pentru sistemele informatice interactive. Investiția mea a arătat că seturile de gesturi constau adesea dintr-un număr limitat de gesturi simple, indicând necesitatea unor seturi mai diverse și mai extinse pentru a îmbunătăți interacțiunile cu utilizatorii. În plus, în timp ce s-a pus un accent semnificativ pe evaluarea performanței tehnice a sistemelor propuse, aspectele legate de experiența utilizatorului au fost adesea neglijate.

Acest capitol servește, de asemenea, ca bază pentru explorarea potențialului recunoașterii gesturilor pe bază de radar pentru îmbunătățirea activităților zilnice. Scopul este de a îmbunătăți experiența utilizatorului prin integrarea senzorilor radar în mediile interioare inteligente pentru a permite noi modalități de interacțiune cu conținutul media. În plus, prezint o aplicație software care permite utilizatorilor să controleze o dronă folosind gesturi radar efectuate cu picioarele, de exemplu, în timp ce stau jos. Sunt prezentate zece implicații practice pentru a îmbunătăți interacțiunea prin gesturi bazate pe radar pentru sistemele informatice și mediile IA. Aceste implicații propun integrarea senzorilor radar în diverse locații în cadrul unui mediu IA pentru a permite interacțiuni gestuale expresive și fără întreruperi cu dispozitive digitale, obiecte fizice, asistenți robotici și elemente arhitecturale.

### 3.1 Revizuire Sistematică a Literaturii de Specialitate privind Interacțiunea prin Gesturi Bazată pe Radar

Intrarea prin gesturi pentru sistemele informatice interactive și mediile inteligente permite utilizatorilor să valorifice poziția și mișcarea corpului pentru o intrare mai eficientă și mai expresivă. Tipurile de gesturi utilizate în scopuri interactive variază de la gesturi simbolice de trasare utilizate în mod obișnuit pe dispozitivele mobile cu ecran tactil [127] la mișcări ale degetelor, mâinilor și brațelor detectate cu dispozitive portabile [72], gesturi în aer pentru a interacționa cu afișaje ambientale mari [13], gesturi pentru interacțiunea bazată pe picior [198] și gesturi pentru întregul corp [190]. Pentru a recunoaște introducerea gesturilor, sistemele informatice valorifică (i) *senzori*, e.g., accelerometre integrate în inele electronice [72], (ii) *algoritmi de recunoaștere*, e.g., clasificarea k-NN a mișcărilor întregului corp cu ajutorul funcției de similaritate utilizând algoritmul Dynamic Time Warping [191], și (iii) *seturi de gesturi* pentru a specifica corespondențe între intrarea prin gesturi și funcțiile sistemului, cum ar fi desenarea literei "M" în aer pentru a deschide un meniu contextual pe televizorul inteligent într-un mediu inteligent [189].

Dintre senzorii care detectează gesturile fără contact de tipurile enumerate mai sus, radarele oferă oportunități unice pentru sisteme interactive și medii inteligente, de la simpla detectare a prezenței și proximității la micro-gesturi efectuate la nivelul degetelor [119] până la introducerea



**Figure 3.1.** Versatilitatea dispozitivelor bazate pe radar pentru a detecta o mare varietate de tipuri de gesturi: gesturi ale mâinii și ale degetelor (stânga sus), detectarea proximității (mijloc sus) și gesturi ale picioarelor (dreapta sus). În partea de jos, sunt prezentate reprezentări 2D constând în măsurători de unghiuri și distanțe pentru aceste gesturi, raportate de dispozitivul radar Walabot.

cu gesturi corporale [115], interacțiunea tangibilă care implică obiecte fizice [196], și detectarea mișcării prin pereți [3]; a se vedea Figura 3.1 pentru câteva exemple de astfel de tipuri de gesturi împreună cu reprezentările semnalelor lor dobândite cu ajutorul unui dispozitiv radar de serie. Recunoașterea gesturilor pe bază de radar a primit recent o atenție sporită [152, 181] la intersecția dintre comunitățile științifice de învățare automată și IOC datorită potențialului aplicativ al dispozitivelor bazate pe radar pentru a permite interacțiuni cu sistemele informatice și mediile inteligente prin mișcări corporale nerestricționate și gesturi fără contact; a se vedea Ahmed *et al.* [5] pentru un studiu recent al tehnologiei radar și al reprezentării și recunoașterii semnalelor și gesturilor mâinii. În afară de gesturile mâinii, totuși, versatilitatea dispozitivelor radar le face eficiente în detectarea gesturilor corporale de multe tipuri, dintre care unele sunt ilustrate în Figura 3.1, dar care au fost mai puțin discutate în comunitatea științifică în comparație cu introducerea gesturilor mâinii [5]. În plus, aspectele cheie pentru implementarea eficientă a sistemelor de gesturi bazate pe radar, cum ar fi proiectarea setului de gesturi și validarea performanței utilizatorului, au fost abia examinate în comparație cu cercetările extinse efectuate pe alte tipuri de gesturi în literatura științifică [44, 127, 192, 198]. În acest context, în acest capitol sunt aduse următoarele contribuții practice:

- (1) Sunt prezentate rezultatele unui studiu RSL, care se concentrează pe structurarea și analiza recunoașterii bazate pe gesturi cu ajutorul dispozitivelor radar pentru sisteme și medii informatice interactive. Spre deosebire de alte tipuri de analize, RSL sunt metodice, cuprinzătoare, transparente și reproductibile [170]. O meta-analiză a contribuțiilor științifice în domeniul recunoașterii gesturilor bazate pe radar este realizată folosind această abordare.



- (2) Pe baza rezultatelor RSL, sunt propuse zece implicații și direcții de lucru viitoare pentru cercetarea și practica sistemelor informatice interactive și a mediilor inteligente care implementează recunoașterea gesturilor pe bază de radar. În plus, este prezentat un dicționar de gesturi radar, compilat în urma unei analize a 307 gesturi extrase din 45 de articole științifice.
- (3) Pentru a încuraja continuarea cercetărilor și a aplicațiilor de detectare a gesturilor pe bază de radar în aplicațiile IA, se propune o taxonomie în cinci categorii de posibile locații în mediul fizic în care radarele pot fi instalate, atașate sau integrate.

Contribuțiile prezentate au ca scop să ofere cercetătorilor și practicienilor din domeniul sistemelor informatice interactive și al mediilor inteligente un mijloc practic, bazat pe concluziile unei meta-analize a recunoașterii gesturilor pe bază de radar, pentru a proiecta intrări gestuale fără contact. Această abordare utilizează o tehnologie de detectare versatilă care se aliniază în cadrul caracteristicilor de calitate dezirabile [48] ale interacțiunii cu mediile IA.

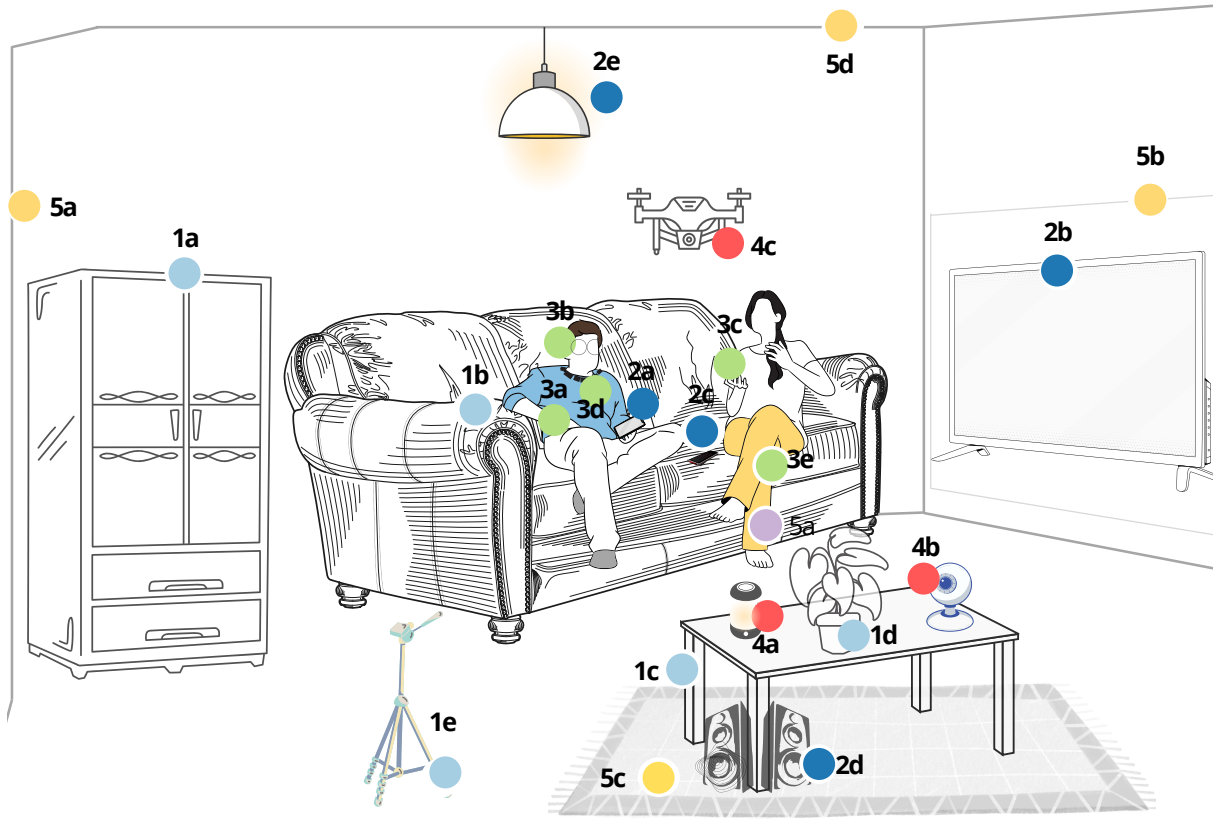
### 3.1.1 Context, Domeniu de Aplicare și Întrebări de Cercetare

Principiul fizic de funcționare al detecției radar este reprezentat de emisia și recepția undelor electromagnetice. După ce lovește o țintă, radiația emisă se răspândește, o parte din ea fiind returnată către radar, unde este captată de antenele receptorului. Proprietățile semnalului recepționat, cum ar fi frecvența, amplitudinea și întârzierea, oferă informații esențiale despre forma și orientarea țintei, precum și despre distanța și viteza față de radar. Prin urmare, detectarea pe bază de radar a gesturilor fără contact poate dezvălui o multitudine de informații pe care sistemele informatice și mediile inteligente le pot valorifica pentru a implementa interacțiuni. Deși radarele au fost un domeniu activ de cercetare științifică [116, 180], utilizarea tehnologiei radar pentru a interacționa cu sistemele informatice a avut un domeniu de aplicare destul de limitat din cauza factorilor de formă mari ai dispozitivelor radar, a consumului ridicat de energie și a resurselor de calcul mari necesare pentru a procesa semnalele radar. Cu toate acestea, progresele recente în tehnicile de învățare automată, împreună cu miniaturizarea calculatoarelor, au făcut ca radarele să devină practice pentru integrarea în dispozitive de consum, un exemplu relevant fiind smartphone-ul Google Pixel 4<sup>8</sup> care încorporează radarul Soli [119]. În acest context, apar noi oportunități pentru sistemele informatice interactive și mediile inteligente care pot utiliza detectarea radarului pentru a detecta poziția și mișcarea corpului utilizatorului. Înainte de a continua, se oferă o definiție operațională a unui gest radar.

**Definiție:** Un gest radar este orice mișcare în aer sau poziție a corpului sau a unei părți a acestuia în jurul unui obiect fizic sau în raport cu acesta, care poate fi detectată și recunoscută de un dispozitiv radar.

Această definiție este suficient de largă pentru a acoperi o varietate de mișcări umane, de la poziții ale degetelor și mâinilor, la mișcări în aer ale mâinilor și brațelor, la gesturi efectuate cu întregul corp, dar și gesturi care implică obiecte fizice și suprafețe ale mediului înconjurător [3, 16, 115, 196]. În mod specific, accentul se pune pe proiectarea seturilor de gesturi și pe taxonomia locațiilor din mediul fizic pentru detectarea acestor gesturi, în legătură cu versatilitatea detecției radar (conform definiției de mai sus). Acest lucru permite raportarea de noi rezultate și extragerea de noi implicații pentru aplicațiile practice ale radarelor în mediile interactive. În acest context, întrebările de cercetare sunt următoarele:

<sup>8</sup>[https://www.gsmarena.com/google\\_pixel\\_4-9896.php](https://www.gsmarena.com/google_pixel_4-9896.php)



**Legend for radar placement**

- Relative to non-digital objects
- Relative to wearable devices
- Relative to digital devices
- Relative to a robot assistant
- Relative to the building

**Figure 3.2. Diverse locații dintr-un mediu fizic în care pot fi plasați, instalați, atașați sau integrați senzori radar. Cinci categorii distincte ale taxonomiei sunt evidențiate cu ajutorul culorilor, e.g., locația 4c specifică integrarea senzorului radar într-un robot zburător, iar locația 3a descrie integrarea senzorului radar de detectare a gesturilor în smartwatch-ul utilizatorului.**

- RQ<sub>1</sub>: Ce tipuri de gesturi au fost examinate în literatura științifică privind interacțiunea gestuală bazată pe radar?
- RQ<sub>2</sub>: Cum a fost influențată proiectarea setului de gesturi de caracteristicile tehnicilor disponibile de recunoaștere a gesturilor bazate pe radar și de aplicațiile țintă pentru gesturile radar?
- RQ<sub>3</sub>: Unde au fost instalate radarele în mediul fizic pentru a detecta gesturile utilizatorului?

### 3.1.2 Taxonomie de Locații pentru Integrarea Detectării Gesturilor pe Bază de Radar în Mediile de Inteligență Ambientală

Un set de implicații, ca urmare a meta-analizei RSL, s-a concentrat pe necesitatea de a diversifica seturile de gesturi ale aplicațiilor care implementează recunoașterea gesturilor pe bază de radar. Această abordare are ca scop valorificarea versatilității și flexibilității senzorilor radar în detectarea pozițiilor și mișcărilor corpului. O implicație specială se referă la instalarea radarelor în diverse locații din mediul fizic, de unde pot detecta diverse tipuri de gesturi, de la gesturi ale degetelor și ale mâinilor până la cele ale întregului corp. Prin urmare, se introduce

o taxonomie în cinci categorii de posibile locații în care senzorii radar pot fi plasați, instalați, atașați sau integrați în mediul fizic. Această taxonomie este descrisă în termeni de scenarii de cazuri de utilizare care implică diverse tipuri de gesturi și aplicații potențiale, cum ar fi senzori radar integrați în televizorul inteligent, asistenți robotici sau o lampă inteligentă. Figura 3.2 ilustrează categoriile taxonomiei și exemple de locații din cadrul fiecărei categorii.

1. **Senzori radar integrați în obiecte nedigitale.** În această categorie, senzorii radar sunt integrați în obiecte fizice, nedigitale, din sufragerie. Se identifică următoarele posibilități neexhaustive de adaptare a obiectelor fizice cu detectare și recunoaștere radar bazată pe gesturi:
  - (1a) *Mobilier.* Senzorul radar este integrat în mobilierul din sufragerie, cum ar fi un dulap, care permite detectarea gesturilor efectuate cu mâinile, brațele și întregul corp.
  - (1b) *Canapea și cotiera canapelei.* În acest scenariu, utilizatorii interacționează cu aplicațiile și serviciile din mediul IA prin intermediul unor gesturi ale mâinilor și degetelor efectuate pe sau deasupra cotierei canapelei.
  - (1c) *Măsuță de cafea.* Acest scenariu permite ca gesturile mâinilor, brațelor și picioarelor să fie efectuate cu o amplitudine mai mare a mișcării de bază decât gesturile din scenariul 1b.
  - (1d) *Obiecte decorative.* Aceleași tipuri de gesturi ca în scenariul 1c ar putea fi detectate prin integrarea detecției radar într-un obiect decorativ, nedigital, de pe masa de cafea.
  - (1e) *Support dedicat pentru dispozitivul radar.* În acest scenariu, senzorul radar este așezat pe un trepied, un suport dedicat pe care l-am găsit în 11,11% din articolele analizate în RSL.
2. **Senzori radar integrați în dispozitive digitale.** Senzorii radar pot fi integrați în diverse dispozitive, fie personale, *e.g.*, smartphone, fie din sufragerie, *e.g.*, televizorul inteligent. Identific următoarele posibilități neexhaustive pentru un mediu IA:
  - (2a) *Smartphone/tabletă.* În acest scenariu, utilizatorii pot folosi atât gesturi radar, cât și intrări convenționale pe ecranul tactil pentru a interacționa în mediul IA.
  - (2b) *TV set.* Televizorul reprezintă principalul dispozitiv de divertisment la domiciliu în camera de zi și, prin urmare, are o poziție privilegiată în taxonomie. Gesturile posibile sunt reprezentate de poziții ale mâinilor și mișcări în aer și chiar gesturi ale întregului corp [61, 183, 189].
  - (2c) *Telecomanda televizorului.* Un caz particular pentru scenariul 2b implică integrarea senzorului radar în telecomanda televizorului, permițând efectuarea de gesturi combinate cu telecomanda [21], dar și deasupra și în jurul telecomenzii.
  - (2d) *Soundbar/speakers.* I equally propose the integration of the radar sensor into the audio system presented in an AmI environment.
  - (2e) *Iluminare inteligentă.* Integrarea senzorilor radar cu sistemele de iluminat inteligent, cum ar fi Philips Hue,<sup>9</sup> dar și intrări bazate pe gesturi detectate de dispozitive ambientale care oferă feedback prin intermediul luminii.

<sup>9</sup><https://www.philips-hue.com/en-us> va favoriza noi interacțiuni cu lumina [11, 124, 149]

3. **Senzori de radar integrați în dispozitive portabile.** În această categorie, senzorii radar sunt integrați în dispozitive concepute pentru a fi purtate, atașate sau fixate pe corpul utilizatorului, după cum urmează:

- (3a) *Smartwatch/Fitness tracker.* Această integrare este ușoară deoarece utilizatorul poate interacționa în contextul oferit de smartwatch fără gesturi accidentale datorită dimensiunilor reduse ale acestuia. De exemplu, datele fiziologice în timp real sunt achiziționate de smartwatch-ul Empatica.<sup>10</sup>
- (3b) *Ochelari inteligenți/Ecranele montate pe cap.* Introducerea convențională a gesturilor pentru ochelarii inteligenți și afișajele montate pe cap implică gesturi tactile efectuate pe tâmpilele de sticlă [94] și mișcări ale capului [210].
- (3c) *Smart rings.* Integrarea cu dispozitive portabile de dimensiuni reduse ar putea permite realizarea de interacțiuni prin micro-gesturi ale degetelor, gesturi ale mâinii opuse, ale brațului și, respectiv, ale capului.
- (3d) *Bijuterii inteligente.* Integrarea senzorilor radar în dispozitive concepute pentru diferite părți ale corpului sau care pot fi purtate în diferite locuri ale corpului va spori și mai mult versatilitatea interacțiunii prin gesturi bazate pe radar; a se vedea, de asemenea, 3e.
- (3e) *De la articole de îmbrăcăminte inteligentă la îmbrăcăminte inteligentă.* În SLR prezentat în acest capitol, două lucrări din literatura științifică au examinat senzorii radar fixați pe corp: Zheng *et al.* [117] a plasat un senzor radar pe gât pentru a permite efectuarea de gesturi cu limba și [196] a plasat radarul Soli pe încheietura mâinii pentru a detecta micro gesturi pe obiecte fizice.

4. **Senzori radar integrați în asistenții robotici.** În această categorie, senzorii radar sunt integrați în dispozitive digitale care iau forma și funcțiile unor asistenți robotici. Identific următoarele posibilități neexhaustive pentru un mediu IA:

- (4a) *Asistenți vocali.* Asistenții robotici personali care acceptă interacțiuni prin intermediul introducerii vocale au crescut recent în popularitate.
- (4b) *Asistenți robot.* Spre deosebire de asistenții vocali personali, care sunt nemișcați, roboții mobili pot urmări utilizatorul, pot ocupa diferite locuri în cameră, pot schimba locația și pot efectua diverse servicii, ca în cazul aspiratoarelor robotizate.
- (4c) *Drones.* Ca o categorie specială de asistenți roboți, dronele beneficiază de un nivel mai ridicat de mobilitate și multe modele implementează deja funcționalitatea “follow me” [2].

5. **Senzori radar integrați în clădire.** În această categorie, senzorii radar sunt integrați în elementele arhitecturale ale încăperii, după cum urmează:

- (5a) *Pereți.* Pereții reprezintă suprafețe mari care pot fi utilizate atât pentru intrare, cât și pentru ieșire în contextul mediilor AmI, iar radarele au deja aplicații pentru detectarea prin pereți.

<sup>10</sup><https://www.empatica.com/research/e4/>

- (5b) *Peretele din spatele ecranului TV.* La fel cum televizorul a fost considerat distinct în taxonomia mea (scenariile 2b și 2c), la fel și peretele din spatele ecranului TV prezintă oportunități unice de interacțiune. De exemplu, o proiecție video pe peretele din spatele televizorului poate îmbogăți conținutul redat pe ecranul televizorului [97].
- (5c) *Podea.* Atunci când senzorul este plasat la nivelul podelei sau aproape de acesta, oferă un punct de vedere diferit pentru a capta gesturile [20].
- (5d) *Tavan.* În mod complementar cu scenariul 5c, un senzor plasat pe tavan sau în apropierea acestuia oferă noi posibilități de detectare a diferitelor tipuri de gesturi.

## 3.2 RadarFusion: Explorarea Integrării Radarului în Obiectele de Zi cu Zi pentru Controlul Televizorului cu Mâinile

În cele ce urmează, prezint RadarFusion, o aplicație software concepută pentru controlul televizorului prin comenzi prin gesturi, concentrându-se în special pe detectarea gesturilor cu mâna liberă în aer folosind tehnologia de detectare radar. Sunt prezentate rezultate preliminare, care ilustrează o aplicație care utilizează un radar 3D cu 15 antene în bandă ultralargă. Această aplicație include un set de șase gesturi de glisare direcțională pentru a controla funcțiile dihotomice ale unui sistem TV.

### 3.2.1 Context

Televizoarele inteligente oferă o gamă largă de caracteristici care îmbunătățesc experiențele de divertisment la domiciliu în sufragerie, de la accesul la conținut online [79, 148] până la televiziune cu realitate augmentată și mixtă [156, 199] la intrarea între dispozitive și vizionarea televiziunii pe un al doilea ecran [50] la utilizarea televiziunii interactive ca mediu pentru aplicații pentru diverse nevoi [43, 82, 197]. Dincolo de telecomenzile convenționale, soluțiile tehnice pentru controlul televizorului au inclus telefoane inteligente [111], controlere de jocuri video [188], telecomenzi augmentate [21], și introducerea de gesturi folosind o gamă largă de tehnologii de detecție [61, 183, 189, 193, 213].

### 3.2.2 Implementarea Prototipului

Prezentarea fezabilității tehnice a diferitelor locații din taxonomia prezentată în Figura 3.2, având în vedere disponibilitatea și accesibilitatea tehnologiei radar, am creat un prototip folosind dispozitivul Walabot Creator cu 15 antene și Walabot API.<sup>11</sup> Prin capturarea traiectoriei (coordonatele  $x$ ,  $y$  și  $z$ ) a țintei detectate de radar, am implementat două gesturi de glisare (*glisați spre stânga* și *glisați spre dreapta*) de-a lungul axei  $y$ . În plus, distanța față de senzor pe axa  $z$  la care sunt efectuate aceste gesturi a fost utilizată pentru a defini trei zone active (aproape, aproape și departe) deasupra radarului. Această combinație de două direcții și trei zone are ca rezultat un set de șase gesturi, care pot fi puse în corespondență cu trei tipuri de funcții dihotomice utilizate în mod obișnuit pentru controlul televizorului: *da-nu* pentru confirmarea și respingerea selecțiilor, *sus-jos* pentru ajustarea valorii unui control (e.g., volum, luminozitate) și *sus-anterior* pentru navigarea într-o listă (e.g., canale).

<sup>11</sup>[https://api.walabot.com/\\_sample.html](https://api.walabot.com/_sample.html)

### 3.2.3 Evaluare

Am efectuat o evaluare inițială a aplicației mele prin plasarea radarului pe masă, care corespunde scenariilor mesei de cafea (1c), obiectelor decorative (1d) și cotierei canapelei (1b) descrise în Figura 3.2. În cazul în care radarul este amplasat în alte locații, ar putea fi necesare ajustări pentru conducta mea de recunoaștere a gesturilor, cum ar fi preprocesarea semnalului brut sau implementarea unor noi tehnici de recunoaștere [181]. Scenariile prezentate în Figura 3.2 și cu diferite tipuri de ocluzie. Aceste imagini indică un nivel ridicat de discriminabilitate care este de așteptat în astfel de locații, dar investigațiile suplimentare vor fi lăsate pentru cercetări viitoare. Pozițiile în care a fost amplasat senzorul radar Walabot pentru a capta imaginile de pe ecranul heatmap au fost următoarele: pentru scenariile (1c) și (1d), a fost utilizată o masă aleatorie din sufragerie. În scenariul (2d), radarul Walabot a fost poziționat în interiorul cutiei în care este livrat atunci când este cumpărat. În scenariul (3d), senzorul radarului a fost așezat pe masă, cu telecomanda deasupra acestuia. Interacțiunea a fost realizată cu mâna dreaptă. În scenariul (3a), senzorul radar a fost plasat în buzunarul drept al pantalonilor. Pentru scenariul (2b), senzorul radar a fost plasat lângă ecranul televizorului. În scenariul (5c), senzorul radar a fost poziționat pe podea, în timp ce utilizatorul stătea pe un scaun și interacționa cu piciorul drept. Alegerea interacțiunii cu mâna dreaptă a fost lăsată la discreția utilizatorului în toate scenariile. În plus, merită explorate și alte caracteristici ale senzorilor radar, cum ar fi rezoluția sau câmpul de vizualizare, în cadrul cercetărilor viitoare pentru a pune în aplicare diferitele posibilități din taxonomie, deoarece diferite tipuri de radare vor produce date diferite.

## 3.3 SkySculptor: Controlul Dronelor prin Intermediul Radarului și al Gesturilor cu Piciorul

Prezint SkySculptor, o aplicație software creată pentru a îmbunătăți controlul dronelor într-un mediu inteligent de interior. Mă concentrez în primul rând pe utilizarea introducerii de gesturi pentru controlul dronelor, investigând în mod specific utilizarea interacțiunilor cu picioarele care pot fi detectate prin intermediul senzorilor radar. În plus, prezint rezultatele încorporării unui radar 3D cu 15 antene în bandă ultralargă în aplicația mea software, unde am stabilit un set de șase gesturi de glisare direcțională pentru controlul diferitelor funcții ale dronei.

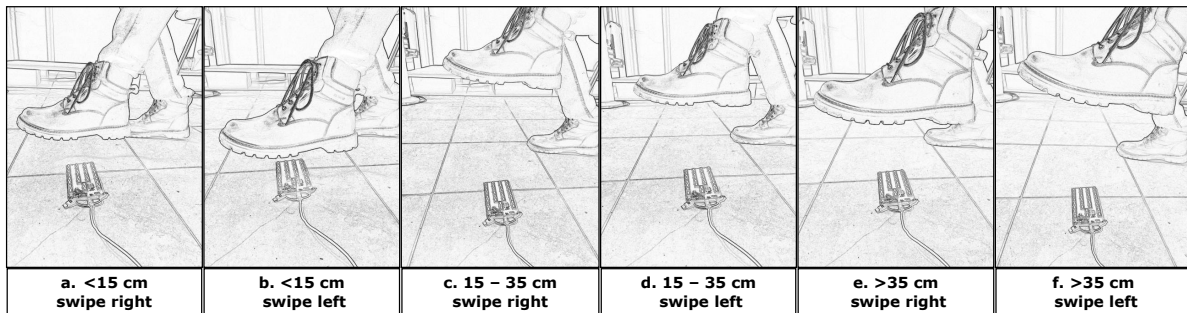
În acest context, prezint următoarele contribuții:

- (1) Cerințe software pentru proiectarea unui sistem interactiv care permite controlul dronelor cu ajutorul unui dispozitiv radar integrat sau plasat pe podea.
- (2) Un set de șase gesturi radar bazate pe picior, asociate cu comenzi specifice pentru controlul dronelor.
- (3) Implementarea aplicației software utilizând un radar 3D cu 15 antene în bandă ultralargă.

### 3.3.1 Controlul Dronelor pe Bază de Gesturi

Studiul interacțiunii cu dronele folosind gesturi a fost explorat în cercetări anterioare, cum ar fi Obaid *et al.* [147]. Monajjemi *et al.* [138] demonstrează un prim exemplu de interacțiune bazată pe proximitate între un utilizator uman și o dronă de exterior. Gesturile sunt folosite ca mijloc de transmitere a emoțiilor, gândurilor și a comunicării non-verbale. Gesturile de mână au câștigat acceptare ca metode de comunicare eficiente și directe [15].

Pe baza celor de mai sus, propun un sistem de recunoaștere a gesturilor bazat pe senzori radar pentru controlul dronelor, care extinde recunoașterea pentru a include gesturile *picior*; a se vedea Figura 3.3.



**Figure 3.3.** O gamă largă de gesturi în aer poate fi obținută prin combinarea mișcărilor direcționale și a distanței față de senzor la care sunt executate mișcărilor. Aceste gesturi pot fi utilizate pentru a controla funcții comune ale dronei, cum ar fi *decolare/aterizare, începerea/oprirea înregistrării video și înainte/înapoi*.

### 3.3.2 Cerințe de Proiectare

Printr-o examinare a literaturii științifice și o analiză atentă a potențialului domeniu de aplicare, care se concentrează pe interacțiunea dintre drone și gesturile bazate pe picior în medii inteligente de interior, utilizând dispozitive radar integrate, atașate sau amplasate pe podea, am compilat condițiile de proiectare necesare pentru SkySculptor. Ulterior, am prezentat standardele de proiectare pentru aplicația software SkySculptor.

- Tehnologie open source.* SkySculptor pune accentul pe adoptarea de tehnologii deschise pentru a promova dezvoltarea de aplicații software specializate inovatoare concepute pentru utilizatorii care operează drone în medii interioare inteligente.
- Orientare spre spații inteligente.* Poziționarea precisă a radarului în locațiile recomandate, așa cum a fost propusă de Șiean *et al.* [173], permite gestionarea eficientă a interacțiunilor gestuale complexe efectuate de utilizatori.
- Integrați, atașați sau plasați cu ușurință senzorul radar pe obiecte sau dispozitive.* În mod tradițional, controlul dronelor s-a făcut cu ajutorul joystick-urilor sau al smartphone-urilor. Cu toate acestea, în scenariul meu, propun o schimbare către utilizarea unui dispozitiv radar integrat care poate fi atașat sau plasat pe podea pentru interacțiunea cu drona.

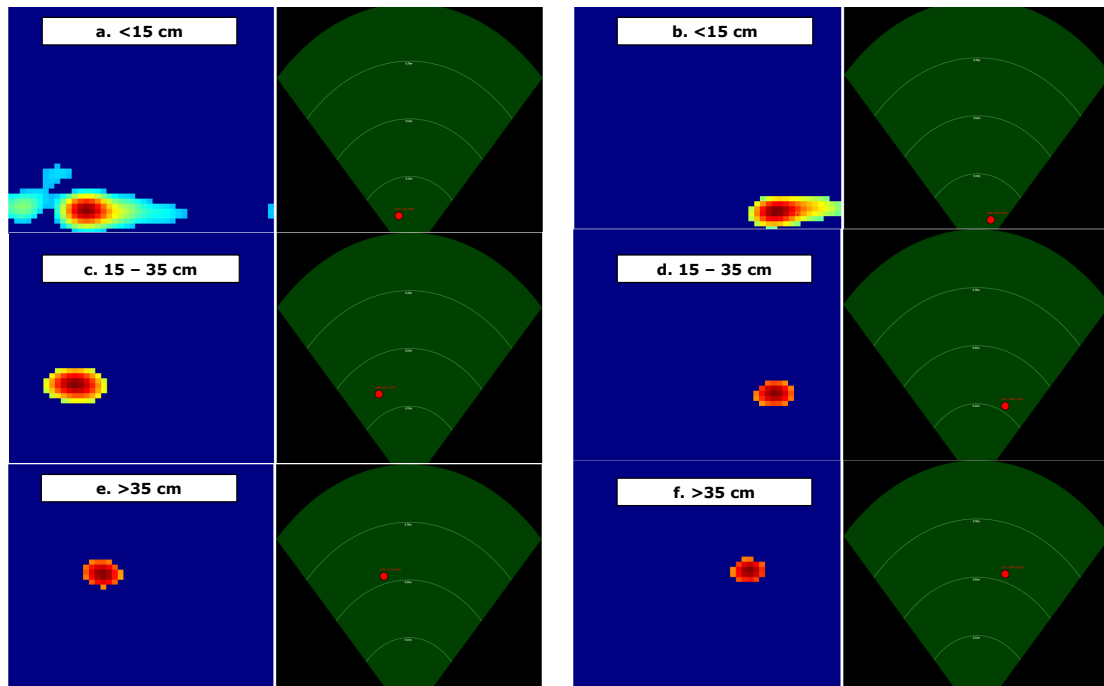
Cerința (c) poate fi îndeplinită prin utilizarea principiilor care guvernează funcționarea dispozitivelor radar și capacitatea acestora de a detecta obiecte. Această cerință oferă diverse opțiuni pentru instalarea dispozitivului radar, permițând interacțiunea cu drona.

- Python.* Dispozitivele capabile să ruleze SkySculptor au un interpretor Python și sunt echipate cu un port USB pentru conectarea dispozitivului radar. Cadrul Python este recunoscut pe scară largă pentru performanța sa rapidă și fiabilă în dezvoltarea de aplicații software.

### 3.3.3 Detalii de Implementare

Am dezvoltat SkySculptor folosind dispozitivul Walabot Creator cu 15 antene și Walabot API.<sup>12</sup> Pentru evaluare a fost utilizată drona Mambo Parrot. Traectoria țintei detectate deasupra

<sup>12</sup>[https://api.walabot.com/\\_sample.html](https://api.walabot.com/_sample.html)



**Figure 3.4. Sensorul radar captează imagini  $\theta$ - $R$  ale diferitelor acțiuni, inclusiv (a) decolarea, (b) aterizarea, (c) începerea și (d) oprirea înregistrării video, (e) deplasarea înainte și (f) deplasarea înapoi. Fiecare imagine prezintă gesturile picioarelor și distanța măsurată de sensorul radar.**

radarului a fost capturată și exprimată ca fiind coordonate  $x$ ,  $y$  și  $z$ . Două gesturi de glisare direcțională (denumite *glisare la stânga* și *glisare la dreapta*) de-a lungul axei  $y$ . În plus, distanța de la sensor pe axa  $z$  la care au fost făcute aceste gesturi a fost folosită pentru a defini trei zone active (*foarte aproape*, *aproape* și *departe*) deasupra radarului. Atunci când cele două direcții și cele trei zone au fost combinate, s-a obținut un total de șase gesturi. Aceste gesturi pot fi atribuite la trei tipuri de funcții utilizate în mod obișnuit în controlul dronelor: *decolare/aterizare* pentru inițierea sau încheierea zborului dronei, *pornit/oprit video* pentru controlul camerei, cum ar fi realizarea de fotografii sau începerea/oprirea înregistrării video, și *înainte/înapoi* pentru deplasarea dronei în direcția înainte sau înapoi. Această metodă este aceeași cu cea aplicată în [174].

Gesturile cu senzor radar implică faptul că un gest este făcut în aer, fără atingere. În acest scop, o altă caracteristică interesantă pentru un gest este distanța la care se află piciorul față de Walabot. Astfel, am modificat algoritmul original prezentat în secțiunea anterioară prin captarea și a coordonatei  $z$ . Deoarece un gest este alcătuit dintr-un set de puncte, am calculat distanța medie dintre picior și Walabot. Obțin rezultatul că un gest poate fi efectuat în apropiere de *foarte aproape* Walabot, la o distanță rezonabilă de acesta *aproape* sau foarte departe de Walabot *departe*. Pe scurt, am identificat *două* gesturi de glisare și *trei* poziții posibile pentru fiecare gest, adică un set de *șase* gesturi.



## 4 INTERACȚIUNEA OM-DRONĂ ÎN MEDII EXTERIOARE INTELIGENTE

**D**RONELE sunt echipate cu camere video care prezintă progrese notabile în ceea ce privește rezoluția, ca urmare a cererii tot mai mari de înregistrări foto și video personale și de grup de înaltă calitate, precum și de explorare a mediilor exterioare. Rezultatele RSL prezentate în cel de-al doilea capitol au relevat un număr limitat de comenzi pentru controlul camerei dronelor. În consecință, domeniul interacțiunilor care implică camera dronelor rămâne de explorat. Pentru a remedia această lacună, în acest capitol este prezentat un inventar de comenzi legate de controlul camerei dronelor. Un chestionar privind percepția dronelor ca însoțitor personal al unui vehicul și o aplicație software care permite împrumutul și controlul unui set de drone.

### 4.1 Interacțiuni pentru Fotografii și Înregistrări Video cu Drone

Prezența dronelor personale în viața noastră este din ce în ce mai semnificativă, iar una dintre cele mai importante aplicații ale acestora este cea de ”cameră de luat vederi zburătoare”. În acest capitol, se prezintă un rezumat al literaturii științifice privind IOD pentru a identifica funcțiile de sistem și comenzile corespunzătoare pentru controlul fotografiei și filmării aeriene cu ajutorul dronelor, din care se compilează un dicționar cuprinzător de interacțiuni. În plus, sunt discutate oportunitățile de cercetare ulterioară la intersecția dintre calculul cu dronă, viziunea augmentată și fotografia personală.

#### 4.1.1 Context și Contribuții

Aplicațiile computerelor cu drone acoperă o gamă variată de industrii și domenii, de la sisteme de transport inteligente [18] la inspecția în direct în construcții [69], situații de urgență [212] și servicii de livrare [185], pentru a numi doar câteva. La un nivel distinct de scară și de experiență a utilizatorului, dronele personale, ușor accesibile și la prețuri accesibile, oferă numeroase funcționalități de asistență pentru utilizator. Un exemplu este studiul realizat de Chen *et al.* [39], care explorează cerințele utilizatorilor pentru a face selfie-uri și prezintă o metodă nouă de control al unei drone selfie într-o manieră centrată pe utilizator. Obiectivul este de a ajuta persoanele să captureze selfie-uri mai atractive din punct de vedere vizual, într-un mod mai intuitiv, în cadrul video-conferințelor [96], al însoțirii sociale [102] și al navigării în realitatea mixtă. În lucrarea lor, Tsykunov *et al.* [187] introduc o nouă abordare pentru a îmbunătăți feedback-ul haptic în Realitatea Virtuală (RV). Conceptul lor implică conectarea degetului fiecărui utilizator la un micro-cadrator cu ajutorul unui fir. Aplicația mea particulară a dronelor personale este fotografia și filmarea aeriană [40, 71, 101], unde noi puncte de observație sunt deschise fotografiilor profesioniști și începători pentru a surprinde momente de viață.

Conform lucrării lui Funk [65] privind interfețele de utilizator zburătoare, cele mai importante utilizări ale dronelor în cercetarea HCI au fost camerele de luat vederi zburătoare, ecranele și proiectoarele zburătoare, recuzita tactilă zburătoare și oferirea de companie în aer. În acest capitol, mă ocup de HDI pentru controlul fotografiilor și videoclipurilor aeriene. Publicul țintă

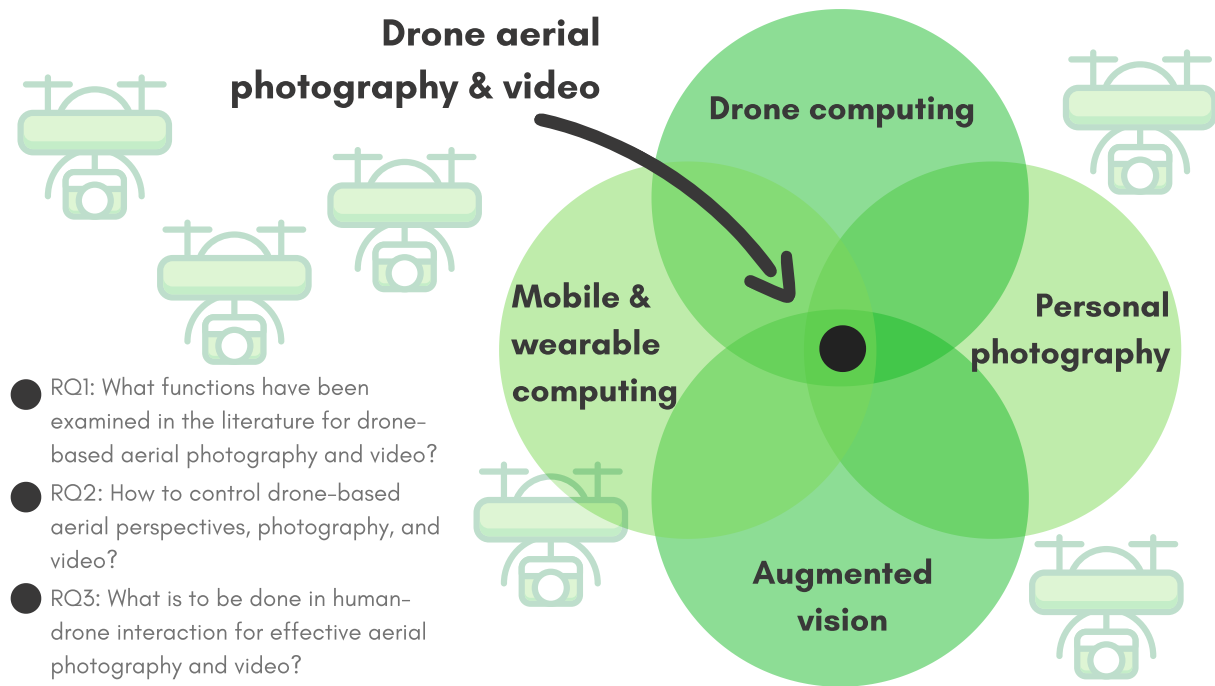


**Figure 4.1.** Ce modalități de intrare sunt convenabile și eficiente pentru a controla camera video a unei drone pentru fotografierea aeriană? În timp ce cercetările sunt puține pe acest subiect, trec în revistă cunoștințele existente și propun direcții viitoare pentru a avansa cercetarea și dezvoltarea în controlul fotografiei aeriene și video cu drone. *Nota:* drona personală Parrot Mambo Fly, cu costuri reduse, este ilustrată în această figură.

specific este format din fotografi, profesioniști și pasionați care utilizează drone. Contextul în care se plasează lucrarea este prezentat în Figura 4.2, așa cum este prezentat mai jos.

- (1) Obiectivul principal al acestei investigații este *calculul cu drone*, în special în ceea ce privește aspectele cheie legate de streaming-ul video în direct, fotografierea de înaltă definiție [184], și confidențialitatea spectatorilor [209].
- (2) *Informatica mobilă și portabilă* este utilizată pentru a facilita interacțiunile eficiente și eficace cu dispozitivele personale, inclusiv cu telefoanele inteligente—, care sunt cel mai răspândit tip de dispozitive—și cu telecomenzile, care sunt utilizate în mod obișnuit pentru a interacționa cu dronele personale.
- (3) *Viziune augmentată*, deoarece majoritatea dronelor cu camere video încorporate sunt dotate cu funcționalitate FPV, care permite utilizatorilor să se cufunde în perspectiva aeriană a dronei care zboară.
- (4) *Fotografii personale*, activată de smartphone-uri [107], tablete [28], camere de 360 de grade [95], ochelari inteligenți [24] și alte dispozitive, intersectează categoriile anterioare din Figura 4.2 în fotografia aeriană cu drona.

În acest context, prezint un rezumat al literaturii științifice privind IOD, din care sunt extrase funcțiile și comenzile sistemului pentru fotografierea și filmarea cu drona și este compilat



**Figure 4.2. Intersecția dintre calculul cu drone, interacțiunile mobile și purtabile, viziunea augmentată și fotografia personală specifică domeniul de investigație prezentat în acest capitol.**

un dicționar de interacțiuni. Sunt prezentate perspectivele a trei profesioniști care utilizează drone în cadrul muncii lor și se reflectă asupra oportunităților de cercetare ulterioară în domeniul fotografierii și filmării cu drona.

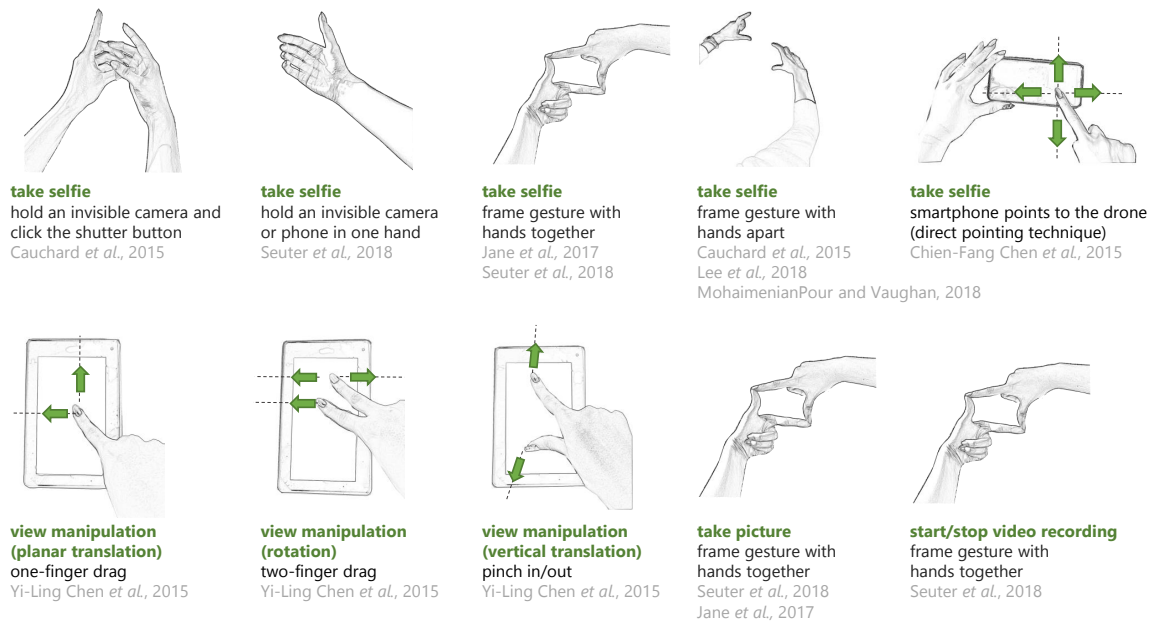
#### 4.1.2 Metoda

Am efectuat o sinteză a literaturii științifice pentru a identifica lucrări relevante privind IOD care abordează fotografia cu drona și controlul camerei video montate pe drone. Această discuție despre stadiul actual al tehnologiei într-un domeniu de aplicare specific completează analiza lucrărilor conexe din cel de-al doilea capitol, în care accentul a fost pus exclusiv pe IDH. Spre deosebire de alte tipuri de studii de literatură, cum ar fi RSL, recenziile ale stadiului actual al cunoașterii sau meta-analize [77], sinopsisurile sunt *rapide și sistematizate*<sup>13</sup> utilă pentru a descoperi rapid informații relevante despre un anumit subiect. Pentru un exemplu și un rezumat al metodelor de introducere a datelor în interfețele utilizator auto pentru consumul de media în vehiculele conectate, vă rugăm să consultați [23].

#### 4.1.3 Rezultate

Cele zece articole eligibile au fost analizate în funcție de cele două întrebări de cercetare prezentate în Figura 4.2. În ceea ce privește  $RQ_1$ , am constatat că cele mai frecvent implementate funcții de sistem pentru camerele video pentru drone au fost capturarea fotografiilor [31, 36, 55, 137, 166] și selfie [2, 36, 37, 39, 55, 113, 166], în timp ce comenzile pentru înregistrarea video au fost abordate într-o măsură mai mică [31, 166]. Au fost identificate șase tipuri de funcții de sistem relevante pentru domeniul de aplicare al acestei analize sinoptice: (1) a face selfie, (2) a

<sup>13</sup>Potrivit lui Grant *et al.* [77], o recenzie rapidă utilizează metode de recenzie sistematică, dar caracterul complet al căutării este determinat de constrângerile de timp; o recenzie sistematică include elemente ale recenziilor sistematice, dar nu include întotdeauna o căutare completă (p. 95).



**Figure 4.3. Un dicționar de interacțiuni constând în funcții și comenzi de sistem pentru fotografierea și filmarea aeriană cu drona.**

face poze, (3) a face poze unui obiect specificat, (4) (5) a porni/opri înregistrarea video și (6) a transmite imagini video de la dronă.

Pentru a completa aceste constatări, am realizat interviuri informale cu doi utilizatori profesioniști de drone. Ambii (bărbați, în vârstă de 40 și 24 de ani) aveau nouă și, respectiv, patru ani de experiență în domeniul fotografiei aeriene cu drona. Persoanele intervievate și-au exprimat preferințele pentru comenzi prin gesturi și vocale pentru a controla funcționalitatea senzorilor de pe dronele lor. Cu toate acestea, controlul prin gesturi în aer al dronei în modul de zbor a fost perceput ca fiind mai puțin eficient în comparație cu utilizarea unui flypad, conform experienței lor practice. În plus, mișcările simple ale degetelor și introducerea tactilă pe flypad-ul dronei au fost considerate mai rapide și mai puțin solicitante în comparație cu gesturile mâinilor și ale brațelor.

## 4.2 DroneDynamics: Dronele ca însoțitoare ale vehiculelor inteligente

În această secțiune, continui investigarea utilizării dronelor în noul domeniu de aplicare al vehiculelor personale, la care mă refer ca DroneDynamics. Preferințele conducătorilor auto în ceea ce privește modul în care interacționează vehiculele și dronele sunt examinate cu ajutorul unei abordări bazate pe mai multe studii. În primul rând, se realizează o meta-analiză pentru a examina literatura științifică existentă privind interacțiunea dintre vehicule și drone. Rezultatele arată foarte puține cercetări în acest domeniu, în ciuda numeroaselor oportunități pentru ca vehiculele și dronele să lucreze împreună. În al doilea rând, se realizează un sondaj pentru a înțelege preferințele șoferilor în ceea ce privește interacțiunea cu o dronă însoțitoare și primirea de feedback din partea acesteia. Constatările indică o lipsă de cercetări privind interacțiunea vehicul-dronă și nu există modalități stabilite pentru ca dronele să interacționeze în acest context. Cu toate acestea, participanții la sondaj au arătat un interes puternic pentru a avea o dronă ca însoțitor al vehiculelor lor personale și pentru a putea interacționa cu aceasta. Pe baza acestor constatări, se fac sugestii pentru dezvoltări viitoare a interacțiunilor vehicul-dronă.

### 4.2.1 Context

Dronele autonome sunt utilizate pe scară largă în aplicații precum filmarea și fotografierea [176], operațiunile de salvare [31], ghidarea pietonilor [45] și transportul [51]. Vehiculele au introdus tehnologii inteligente pentru a îmbunătăți siguranța traficului rutier, funcții și caracteristici noi atât pentru șoferi, cât și pentru pasageri, creând o experiență mai plăcută și mai confortabilă pentru aceștia în timpul utilizării vehiculului [121, 200].

Percepția oamenilor asupra dronelor este un nou subiect de mare interes, iar opiniile utilizatorilor diferă în funcție de mai mulți factori, inclusiv sarcina sau tipul de dronă. Este important să se înțeleagă modul în care oamenii percep dronele și care este atitudinea lor față de acestea, precum și modul în care pot fi concepute noi interacțiuni pentru diferiți roboți zburători [145]. Deoarece interacțiunea dronelor este un punct cheie, studiul interfețelor și al metodelor de interacțiune devine o prioritate și, astfel, rolul dronei, contextul de utilizare și locul în care zboară drona devin de interes [136]. Succesul și nivelul de acceptabilitate al acestei tehnologii depind de modul în care este utilizată, integrată și acceptată de oameni. În cazul condusului, conducătorii auto pot fi anxioși sau chiar furioși din cauza lipsei de informații despre ceea ce se întâmplă în jurul lor [84, 160] (*e.g.*, De ce se mișcă traficul atât de încet? Nu găsesc un loc de parcare. Am întârziat la o întâlnire). Obținerea de informații care nu se află direct în câmpul vizual al șoferului ar putea oferi o mai bună vizualizare și a contextului general și ar putea duce la o experiență de conducere mai bună și la o rată mai mică a accidentelor.

### 4.2.2 Proiectarea Studiului

A fost efectuată o meta-analiză [77] a literaturii științifice pentru a înțelege rezultatele anterioare privind interacțiunea vehicul-dronă. Am utilizat Ghidul de bune practici a lui Sidaway [170]. iar diagrama PRISMA1 [118] a fost adoptată pentru completă și transparentă.

### 4.2.3 Rezultate

Sunt raportate rezultatele meta-analizei celor opt articole identificate pe tema interacțiunii cu dronele atunci când șoferul se află în vehiculul personal. Atenția este îndreptată către tipul de contribuții științifice (*e.g.*, studii empirice, artefacte, sondaj etc.), modalitățile de interacțiune utilizate în contextul dronă-vehicul și alți parametri.

### 4.2.4 Preferințele Șoferilor în ceea ce Privește Interacțiunea cu Dronele

A fost realizat un studiu pentru a colecta și a înțelege preferințele șoferilor în ceea ce privește utilizarea unei drone ca însoțitor al vehiculelor lor, inclusiv preferințele lor pentru dispozitive portabile pentru a interacționa cu drona, percepțiile asupra dronelor și preferințele pentru gesturi, intrare vocală sau interacțiuni multimodale pentru a controla diverse funcții și caracteristici ale dronei. Studiul s-a bazat pe un sondaj online cu privire la așteptările pe care participanții le au de la drona însoțitor.

### Participanți

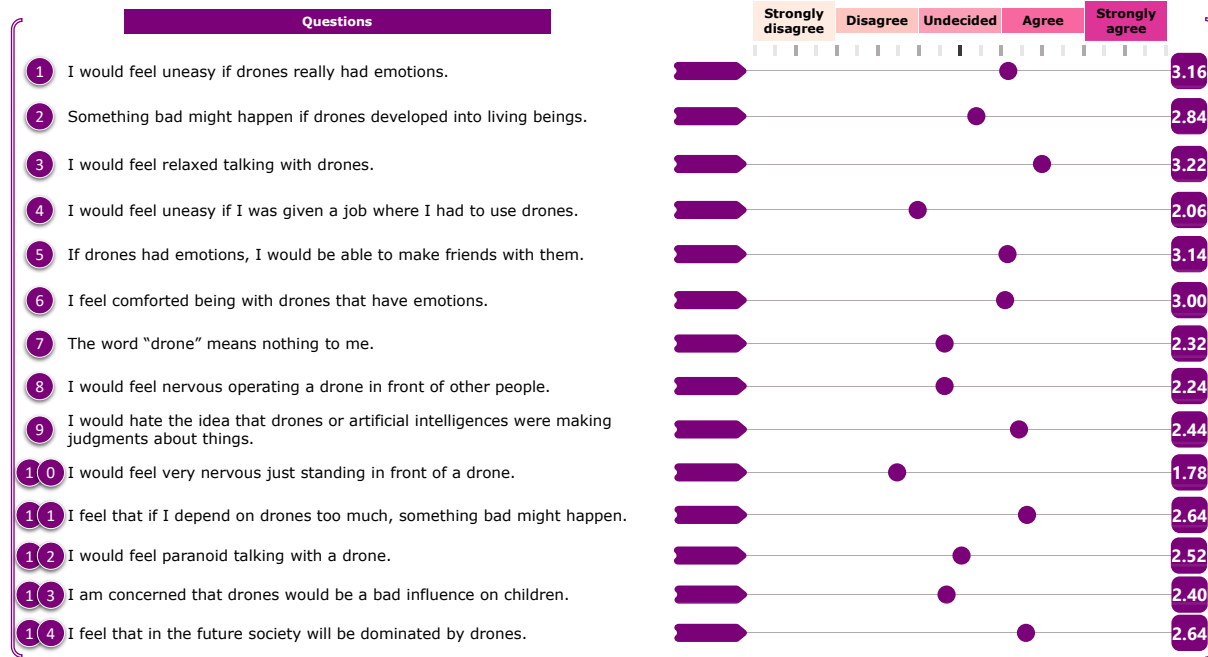
Studiul a implicat un total de N=50 de participanți, toți șoferi cu permis de conducere. Acești participanți au fost rugați să răspundă la întrebări demografice legate de gen, vârstă, ocupația actuală, utilizarea tehnologiei, dispozitive inteligente, istoricul condusului, numărul de



**Figure 4.4. Ilustrație a conceptului de interacțiune dronă-vehicul.**

kilometri parcurși, principalele caracteristici ale vehiculului și contextul în care au utilizat vehiculul. Șoferii au fost recrutați prin diverse mijloace, inclusiv prin intermediul rețelelor sociale, al corpului studentesc, al personalului de cercetare și al personalului universitar. Vârsta medie a participanților a fost  $M=26,84$  ( $Mdn=27$ ,  $SD=4,02$ ), cu 29 de bărbați și 21 de femei. În rândul participanților, cele mai răspândite profesii au fost cele de inginer software, medic și profesor. Aceștia au raportat utilizarea regulată a dispozitivelor inteligente, cum ar fi smartphone-uri (98%), computere personale (82%) și căști audio wireless (48%). Vârsta medie a participanților este reprezentativă pentru un eșantion de adulți tineri, care sunt, în general, mai deschiși la adoptarea schimbărilor tehnologice. Pentru a asigura caracterul adecvat al eșantionului, am consultat literatura de specialitate care a inclus participanți în diferite studii privind dronele. Aceste articole au raportat vârste medii de 20 de ani în studiul lui Abtahi [2], 24 de ani în [30, 108] și 27 de ani în [80, 161].

### **Rezultatele Obținute de Conducătorii Auto**



**Figure 4.5. Self-reported experience regarding drones.**

În secțiunea următoare, sunt examinate percepțiile participanților cu privire la dronele care însoțesc vehiculele personale și metodele preferate de interacțiune cu drona. Accentul este pus pe analiza cantitativă a răspunsurilor la sondaj, inclusiv procentele și cifrele brute. Am primit 1950 de răspunsuri de la participanți pentru categoriile de întrebări obligatorii și alte 122 de răspunsuri pentru întrebările opționale (*e.g.*, "Ce experiență aveți cu dronele?"). În total, am colectat 2072 de răspunsuri care sunt analizate și descrise în această secțiune.

## Experiență cu Dronele

Unul din cinci participanți (22%) a declarat că a folosit drone în trecut. Persoanele care au folosit drone au o experiență maximă de trei ani și minimă de o lună. Cea mai utilizată marcă de drone a fost DJI (10%).<sup>14</sup> Scopul pentru care participanții au folosit drone a fost acela de a face fotografii / videoclipuri (2%), de a efectua serviciul pe care îl prestează (4%), dar și de a supraveghea și vizualiza de la distanță (2%). Pentru participanții care au declarat că au folosit drone la locul de muncă, am fost interesat să aflu în ce scop.

**P50:** "Am folosit drona pentru a partaja conținutul video realizat de camera dronei cu utilizatorii care se aflau la distanță."

**P37:** "Crearea de conținut video de prezentare pentru companii."

Participanții au fost rugați să furnizeze informații despre dispozitivul utilizat pentru a interacționa cu drona. Un procent de 24% dintre participanți au folosit controlerul/joystick-ul inclus în pachetul de bază al dronei, iar 14% au controlat drona cu ajutorul unei aplicații pentru smartphone.

<sup>14</sup><https://www.dji.com/>

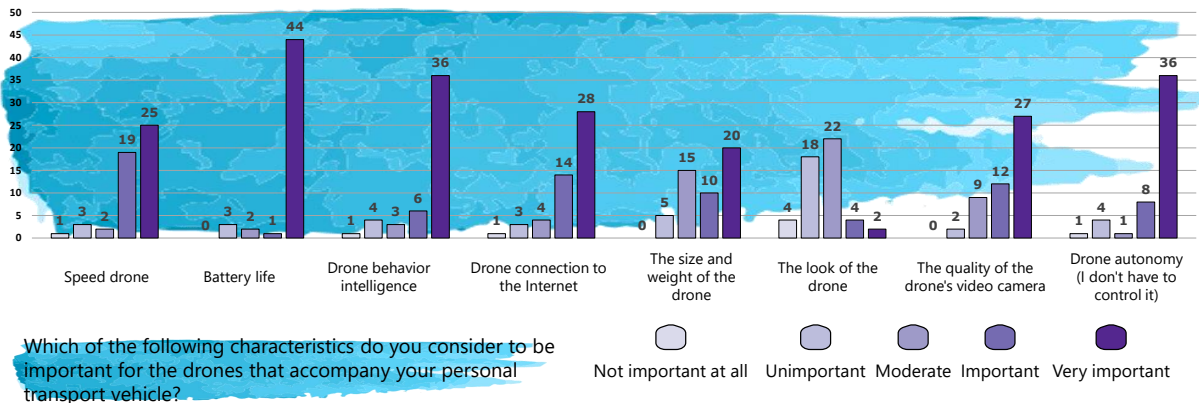


Figure 4.6. Caracteristicile dronelor în funcție de preferințele utilizatorilor.

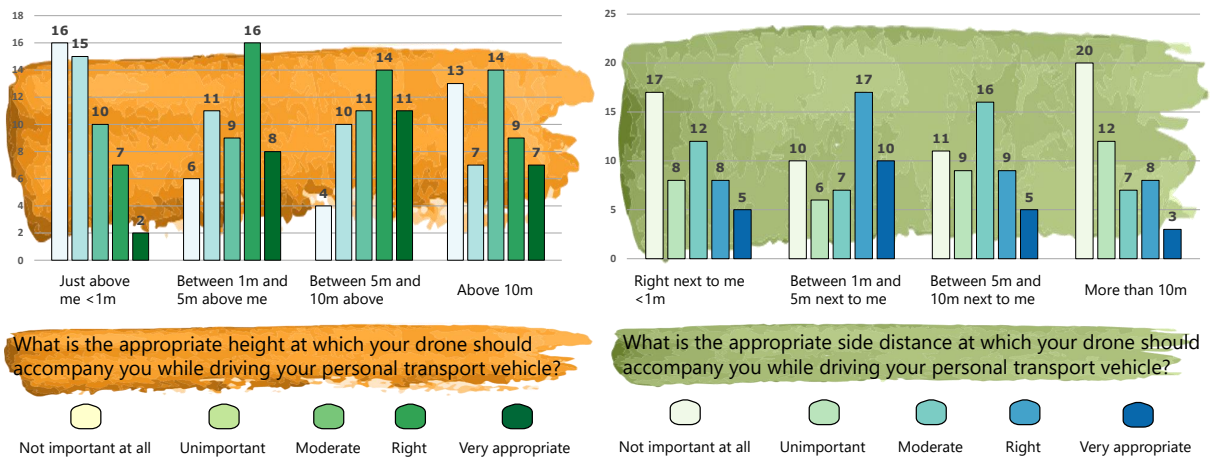


Figure 4.7. Înălțimea dronei (dreapta) și distanța laterală (stânga) în contextul interacțiunii dronă-vehicul.

### Percepția Asupra Dronelor

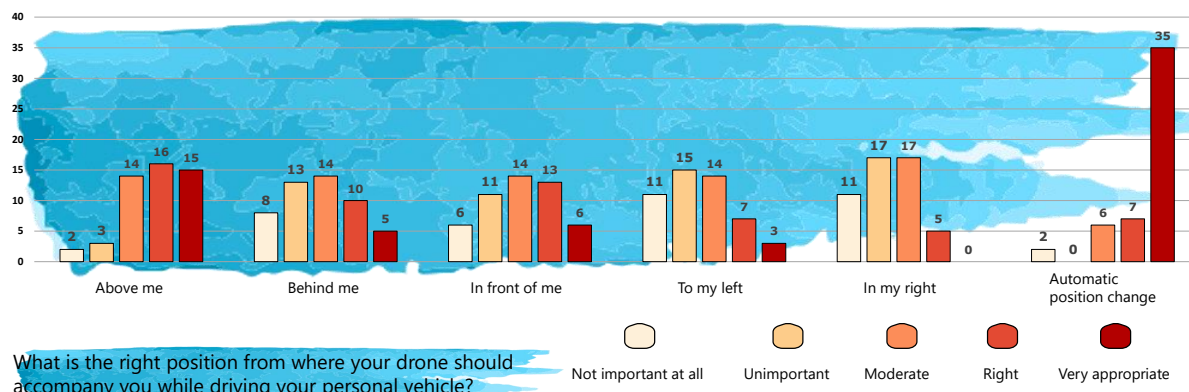
Participanții au fost rugați să indice nivelul de acord cu afirmațiile furnizate, folosind o scală de la unu la cinci. Scopul colectării acestor răspunsuri a fost acela de a obține informații despre ceea ce cred oamenii în general despre drone.

### Dronele care Însotesc Vehiculul de Transport Personal

Se urmărește o înțelegere aprofundată a aspectelor legate de funcțiile și caracteristicile dronei, precum și de poziția adecvată a acesteia atunci când însoțește vehiculul personal, inclusiv înălțimea, distanța și alte caracteristici pertinente. Participanților li s-au prezentat diverse funcții pe care drona le-ar putea îndeplini și li s-a cerut să evalueze gradul de adecvare pe o scară de la unu la cinci.

O altă dimensiune importantă este reprezentată de caracteristicile dronei. Participanților le-au fost prezentate mai multe caracteristici și s-a încercat să se obțină acordul acestora cu fiecare caracteristică. Figura 4.6 prezintă toate caracteristicile și modul în care acestea au fost percepute de participanți. Poziționarea dronei departe de vehiculul personal atunci când se află în





**Figure 4.8. Poziționarea droniei în contextul interacțiunii dronă-vehicul.**

mișcare este un aspect semnificativ care va influența proiectarea interacțiunilor și recepționarea feedback-ului de la dronă. De exemplu, anumite gesturi ale mâinilor captate de camera dronă pot necesita o poziție adecvată pentru capturarea cadrelor. Figura 4.7 (dreapta) ilustrează preferințele participanților în ceea ce privește poziționarea droniei în raport cu vehiculul personal. Au fost prezentate posibilele locații pentru dronă, iar participanții și-au exprimat acordul pentru fiecare situație exemplificată pe o scară de la unu la cinci, unde unu reprezintă ”deloc potrivit”, iar cinci indică ”foarte potrivit”. Înălțimea adecvată a droniei în jurul vehiculului personal este un alt aspect important, iar preferințele participanților sunt prezentate în Figura 4.7 (stânga). Fiecare participant și-a exprimat preferința pentru fiecare înălțime sugerată pe o scară de la 1 la 5. Continuând analiza, examinez distanța laterală corespunzătoare față de vehicul, iar rezultatele sunt prezentate în Figura 4.8. Fiecare participant și-a exprimat opinia folosind o scară de la 1 la 5 pentru fiecare distanță sugerată.

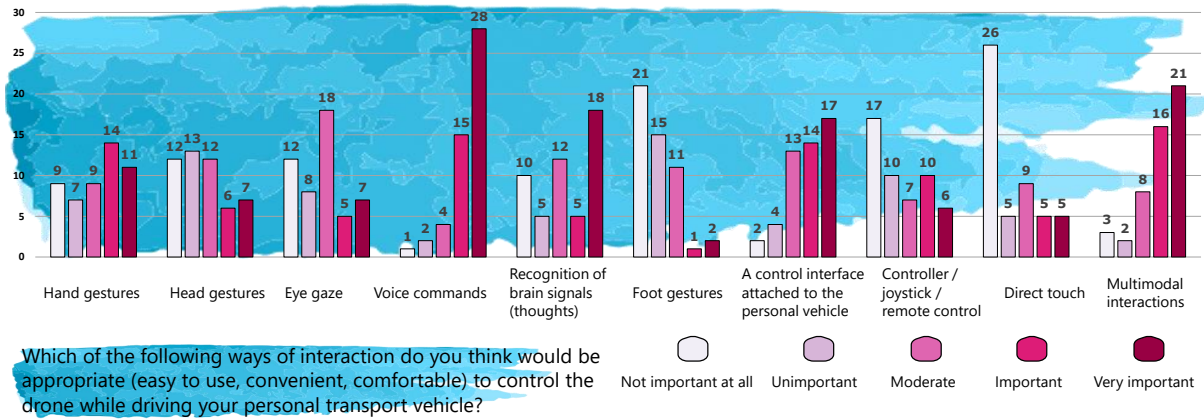
A fost examinată dimensiunea adecvată a droniei pe care participanții ar accepta-o atunci când își însoțesc vehiculul personal. Un procent de 42% dintre participanți au declarat că o dronă de mici dimensiuni, cu o greutate cuprinsă între 250g și 500g, le-ar fi potrivită în acest context, în timp ce 40% au indicat că o dronă cu o greutate cuprinsă între 500g și 2kg ar fi cea mai potrivită. Metodele de interacțiune cu drona au fost analizate, iar răspunsurile participanților sunt prezentate în Figura 4.9. În plus, Figura 4.10 ilustrează preferințele utilizatorilor în ceea ce privește dispozitivele cu care ar fi cel mai potrivit să interacționeze cu drona atunci când se utilizează vehiculul personal. Un alt aspect studiat a fost poziția droniei în repaus. O dronă parcată în corpul șoferului a fost considerată nepotrivită pentru acest scenariu de 78% dintre participanți. Dimpotrivă, 80% au declarat că este adecvat ca drona să se afle într-o geantă sau într-un rucsac, iar 86% și-au exprimat acordul ca drona să fie ascunsă într-o secțiune a vehiculului personal. În plus, 74% dintre participanți au menționat că drona ar trebui să rămână în zbor tot timpul, chiar dacă vehiculul este parcat. Participanții și-au exprimat dorința ca dronele să aibă trei funcții.

**P4:** ”Înălțimea la care zboară drona, poziția droniei, modul de interacțiune cu drona,”

**P36:** ”Informații privind traficul, filmarea în caz de accident, activarea/dezactivarea dronelor”

**P44:** ”Monitorizarea traficului, găsierea locurilor de parcare, alerte de accident.”

Analizând dimensiunea serviciilor pe care participanții doresc să le aibă atunci când se află în contextul vehiculelor dronă, am primit următoarele răspunsuri.



**Figure 4.9. Modalități adecvate de interacțiune în contextul interacțiunii dronă-vehicul.**

**P8:** ”Informații privind traficul, pietonii, asigurarea vehiculelor.”

**P35:** ”Informații despre accidente, informații despre ambuteiaje, informații despre punctele de control în trafic.”

**P50** ”găsirea unui loc de parcare, furnizarea de informații despre trafic, crearea de fotografii/filme”.

Analiza mea continuă cu percepția participanților cu privire la faptul că au o dronă ca însoțitor. Am constatat că 66% dintre participanți au considerat-o un plus de siguranță, 60% au perceput-o ca fiind utilă, 50% au considerat-o atractivă, iar 36% au descris-o ca fiind distractivă. De asemenea, a fost oferită o selecție opțională, în care participanții au avut posibilitatea de a lăsa diferite comentarii care nu au fost incluse în analiza primară. Participantul 11 a declarat: “Mi se pare că comunicarea verbală cu drona ar fi cea mai ușor de utilizat, fără prea multă interacțiune cu un ecran care îmi distrage atenția în timp ce conduc.” În plus, P37 a oferit un răspuns mai detaliat.

**P37:** ”Interesant, acest concept de însoțitor al dronelor, și cred că trebuie luate în considerare câteva aspecte legate de zborul dronelor și de obstacole, cum ar fi semnele de circulație de deasupra străzilor și chiar cablurile electrice și de internet, dar și zborul altor drone ca o distanță adaptabilă și potrivită în funcție de obstacole. Un alt aspect, la prima vedere, este cel al vremii. Dacă plouă, este ceață, vânt puternic sau grindină, cum se va descurca drona în astfel de situații? Metoda de încărcare a dronei și aspecte legate de securitatea comunicării dintre mașină și dronă, și dacă o astfel de dronă poate fi furată sau nu... și ce se va întâmpla dacă se pierde conexiunea cu vehiculul... Acestea sunt câteva aspecte la prima vedere ale unui astfel de concept de însoțitor pentru dronă.”

și P33 a spus,

**P33:** ”În caz de dezastre sau condiții meteo nefavorabile, posibilitatea de a parca pe acoperișul mașinii.”

## Rezultatele de la Motocicliști

În această secțiune sunt prezentate cele mai importante informații culese din chestionarul care a avut ca scop colectarea de date referitoare la drona care însoțește bicicleta. Datele au fost colectate cu ajutorul chestionarului Google Forms. Intervalul de vârstă al respondenților a variat de la 20 la 34 de ani, iar majoritatea respondenților s-au încadrat la începutul vârstei de 20 de ani  $M=22,0$  ( $Mdn=21,0$ ,  $SD=2,25$ ). Majoritatea participanților erau bărbați 72,3, cu excepția câtorva respondenți de sex feminin 27,6. Datele furnizate reprezintă percepțiile respondenților cu privire la drone, exprimate prin diverse afirmații și nivelurile de acord corespunzătoare. Afirmațiile acoperă o varietate de subiecte legate de emoții, interacțiuni și preocupări cu privire la drone. Fiecare afirmație a fost evaluată pe o scară de la 1 la 5, unde: 1 denotă "Total dezacord", 2 — "Dezacord", 3 — "Nehotărât", 4 — "De acord" și 5 — "Total de acord".

Este important de remarcat faptul că datele oferă doar o imagine de ansamblu a percepțiilor respondenților, fără a oferi motivele care stau la baza opiniilor acestora. Datele sugerează o gamă largă de atitudini față de drone, indicând un amestec de entuziasm, îngrijorare și incertitudine în rândul participanților. Pentru a însoți un vehicul personal, dimensiunea adecvată pentru o dronă ar fi mică sau foarte mică, în jur de 250 g până la 500 g sau mai puțin de 250 g, asigurând portabilitatea și manevrabilitatea.

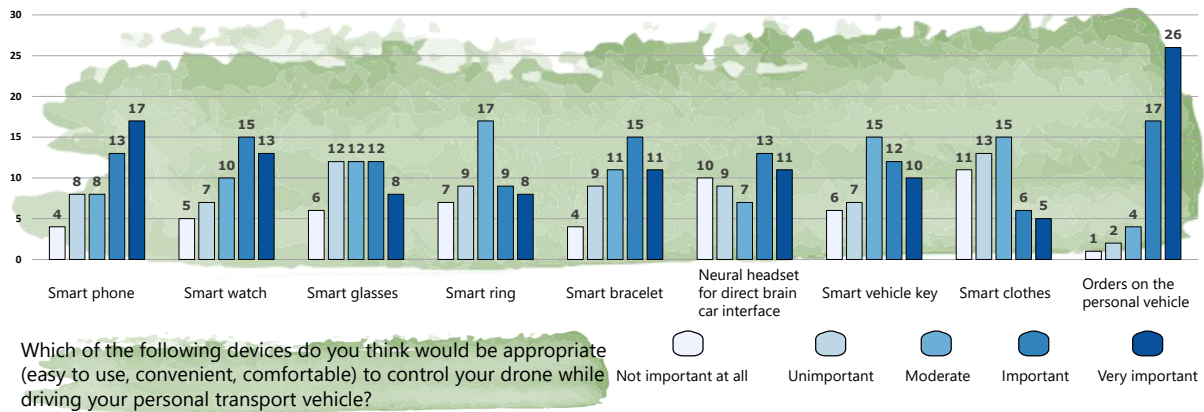
În ceea ce privește dispozitivele potrivite pentru a controla drona, ceasurile inteligente, telefoanele inteligente și ochelarii inteligenți par a fi cele mai potrivite opțiuni, deoarece aceste dispozitive pot fi ușor accesibile și convenabile pentru utilizator.

## Implicații ale Cercetării pentru Interacțiunile Dronă-Vehicul

Rezultatele prezentate în secțiunile anterioare indică faptul că cercetările privind interacțiunea dronă-vehicul sunt limitate, concentrându-se exclusiv pe vehiculele de tip autocar. În plus, toate articolele examinate în cadrul SLR nu au avut participanți în cadrul studiilor și nu au implicat dispozitive de interacțiune cu drona. Pe baza acestor constatări, sunt formulate mai multe direcții de promovare a lucrărilor privind interacțiunea dronă-vehicul, care cuprind cele patru întrebări (RQ<sub>1</sub> - RQ<sub>4</sub>) ridicate la începutul capitolului. Aceste implicații ale cercetării (RI<sub>1</sub>-RI<sub>4</sub>) vizează diversificarea modalităților de interacțiune cu drona. Structura acestor direcții se învâрте în jurul următoarelor categorii: (1) Motivația de a avea o dronă de însoțire, (2) Contextul în care va fi utilizată drona, (3) Modalități de interacțiune cu drona și (4) Dispozitive pentru interacțiunea cu drona. Fiecare categorie este dezvoltată pentru a identifica oportunitățile de cercetare viitoare.

**RI<sub>1</sub>: Motivația de a avea o dronă însoțitor** —RSL s-a axat pe interacțiunea dronă-vehicul a arătat că s-a pus un mare accent pe autovehicule. În ceea ce privește dispozitivele portabile, a arătat un singur articol științific care a folosit ochelari inteligenți și un controler [142]. Nu au fost găsite alte categorii de dispozitive portabile, cum ar fi inelele inteligente sau ceasurile inteligente. Este foarte ușor de observat lipsa de proporții pentru a aborda dispozitivele portabile. Din păcate, această stare a împiedicat acumularea de cunoștințe în ceea ce privește modul în care conducătorii auto operează aceste dispozitive.

**RI<sub>2</sub>: Contextul în care va fi utilizată drona** —Această direcție este examinată prin concentrarea asupra răspunsurilor primite de la participanții la studiu. Aceștia și-au exprimat o



**Figure 4.10. Dispozitive adecvate pentru a fi utilizate în contextul interacțiunii dronă-vehicul.**

preferință puternică pentru ca contextul în care drona servește drept însoțitor să fie centrat pe prevenirea și conștientizarea situației traficului rutier. În consecință, prevenirea accidentelor apare ca fiind sugestia principală din partea participanților la studiu. În plus, participanții și-au exprimat preferința pentru accesul la informații despre trafic, inclusiv actualizări în timp real cu privire la blocajele din trafic, la deplasarea vehiculelor cu prioritate în trafic (de exemplu, poliția, ambulanța) și la prezența obstacolelor în direcția de deplasare. Participanții subliniază, de asemenea, importanța primirii de informații despre pietonii care traversează strada, în special în zonele cu vizibilitate limitată, unde șoferul ar trebui să fie avertizat de intenția pietonului de a păși pe carosabil.

**RI<sub>3</sub>: Modalități de interacțiune cu drona** —În urma analizei literaturii de specialitate a fost identificată o mare lacună în ceea ce privește modul în care un șofer poate interacționa cu drona. Singura modalitate de interacțiune existentă a fost realizată cu ajutorul unui controlor [142]. Pentru a explora mai multe modalități de interacțiune în lucrările viitoare, în studiul prezentat în acest capitol s-a pus accentul pe preferințele utilizatorilor, iar modalitatea de interacțiune considerată cea mai potrivită a fost raportată. Prin intermediul studiilor și experimentelor, ar putea fi determinată cea mai potrivită modalitate de interacțiune în contextul interacțiunii dronă-vehicul. În urma analizei răspunsurilor participanților, am constatat că utilizarea comenzilor vocale ar fi cea mai potrivită modalitate de interacțiune (56%).

**RI<sub>4</sub>: Dispozitive de interacțiune cu dronele** —Utilizarea simultană a mai multor dispozitive portabile poate fi benefică pentru a maximiza utilitatea dronei în contextul însoțitorului. Cu toate acestea, analiza mea a identificat doar un singur tip de dispozitiv portabil menționat în literatura de specialitate, și anume o pereche de ochelari inteligenți utilizați pentru a primi streaming video de la dronă. Conform punctului de vedere al participanților, cel mai potrivit dispozitiv pentru interacțiune ar permite ar fi atașat la vehiculul personal (26%). Ulterior, telefonul inteligent s-a clasat în topul preferințelor (17%), iar ceasul inteligent a urmat cu 13%. În cadrul studiului, am propus o serie de dispozitive, inclusiv inele inteligente, brățări inteligente, căști neuronale, chei inteligente pentru vehicule și haine inteligente, care au prezentat un interes mai scăzut în rândul participanților. Alegerile făcute de participanți s-au axat în principal pe dispozitive pe care le foloseau deja în mod frecvent, cum ar fi telefonul inteligent.

### 4.3 Radiance: Concept și Sistem Interactiv de Împrumut a Dronelor în Spații Publice

În această secțiune, prezint un sistem care permite gestionarea unei flote de drone cu ajutorul unui dispozitiv de măsurare manuală. Arhitectura software oferă un control extins asupra diferitelor comenzi și funcționalități care pot fi efectuate de o dronă, inclusiv combinarea comenzilor pentru diferite sarcini și manevre acrobatiche. Prin încorporarea interacțiunii naturale prin intermediul gesturilor mâinii, sistemul facilitează controlul mai multor drone atât în spații publice, cât și în spații private, permițând utilizatorilor să împrumute, să controleze și să controleze dronele în timp ce interacționează cu alți utilizatori de drone. În ceea ce privește controlul dronelor, sistemul oferă trei moduri de interacțiune: gesturi tactile, gesturi în aer și o combinație a celor două. Deși primele două moduri au gesturi predefinite și comenzi programate de dezvoltatorul aplicației, utilizatorii au flexibilitatea de a-și înregistra propriile gesturi. În plus, sistemul oferă feedback de la dronă, inclusiv streaming video afișat pe smartphone-ul utilizatorului. Arhitectura software denumită Radiance facilitează împrumutul, împrumutul și controlul dronelor prin interacțiuni naturale.

#### 4.3.1 Context

Prezența dronelor mici și ușoare este din ce în ce mai des observată în mediile urbane, unde sunt folosite în scopuri video și fotografice [176]. În plus, aceste drone își găsesc aplicații în medii profesionale [123]. Pe măsură ce autonomia și acceptarea publică/privată a dronelor cresc, necesitatea de a le controla de la distanță prin interacțiuni naturale devine importantă. Au fost propuse diverse metode de interacțiune, inclusiv gesturi cu mâna sau cu întregul corp [36, 57, 139, 140]. Dronile tactile [29] au fost dezvoltate pentru a promova o interacțiune fizică mai apropiată între indivizi și drone. Lieser *et al.* [120] explorează replicarea mișcărilor de dans ale unei persoane și transmiterea lor către o dronă, permițând dronă să imite și să răspundă la mișcărilor de dans, permițând în același timp atingerea fizică. Investigațiile au explorat, de asemenea, factori precum forma, viteza, mișcarea și poziția dronelor [54, 207, 211], facilitând și mai mult IOD și accelerând acceptarea dronelor în spațiile publice și private.

#### 4.3.2 Implementarea Tehnică

Obiectivul principal al Radiance este de a permite utilizatorilor finali să interacționeze cu dronile împrumutate în moduri personalizate. Pentru a atinge acest obiectiv, arhitectura software propusă încorporează diverse *tehnici de manipulare, considerații de calitate și proprietăți contextuale*. Două **Tehnici de Manipulare** (TM<sub>1</sub> până la TM<sub>2</sub>) implementează fluxul de procesare a evenimentelor în arhitectura software Radiance:

TM<sub>1</sub>: **Sisteme de răspuns la evenimente** utilizează o tehnică pentru a defini sintaxa dialogului cu mai multe fire [88]. Această tehnică gestionează eficient comunicarea între evenimente.

TM<sub>2</sub>: **Asincronismul** de procesare a datelor este o tehnică pentru a gestiona comportamentul imprevizibil al timpului de răspuns [62] al pachetelor de date trimise prin rețele Wi-Fi, care poate fi afectat de problemele de congestie a pachetelor de date [143].

Patru **Proprietăți Calitate** (de la PC<sub>1</sub> la PC<sub>4</sub>) sunt utilizate pentru Radiance, cu referire la cerințele și evaluarea calității software (SQuaRE), conform standardelor ISO/IEC 25000 [164]:

- PC<sub>1</sub>: **Adaptabilitatea** este capacitatea sistemului de a se adapta eficient la noile modificări care apar în hardware sau software, cum ar fi adăugarea de fluxuri de date de la alte tipuri de drone cu conexiuni specifice sau eliminarea modulelor învechite. Caracteristica esențială a Radiance este adaptabilitatea, deoarece trebuie să fie capabil să se conecteze la mai multe drone de tipuri diferite.
- PC<sub>2</sub>: **Modularitatea** este măsura gradului în care schimbările care au loc într-o componentă a arhitecturii sunt determinate de schimbările din altă componentă. Modularitatea este o altă componentă cheie a Radiance, deoarece facilitează integrarea mai multor dispozitive de intrare/ieșire. Practic, pentru a integra un nou dispozitiv de măsurare manuală, modificările se vor face doar într-o singură componentă a arhitecturii software Radiance.
- PC<sub>3</sub>: **Flexibilitatea** este capacitatea sistemului de a fi utilizat în mod fiabil cu modificări minime ale software-ului, în contexte care nu sunt specificate în cerințele inițiale, fără nicio intervenție externă sau cu o intervenție externă limitată. De exemplu, o nouă funcționalitate ar putea fi oferită prin adăugarea unui alt dispozitiv de măsurare a mâinii. În acest caz, operatorul dronei poate utiliza gesturi făcute cu ambele mâini sau poate interacționa cu fiecare mână cu un swarm individual. Radiance trebuie să fie în mod necesar flexibil pentru a putea conecta și controla o gamă largă de drone.
- PC<sub>4</sub>: **Interoperabilitatea** este capacitatea sau gradul în care două sau mai multe sisteme independente lucrează împreună pentru a atinge obiective comune, cum ar fi schimbul de date. Interoperabilitatea poate fi înțeleasă ca fiind funcționalitatea eficientă a mai multor dispozitive inteligente care alcătuiesc un mediu eterogen.

Patru **Proprietăți Contextuale** (PC<sub>1</sub> până la PC<sub>4</sub>) sunt necesare pentru capacitatea arhitecturii Radiance de a permite interacțiuni care împrumută și controlează dronele prin atingere, mișcare și gesturi definite de utilizator, după cum urmează:

- PC<sub>1</sub>: **Protocoale bazate pe web** utilizează protocoale comune de internet pentru transmiterea datelor, cum ar fi WiFi și Bluetooth. Acesta este un aspect important pentru a facilita conectarea diferitelor dispozitive, care utilizează același protocol de internet pentru colectarea datelor.
- PC<sub>2</sub>: **Tehnologie open-source**, Radiance are la bază o tehnologie deschisă pentru a stimula și încuraja munca în ceea ce privește interacțiunea utilizatorului cu dronele împrumutate.
- PC<sub>3</sub>: **Orientarea către mediul inteligent** se referă la capacitatea sistemului de a sprijini interacțiunile dintre aspectele cheie ale mediului inteligent: dispozitive, oameni, utilizatori și sisteme în spațiul public.
- PC<sub>4</sub>: **Bazat pe Java**, se referă la utilizarea limbajului Java, fiind al patrulea limbaj clasat în topul Tiobe Programming Community 2023<sup>15</sup> care a fost utilizat în mod implicit în toate modulele aplicației. Conform unui alt sondaj realizat în 2023 de Stack Overflow, Java ocupă locul patru în rândul dezvoltatorilor profesioniști și al tuturor respondenților. Având în vedere că Java este cel mai utilizat limbaj orientat pe obiecte în rândul dezvoltatorilor de aplicații mobile și, prin urmare, Radiance se aliniază la tendința de popularizare în creștere pentru a facilita ca acces spre dezvoltarea ulterioară a arhitecturii propuse.

<sup>15</sup><https://www.tiobe.com/tiobe-index/>

Proiectarea Radiance a fost ghidată de criteriile funcționale de separare a straturilor OP<sub>2</sub> și de adaptare a straturilor OP<sub>1</sub>. În plus, a fost construită pe baza utilizării evenimentelor (TM<sub>1</sub>), unde *Emițător* declanșează evenimente, le împachetează și le transmite. Mesajele sunt procesate și transmise către *Centrul de control*, care interpretează și clasifică datele, determină comanda adecvată pe baza logicii interne și întreprinde acțiunile necesare pentru a transmite comanda. Ulterior, datele ajung la *Receptor*, care corespunde dronei împrumutate dorite, permițând, în același timp, opțiunea de a trimite mesaje către receptori terți, cum ar fi alte drone din spațiul public. În Radiance, o transmisie de comandă constă în datele de la dispozitivul de augmentare a mâinii, precum și o descriere a datelor pentru fiecare deget implicat în executarea gestului.

### **Emițător**

este componenta care provoacă modificări în arhitectură prin notificarea acesteia sub forma unui eveniment. Emițătorul, care funcționează ca dispozitiv de intrare, este echipat cu senzori care captează accelerațiile pentru fiecare deget și include un serviciu software integrat care facilitează transmiterea datelor prin Bluetooth. Evenimentele, cuprind orice modificări fizice relevante ale stării emițătorului, cum ar fi apăsarea butonului de conectare sau executarea unui gest. În plus, evenimentele pot fi, de asemenea, generate de arhitectura software în sine, în scopul depanării și al testării simulării. Fiecare strat din Radiance este proiectat în mod izolat, fără a necesita cunoașterea particularităților altor componente PC<sub>2</sub>.

### **Centrul de control**

este cea mai importantă componentă care înglobează toate funcționalitățile Radiance. Ea servește ca intermediar între emițător și receptori. Aceasta primește mesaje de la emițător, care constau în fluxul de date care conține valorile accelerației pentru fiecare deget, și trimite mesaje către receptoarele conectate, furnizând diferite tipuri de evenimente, cum ar fi comenzi de control.

### **Receptor**

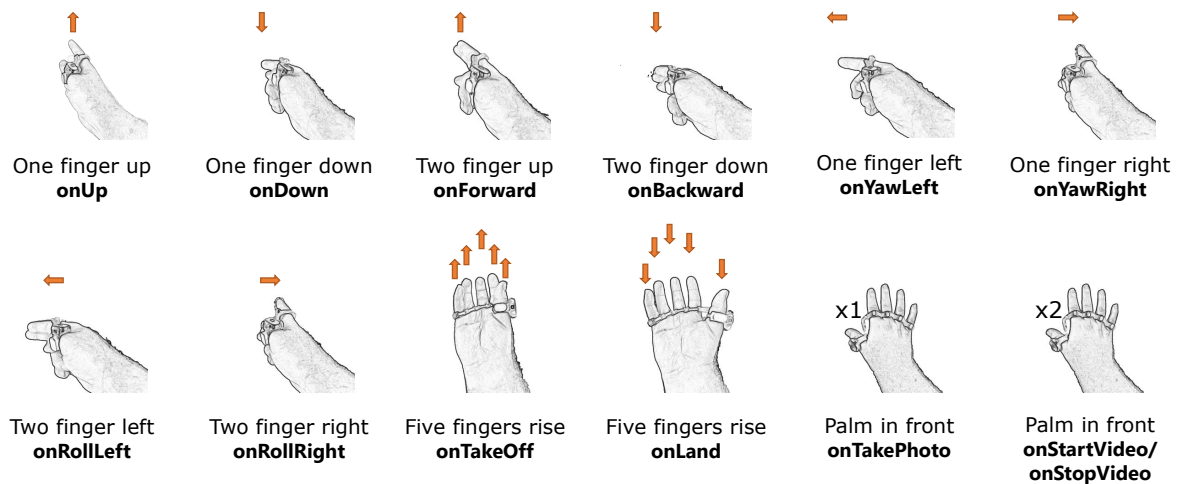
este orice dronă din spațiul public care primește evenimente generate de emițător și transmise de motorul de control. Între componenta Receptor și nucleul Radiance se stabilește o conexiune Wi-Fi, care permite recepționarea comenzilor și transmiterea de imagini și informații de stare (e.g., nivelul bateriei, streaming video). Pentru a evita congestia rețelei și pentru a asigura un comportament neambiguu al dronei, se evită transmiterea simultană a mai multor evenimente.

## **4.3.3 Criterii de Proiectare a Gesturilor pentru Radiance**

Această secțiune se concentrează pe cartografierea gesturilor și asocierea acestora cu comenzile corespunzătoare pentru drone. Înainte de a asocia comenzile cu gesturile, a fost efectuată o analiză preliminară care abordează în mod specific contribuțiile aduse la controlul dronelor prin intermediul dispozitivului de augmentare a mâinii. Eforturile ulterioare de implementare s-au concentrat asupra motorului de control, cu accent pe identificarea claselor responsabile de transmiterea comenzilor către dronă, inclusiv a procedurilor de împrumut și de decolare.

### **Gesturi în Aer**

Pilotarea dronelor în spațiul public prin intermediul Radiance, cu ajutorul mișcărilor degetelor în aer, reprezintă o abordare nouă a împrumutului și pilotării dronelor. Motorul de control Radiance este responsabil de procesarea caracteristicilor transmise prin Bluetooth de la emițător, care în acest caz este dispozitivul de măsurare a mâinilor Tap Strap 2. Datele, care constau în



**Figure 4.11.** În această figură este prezentat dicționarul de gesturi în aer, efectuate cu mâna pe dispozitivul de măsurare a mâinii cu cinci inele.

accelerații ale degetelor, sunt organizate în format JSON și procesate de diverși algoritmi. Clasificarea gestuală se realizează cu ajutorul algoritmilor Dynamic Time Warping implementați în dispozitivul de augmentare a mâinii.

### Gesturi Tactile

Atunci când se controlează drona prin gesturi tactile, dispozitivul de augmentare a mâinii trebuie să se sprijine pe o suprafață plană, cum ar fi un birou, o bancă sau corpul operatorului. Acest lucru asigură faptul că gesturile sunt executate numai prin mișcări ferme ale degetelor. Atingerile ferme ale degetelor pot fi asociate cu mișcările tastaturii virtuale. Ca semnal că sistemul este pregătit să primească gesturi, operatorul simte o vibrație scurtă pe degetul mare. Figura 4.12 ilustrează gesturile utilizate în acest mod de operare și comenzile corespunzătoare acestora.

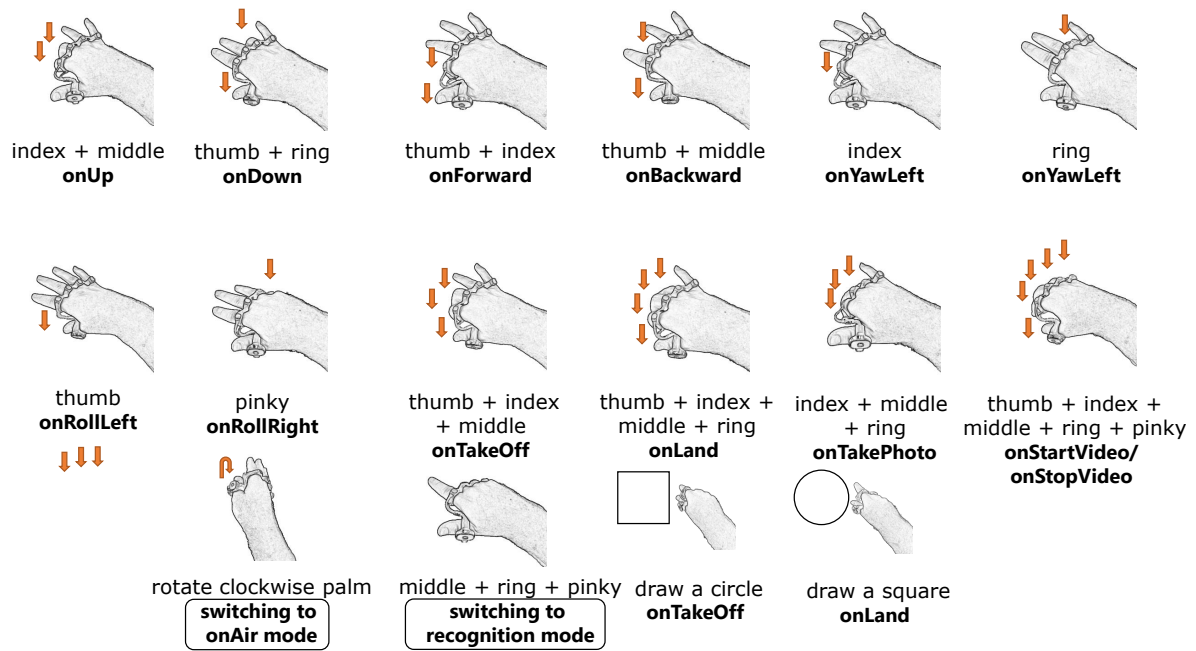
### Gesturi Dinamice

Diferite analize efectuate în domeniul IOD au dus la constatarea faptului că dicționarele de gesturi existente pentru controlul dronelor sunt limitate și implică în principal mișcări simple ale mâinilor, mai degrabă decât gesturi ale întregului corp [176]. De exemplu, Aerostack, o arhitectură software interfațată cu un computer, oferă un set cuprinzător de 18 moduri de interacțiune, ceea ce face ca acesta să fie unul dintre cele mai extinse seturi de gesturi pentru controlul dronelor [163]. În acest context, sistemul Radiance permite executarea de gesturi folosind un singur deget, întreaga mână sau chiar mișcări ample ale brațului, permițând operatorilor să creeze noi comenzi.

#### 4.3.4 Limitări și Dezvoltări Viitoare

Versiunea actuală a arhitecturii software Radiance permite utilizatorilor să împrumute drone din spații publice. Acest lucru se realizează prin utilizarea unui singur dispozitiv de măsurare manuală Tap Strap 2. Deși sistemul suportă conectarea unui al doilea dispozitiv de măsurare manuală, procesarea datelor pentru această funcție nu a fost încă implementată. Este important de reținut că Radiance poate stabili conexiuni cu drone de orice dimensiune din gama Parrot. Utilizatorii pot controla dronele atât prin intermediul interfeței, cât și prin intermediul





**Figure 4.12. Dicționarul de gesturi tactile pentru dispozitivul de augmentare a mâinii cu cinci inele. Descrierea fiecărui gest include atât execuția gestului, cât și comanda pe care drona o va executa ca răspuns la gestul respectiv.**

dispozitivului de măsurare manuală, care oferă trei modalități de intrare. Deși este posibil să se extindă sistemul pentru controlul simultan al mai multor drone, merită luat în considerare faptul că pilotarea unei singure drone prezintă deja provocări semnificative pentru utilizator. Controlul mai multor drone în același timp ar fi și mai dificil. Extinderile viitoare vor lua în considerare alte scenarii.

## 5 INTERACȚIUNEA OM-DRONĂ ÎN MEDII DE ASISTENȚĂ INTELIGENTE

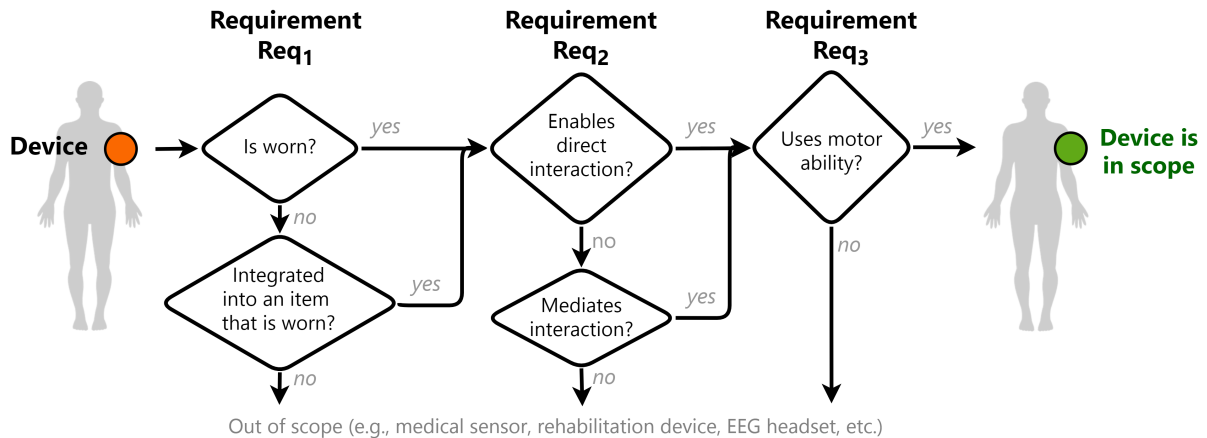
**C**APITOLUL anterior a oferit o imagine de ansamblu a IOD în mediile inteligente în aer liber, analizând în mod specific utilizarea dronelor de însoțitori personali. Această secțiune va muta accentul pe mediile de asistență și va aborda aplicațiile IOD pentru utilizatorii cu dizabilități. De exemplu, lucrările anterioare au studiat utilizarea dispozitivelor portabile care pot detecta mișcările ochilor sau gesturile faciale [205]. Aceste dispozitive sunt concepute pentru a asista persoanele cu deficiențe motorii, permițându-le să controleze diverse aplicații, roboți și scaune electrice.

### 5.1 Tehnologii Portabile pentru Utilizatorii cu Deficiențe Motorii: Revizuire sistematică, Inventar și Implicații pentru Cercetare

Dispozitivele portabile, cum ar fi ceasurile inteligente, dispozitivele de urmărire a fitness-ului, ochelarii inteligenți și altele, devin din ce în ce mai răspândite pe măsură ce consumatorii le adoptă și le integrează din ce în ce mai mult în viața lor [24, 122, 134, 216]. De exemplu, Zhou *et al.* [216] a prezentat un studiu și un set de date privind practicile actuale de adaptare a interfeței de utilizare pentru dispozitivele portabile. Autorii au extras modele de interfață utilizator dintr-o colecție de 101 aplicații Android populare care au atât versiuni pentru telefon, cât și pentru ceasuri. Apoi au adnotat manual traducerea fiecărui element UI și a fiecărui ecran de aplicație de pe telefon pe dispozitivul portabil. Articolul a discutat diverse strategii de adaptare și oferă orientări de proiectare bazate pe tendințele identificate. Potrivit unui raport IDC [93] din septembrie 2020, livrările globale de dispozitive portabile au fost de 345 de milioane de unități în 2019 sunt așteptate să ajungă la 637 de milioane de unități în 2024.

Contribuțiile acestui capitol sunt următoarele:

- (1) Rezultatele primului IOD realizat pe tema interacțiunilor portabile pentru utilizatorii cu deficiențe motorii. Constatările arată că doar un număr limitat de lucrări științifice au fost publicate pe această temă.
- (2) Un inventar de 92 de interacțiuni pentru dispozitive portabile inteligente, care cuprinde comenzi de gesturi executate cu degetele, mâinile, capul, umerii și picioarele. Acest inventar cuprinzător provine dintr-o colecție de 57 de articole care discută diverse dispozitive inteligente, cum ar fi ceasurile inteligente, ochelarii inteligenți, afișajele montate pe cap, dispozitivele de urmărire a activității fizice, căștile de urechi, căștile, mănușile de date și brățările.
- (3) Implicații pentru cercetările viitoare în domeniul calculatoarelor portabile accesibile și al utilizatorilor cu deficiențe motorii. Ca parte a cadrului WISE (Dispozitive și prototipuri portabile, Tehnici de interacțiune, Studii cu utilizatori cu deficiențe motorii și Extinderea către alte dispozitive și medii inteligente), sunt identificate patru direcții



**Figure 5.1.** Diagrama de flux care specifică domeniul de aplicare privind dispozitivele purtabile interactive și utilizatorii cu deficiențe motorii; a se vedea cerințele Req<sub>1</sub>, Req<sub>2</sub> și Req<sub>3</sub> descrise în text.

pentru a sistematiza viitoarele investigații științifice și dezvoltări practice în domeniul interacțiunilor accesibile cu dispozitive purtabile.

### 5.1.1 Domeniu de Aplicare

Definiția operațională a *interacțiuni purtabile* este prezentată pentru a delimita cu precizie domeniul de aplicare al analizei literaturii. Este esențial să se stabilească această delimitare, deoarece dispozitivele purtabile servesc în diverse scopuri și oferă o gamă largă de funcționalități, cum ar fi urmărirea fitness-ului și a sănătății [34, 131, 132], notificări [74, 168], navigare [59, 68], jocuri [201], calculatoare personale [66, 144], și accesorii de modă [99, 167]. Subiectul prezentat de Juhlin *et al.* [99] servește drept motivație pentru a explora potențialul de a combina ”moda” cu generarea de servicii. În acest context, examinarea dispozitivelor purtabile ca dispozitive care au fost concepute pur și simplu pentru a fi purtate [7, 91] sau încorporate în articole de îmbrăcăminte și accesorii [169] reprezintă o definiție prea largă pentru domeniul de aplicare al acestui RSL, deoarece nu surprinde partea de *interacțiune* de fapt, o astfel de definiție largă cuprinde toate dispozitivele, senzorii și electronice care, recunoscându-se că sunt purtabile, nu necesită neapărat o interacțiune din partea utilizatorului/ purtătorului, cum ar fi senzorii medicali [17, 215].

**Req<sub>1</sub>:** Dispozitivul este conceput pentru a fi purtat de către utilizator sau integrat într-un obiect care este purtat.

**Req<sub>2</sub>:** Interacțiunea și controlul direct al dispozitivului în sine, precum și interacțiunea mediată, în care dispozitivul servește ca mijloc de a controla altceva, sunt aspecte esențiale ale dispozitivului.

**Req<sub>3</sub>:** Dispozitivul necesită mișcarea fizică a unei părți a corpului uman pentru a pune în aplicare interacțiunea.

Domeniul de aplicare al investigației este specificat cu precizie de cerințele de la Req<sub>1</sub> la Req<sub>3</sub>, care, prin amplexarea lor, cuprind diverse dispozitive purtabile (Req<sub>1</sub>), precum și interacțiuni (Req<sub>2</sub>) care necesită abilități motorii (Req<sub>3</sub>). Diagrama de flux din Figura 5.1 oferă o reprezentare vizuală a acestor cerințe. Trebuie remarcat faptul că, în cazurile în care deficiențele

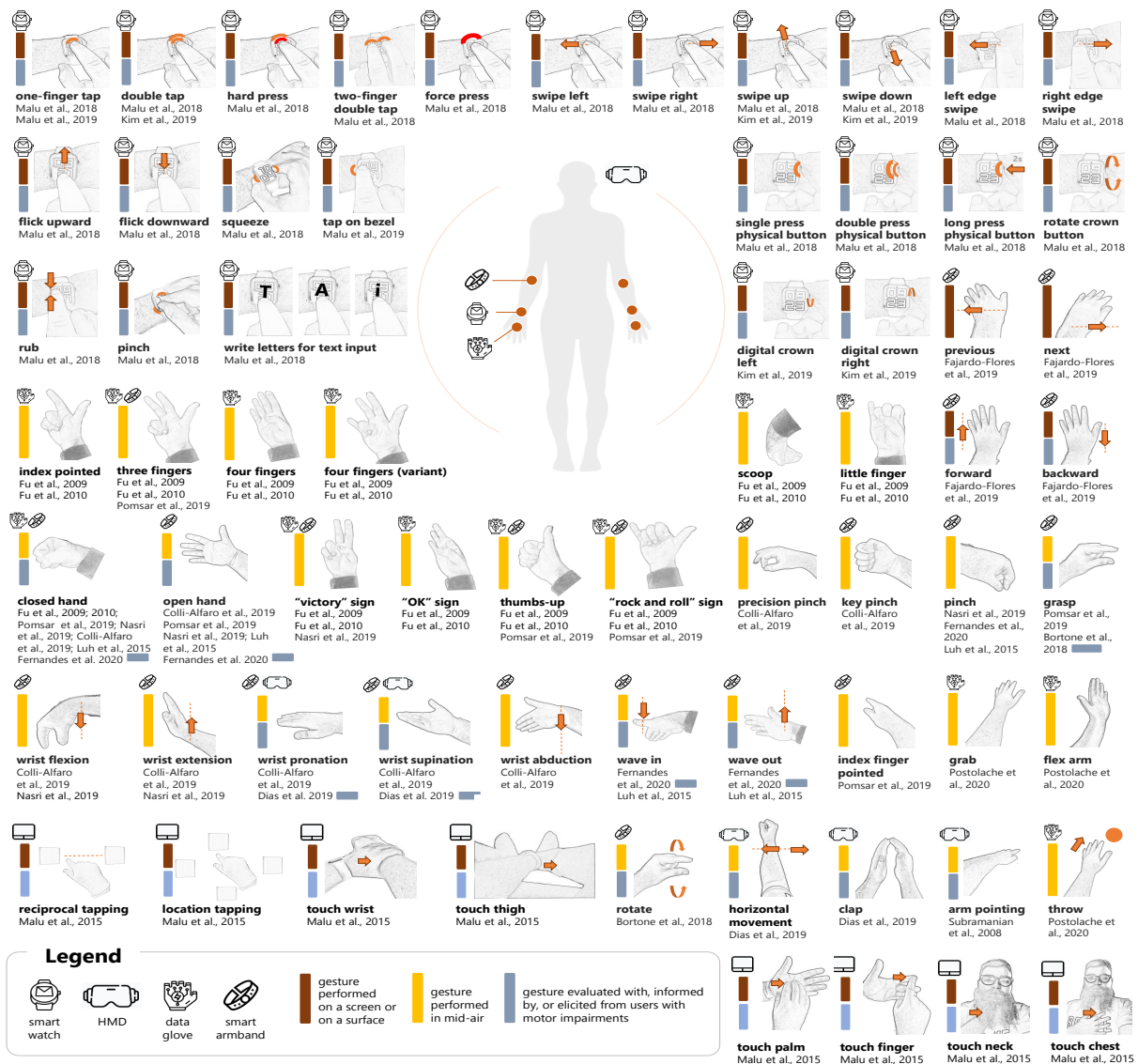


Figure 5.2. Interacțiuni cu dispozitive portabile realizate cu degetul, mâna și încheietura mâinii.

motorii nu au afectat producția de vorbire, comenzile vocale pot fi, de asemenea, considerate ca o formă de interacțiune. Un exemplu în acest sens este întâlnit în cazul bolilor neurodegenerative, unde modificările funcționale ale sistemului respirator pot afecta producția de vorbire [27].

### 5.1.2 Rezultate

Sunt prezentate **rezultatele** unei meta-analize a 57 de articole pe tema interacțiunilor portabile și a utilizatorilor cu deficiențe motorii. Ulterior, accentul este pus pe examinarea contribuțiilor acestor articole, a categoriilor de dispozitive portabile și a părților specifice ale corpului pentru care au fost proiectate dispozitivele portabile, cu scopul de a prezenta o imagine de ansamblu cuprinzătoare a acestui domeniu de cercetare.



**Figure 5.3. Patru direcții pentru interacțiuni purtabile accesibile pentru utilizatorii cu deficiențe motorii.**

### 5.1.3 Un Inventar al Interacțiunilor Purtabile pentru Utilizatorii cu Deficiențe Motorii

În total, din cele 57 de articole identificate în RSL au fost extrase 152 de comenzi gestuale, care cuprind 92 de gesturi distincte. Aceste gesturi cuprind diverse metode de introducere a datelor, inclusiv introducerea prin atingere și atingere [58, 106], introducerea multitouch [128], apăsarea butoanelor fizice de pe dispozitiv [89, 202], gesturi de apăsare [129, 130], gesturi cu mâna liberă și în aer [58, 125, 141], mișcarea capului [83, 110, 202, 203], intrarea privirii ochilor [202], gesturile umărului [92], gesturile feței [205], și gesturile picioarelor [153, 158]. Aceste informații sunt structurate sub forma unui set cuprinzător de interacțiuni clasificate în funcție de părțile specifice ale corpului implicate în interacțiune.

Pentru a atinge acest obiectiv, setul este împărțit în două părți: (i) *interacțiunile efectuate cu mâna*. și (ii) *interacțiuni efectuate cu alte părți ale corpului*, cum ar fi capul sau picioarele. În prima categorie, au fost identificate 67 de gesturi distincte, reprezentând poziții și gesturi ale mâinii efectuate în aer (*e.g.*, semnul victoriei [63, 64, 141] sau degetul mare în sus [155]), pe dispozitiv (*e.g.*, dubla atingere [106] sau apăsarea în forță [128] pe ecranul tactil, rotirea butonului coroană [128] al smartwatch-ului), mișcările încheieturii mâinii [46, 53, 141] și gesturile pe corp detectate de touch pad-uri plasate în diferite locuri pe corp [130].

Pe lângă introducerea prin gesturi, comenzile vocale și introducerea prin privirea ochilor au fost identificate ca fiind două modalități de implementare a interacțiunilor cu dispozitivele purtabile, fiecare reprezentând 13,0% în articolele examinate în RSL. Cu toate acestea, spre deosebire de comenzile prin gesturi, care au fost documentate în mod explicit în majoritatea lucrărilor care le-au implementat, interacțiunile care utilizează privirea în ochi și vocea au fost mai puțin detaliate. În unele cazuri, acestea au fost pur și simplu menționate ca modalități de intrare disponibile. Urmărirea privirii ochilor a fost utilizată sub formă de comenzi direcționale [204], efectuarea de selecții pe un ecran la distanță [158] și cartografierea mișcărilor privirii ochilor pentru a controla un alt dispozitiv, cum ar fi dirijarea unui robot [81].

### 5.1.4 Implicații de Cercetare pentru Interacțiunile Purtabile Accesibile

Constatările relevă o lipsă de cercetări privind interacțiunile purtabile accesibile pentru utilizatorii cu deficiențe motorii, cu un număr limitat de categorii de dispozitive purtabile și un accent predominant pe introducerea de gesturi cu mâna (41,6%). Dintre articolele examinate în

RSL, aproximativ 45,6% nu au efectuat studii de utilizator sau nu au inclus persoane cu deficiențe motorii ca participanți la studiu. Aceste constatări impun mai multe direcții de cercetare privind interacțiunile adaptate utilizatorilor cu deficiențe motorii. Parcursul WISE cuprinde (1) Dispozitive portabile și prototipuri, (2) Modalități de intrare și tehnici de interacțiune, (3) Studii și evaluări care implică utilizatori cu deficiențe motorii și (4) Extensii, oferă un cadru structurat pentru aceste direcții. O prezentare generală a acestor domenii de cercetare poate fi găsită în Figura 5.3, în timp ce oportunitățile pentru lucrări viitoare sunt identificate în cadrul fiecărei categorii și discutate în continuare.

## 5.2 Tehnologie Asistivă care Permite Fuziunea Inteligenței Ambientale și a Realității Mixte pentru Persoanele cu Dizabilități Motorii

Dispozitivele de realitate virtuală și portabile pe cap au beneficiat de o atenție semnificativă, reprezentând 20,2% din totalul dispozitivelor portabile raportate în literatura de specialitate, conform RSL prezentat în secțiunea anterioară. Prin urmare, a fost realizată o meta-analiză a contribuțiilor științifice care a inclus sisteme și aplicații dezvoltate special pentru persoanele cu dizabilități motorii și/sau mobilitate limitată, situate în sinergia mediilor Inteligență Ambientală (IA) și Realitate Mixtă (RM). Metodologia a implicat efectuarea unei meta-analize a șaptesprezece articole eligibile care au utilizat tehnologia IA și RM pentru aplicații care vizează utilizatorii cu dizabilități motorii și/sau mobilitate limitată. Constatările analizei au relevat un total de 35 de contribuții distincte la articolele analizate, cu o medie de 2,1 contribuții pe articol (SD=0,9, Mdn=2).

### 5.2.1 Introducere

Persoanele cu deficiențe motorii se confruntă cu dificultăți atunci când utilizează dispozitive, aplicații, sisteme și tehnologii informatice care nu au fost proiectate ținând cont de accesibilitate. Lucrările anterioare au documentat provocările în materie de accesibilitate pentru paradigmele de calcul desktop [60, 157], mobil [100, 194], și pentru paradigmele de calcul portabile [34, 128] și pentru diverse modalități de interacțiune.

### 5.2.2 Domeniu de Aplicare

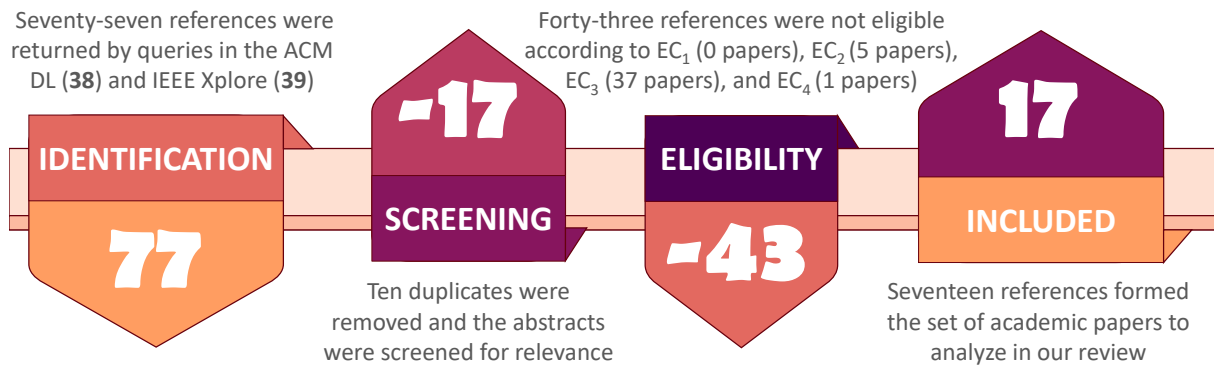
Trei obiective sunt vizate prin examinarea sistemelor care combină atributele mediilor IA și RM:

- (1) Înțelegerea contribuțiilor științifice care se adresează persoanelor cu deficiențe motorii în medii inteligente în care se întrepătrund domeniile fizic și virtual,
- (2) Caracterizarea acestor contribuții din perspectiva IA [48] și a atributelor lumilor RM [182],
- (3) Identificarea oportunităților pentru activitatea viitoare în domeniul tehnologiei de asistență care integrează sinergia dintre IA și RM.

După aplicarea acestor criterii, s-a obținut un set final de șaptesprezece lucrări relevante pentru domeniul de aplicare la intersecția dintre IA și MR.

### 5.2.3 Rezultate

În această secțiune, sunt raportate rezultatele meta-analizei celor șaptesprezece articole eligibile, care au combinat tehnologia IA și RM pentru aplicații destinate persoanelor cu dizabilități motorii și/sau mobilitate limitată.



**Figure 5.4. Diagrama PRISMA [118] cu rezultatele etapelor de identificare, screening, eligibilitate și includere în RSL a articolelor cu contribuții de cercetare la intersecția dintre IA și RM.**

### Atribute IA

Toate sistemele au respectat criteriile *sensibil, receptiv, și adaptiv* fiind **atribute IA**. Atributul *omniprezent* a fost identificat în unsprezece lucrări (11/17=64.7%) [22, 32, 33, 76, 103, 133, 159, 178, 179, 214, 217], urmat de *informații* (41.2%) [33, 70, 76, 103, 133, 159, 179] și respectiv *tehnologie transparentă* (23.5%) [6, 38, 56, 90]. De exemplu, Sawssen *et al.* [6] a dezvoltat o aplicație numită ARSAWP (Augmented Reality System for the Assistance of Wheelchair People) care utilizează ochelari inteligenți cu tehnologie AR. Obiectivul principal al acestei aplicații a fost acela de a ajuta utilizatorii de scaune cu rotile să navigheze în medii interioare și exterioare. În general, sistemele au avut între 3 și 6 atribute IA (M=4, 3, SD=0, 6, Mdn=4).

### Atribute RM

Informații referitoare la *numărul de medii, nivelul de imersiune, virtualitate și gradul de interacțiune* al sistemelor prezentate în RSL pentru a înțelege **atributele RM**, conform lui Speicher *et al.* [182]. *Numărul de medii* se referă la numărul de medii fizice și virtuale la care au acces utilizatorii, pentru care au fost luate în considerare mai multe medii atunci când utilizatorii au avut acces individual la același sistem [32, 56, 90, 126, 159].

### Număr de Utilizatori

În cele ce urmează, mă interesează **numărul de utilizatori** care pot utiliza sistemul în același timp [182]. Mai mulți utilizatori (6/17 = 35.3%) [32, 33, 56, 90, 126, 159] (*e.g.*, utilizatorul cu deficiențe motorii și terapeutul său) ar putea interacționa cu mediul AR/AM. În majoritatea cazurilor (11/17 = 64.7%) [6, 22, 38, 70, 76, 103, 133, 178, 179, 214, 217] doar utilizatorul cu mobilitate redusă a putut interacționa cu mediul AR/AM. De exemplu, Matsubara *et al.* [133] a introdus un cadru pentru un ajutor inteligent de mobilitate. Pentru a oferi asistență persoanelor cu limitări cognitive și/sau fizice, minimizând în același timp interferențele. Autorii au propus un model de acțiune a utilizatorului bazat pe Gaussian Process Regression (GPR) pentru a capta relațiile probabilistice și neliniare dintre acțiunea utilizatorului, starea mediului și intenția utilizatorului.

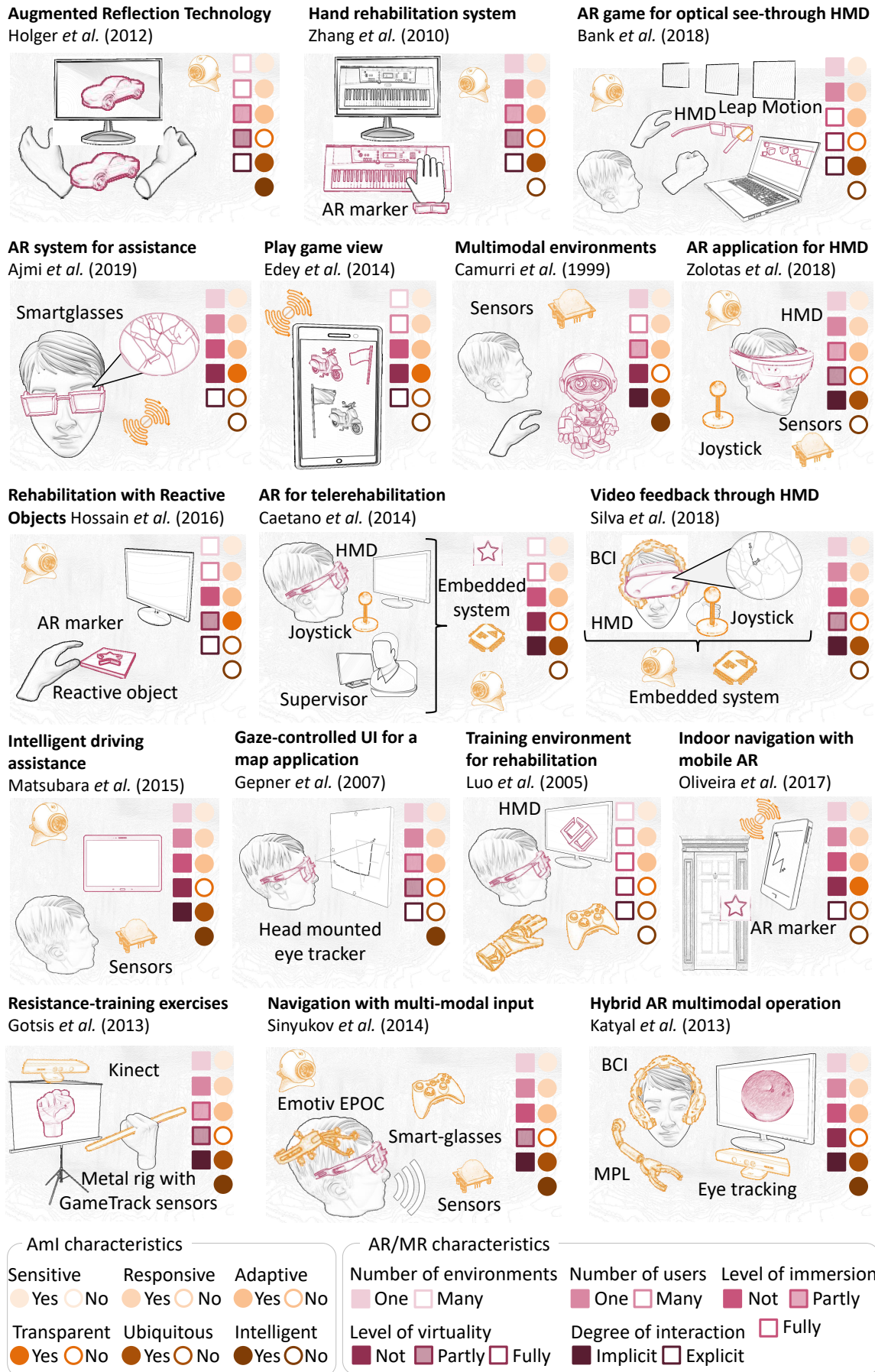


Figure 5.5. Ilustrații și caracteristici ale celor șaptesprezece lucrări examinate în cadrul analizei literaturii privind contribuțiile în sinergia dintre mediile IA și RM.



## Distribuția Dispozitivelor

**Dispozitivul** identificat cel mai frecvent în articolele care cuprind RSL a fost afișaje montate pe cap ( $5/17 = 29.4\%$ ) [22, 32, 126, 178, 217]. Diverse afișaje pentru care utilizatorul nu trebuie să poarte un dispozitiv pe cap, cum ar fi un PC de birou ( $4/17 = 22.2\%$ ) [33, 90, 159, 214], Tobii monitor ( $2/17 = 11.8\%$ ). Un interes pentru ecrane mari a fost constatat la Gepner *et al.* [70], care s-a concentrat în special pe interacțiunea cu ecrane mari și la Gotsis *et al.* [76], care a redat mediul RM/AR pe un videoproiector. Patru articole au folosit smartphone-uri [38, 56] și ochelari inteligenți [6, 179] pentru a oferi un mediu RM/AR, iar Cammuri *et al.* [33] a descris un mediu multimodal bazat pe un robot cu feedback auditiv.

### 5.3 WingsGuardian: Urmărire și Asistență cu Drona pentru Persoanele cu Deficiențe Motorii

Acest subcapitol prezintă WingsGuardian, o aplicație software nouă, concepută pentru a permite persoanelor cu mobilitate limitată să interacționeze cu dronele cu un nivel ridicat de autonomie. Utilizând sistemul de captare a mișcărilor Vicon Nexus, WingsGuardian facilitează urmărirea în timp real a utilizatorilor de scaune cu rotile și aterizarea dronelor în locații definite de utilizator în cadrul unor medii inteligente de asistență în interior. Aplicația utilizează tehnici de programare asincronă pentru a comunica eficient cu serverul Vicon, asigurând actualizări în timp util ale poziționării bazate pe markeri.

#### 5.3.1 Introducere

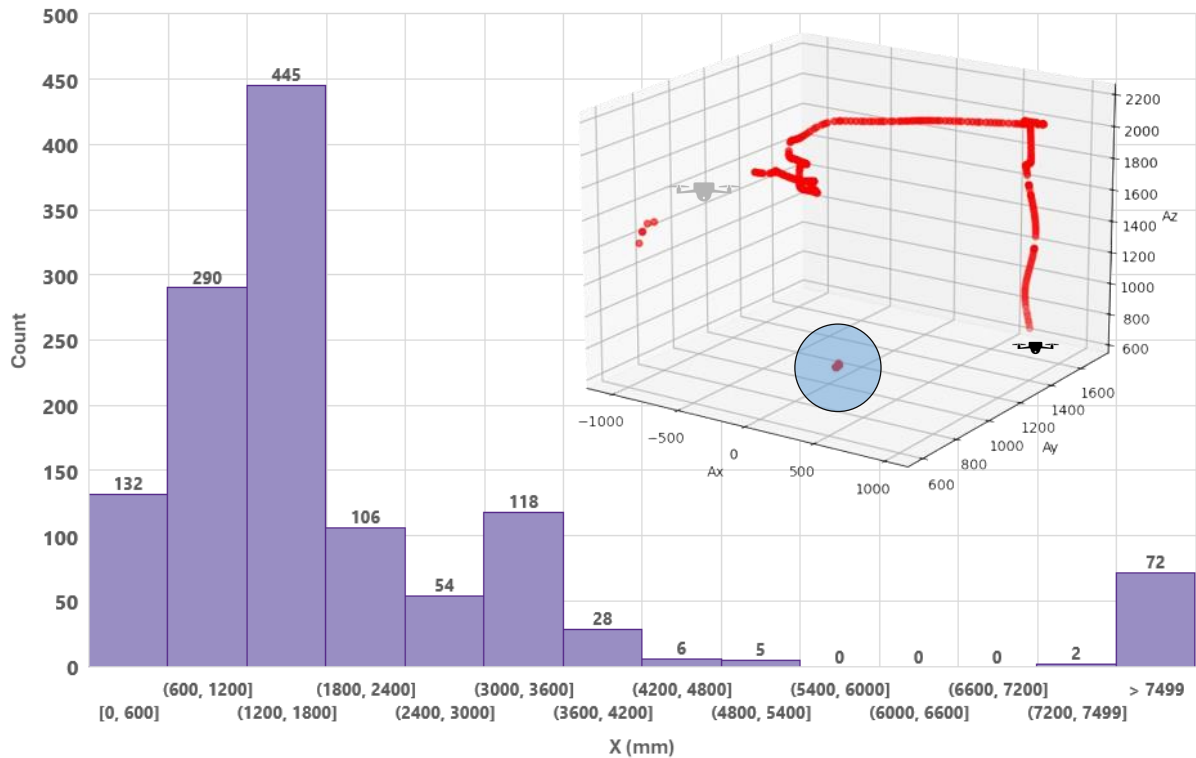
Referindu-ma la evoluția controlului dronelor și la extinderea rapidă a utilizării acestora, conform estimărilor de la Markets<sup>16</sup>, care indică faptul că piața globală a dronelor a fost evaluată la 26,2 miliarde de dolari americani în 2022 și se preconizează că va depăși 38,3 miliarde de dolari americani în 2027, observ o creștere rapidă într-un timp relativ scurt.

Cercetările anterioare au explorat interfețe de control personalizate pentru persoanele cu deficiențe motorii, care facilitează interacțiunea cu diverse platforme de jocuri și sisteme robotice. De exemplu, Plaisant *et al.* [154] a proiectat un prototip de robot de povestit povești orientat către copiii care participă la programe de reabilitare. Copiii puteau manipula acest robot cu ajutorul unor senzori corporali personalizați, adaptați pentru a răspunde unor dizabilități specifice sau obiectivelor de reabilitare. Prin intermediul acestei interfețe, copiii puteau antrena robotul să execute mișcări predefinite sau să transmită ”emoții”, pe care le puteau încorpora ulterior în narațiuni cu ajutorul unui software de povestire. Krishnaswamy *et al.* [109] a dezvoltat o soluție pentru a sprijini mișcarea și ajustarea membrelor unui individ.

#### 5.3.2 Interacțiuni pentru Pilotarea Dronelor

Pentru a răspunde nevoilor persoanelor cu dizabilități motorii și pentru a oferi soluții la provocările menționate mai sus, am dezvoltat aplicația software WingsGuardian. Această aplicație permite dronei să urmărească în mod autonom scaunul cu rotile, minimizând efortul utilizatorului și eliminând necesitatea unor dispozitive de control suplimentare. Unii cercetători au investigat tehnici de manipulare directă, cum ar fi tragerea sau atingerea dronelor, precum și redimensionarea mai multor seturi de drone [75]. Cu toate acestea, cercetările existente se

<sup>16</sup>[https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/unmanned-aerial-vehicles-uav-market-662.html?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiAoKeuBhCoARIsAB4Wxtdp\\_9pnldQPny52VEtpH\\_E2hXNPN-FBu7OI4Hx-6nZ1qWkKKTEnzp8aAvg9EALw\\_wcB](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/unmanned-aerial-vehicles-uav-market-662.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAoKeuBhCoARIsAB4Wxtdp_9pnldQPny52VEtpH_E2hXNPN-FBu7OI4Hx-6nZ1qWkKKTEnzp8aAvg9EALw_wcB)



**Figure 5.6.** Histograma distanțelor Euclidiene calculate la fiecare marcaj temporal între punctele aliniat ( $x_1, y_1, z_1$ ) de pe scaunul cu roțile (evidențiate în fotografiile din această figură) și ( $x_2, y_2, z_2$ ) de pe dronă. *Nota:* Drona decolează de pe birou, se poziționează deasupra scaunului cu roțile și apoi ateriză. Datele sunt prezentate pentru un zbor al droniei de 43,32 secunde într-un mediu de laborator controlat.

concentrează în principal pe executarea simplificată a comenzilor dronelor, mai degrabă decât pe facilitarea interacțiunii pentru persoanele cu deficiențe motorii.

### 5.3.3 WingsGuardian

Scenariul de interacțiune a dronelor în cadrul aplicației software cuprinde trei faze: sursă, țintă și destinație. Acestea corespund droniei, scaunului cu roțile și locului de aterizare. Interacțiunea începe prin plasarea unui marker pe dronă care va fi recunoscut de sistemul Vicon. Apoi este plasat markerul țintă, drona decolează și începe să urmărească scaunul cu roțile la o distanță determinată empiric pentru a fi confortabilă pentru utilizator. Drona începe să urmărească scaunul cu roțile în mod autonom, păstrând distanța stabilită anterior. Atunci când drona urmează să aterizeze, este prezentat markerul destinație.

## 6 CONCLUZII

UTILIZAREA dronelor în mediile inteligente este din ce în ce mai răspândită. Cu toate acestea, pe fondul avansării rapide a noilor tehnologii, există tendința de a trece cu vederea importanța înțelegerii cerințelor utilizatorilor și a conceperii unei interacțiuni eficiente cu dronele. În timpul redactării tezei, a fost adoptată următoarea metodologie: (1) în primul rând, a fost efectuată o analiză critică a stadiului actual al tehnologiei dronelor, concentrându-se pe interacțiunea dintre utilizatori și drone, precum și pe aplicațiile dezvoltate în comunitatea științifică; (2) în al doilea rând, prin intermediul mai multor RSL, s-a urmărit găsirea de răspunsuri cu privire la IOD în medii inteligente și diverse contexte de utilizare; (3) o explorare a tehnologiei emergente de detecție, bazată pe radare, pentru intrări noi în mediile inteligente; (4) proiectarea și implementarea a trei prototipuri, pentru a aborda contexte specifice de utilizare legate de IOD în mediile inteligente, inclusiv spații interioare inteligente, medii exterioare inteligente și, respectiv, medii de asistență inteligente; (5) pe baza acestor rezultate, au fost trasate implicațiile pentru viitoarele cercetări IOD în contextul mediilor inteligente; și (6) a fost prezentată o agendă de cercetare pentru integrarea interacțiunilor om-dronă în mediile inteligente.

Punerea în aplicare a IOD în mediile inteligente de interior a explorat potențialele soluții de proiectare pentru integrarea senzorilor radar în camera de zi. Versatilitatea detecției radar în condiții diverse și capacitatea sa de a recunoaște un spectru larg de gesturi au fost folosite ca avantaj cheie pentru modalități noi de intrare pentru a controla și interacționa cu dronele. Fezabilitatea abordării a fost demonstrată prin aplicarea unui senzor radar comercial în diverse locații prin intermediul unei aplicații preliminare, lăsând loc pentru investigații suplimentare. Taxonomia propusă pentru integrarea senzorilor radar în mediile interioare inteligente servește, de asemenea, drept ghid pentru a modela interacțiunile cu alte dispozitive în contextul IA. Conceptul central se învâрте în jurul dronei care servește drept însoțitor personal, realizând astfel controlul de la distanță al conținutului media prin intermediul dronei. A fost realizat o RSL pentru a examina progresele recente în tehnologia de recunoaștere a gesturilor pe bază de radar, cu un accent deosebit pe aplicarea seturilor de gesturi pentru sistemele informatice interactive. Constatările au arătat că seturile de gesturi constau predominant dintr-un număr limitat de gesturi simple și s-a observat o omisiune în evaluarea experienței utilizatorului asociată gesturilor radar. Aceste informații au constituit baza pentru dezvoltarea unor implicații practice care să ghideze viitoarele cercetări în acest spațiu. În urma acestor implicații, a fost introdusă o aplicație software dedicată care prezintă gesturi cu piciorul pentru a controla dronele în medii inteligente de interior. În general, dispozitivele radar creează noi căi de implementare a interacțiunilor în mediile inteligente, contextualizând gesturile fără contact și detectarea prezenței.

Am continuat cu o explorare a IOD în medii exterioare inteligente în contextul controlului fotografiilor aeriene și al înregistrărilor video realizate cu ajutorul dronelor. A fost compilat un dicționar cuprinzător de interacțiuni, accentul fiind pus pe înțelegerea funcțiilor și comenzilor sistemului pentru a contribui la proiectarea unor mecanisme de control eficiente și semnificative pentru fotografierea aeriană cu ajutorul dronelor. Au fost identificate oportunități de cercetare viitoare la intersecția dintre calculul cu drone, viziunea augmentată și fotografia personală. O a doua aplicație s-a adresat vehiculelor personale pentru care dronele sunt însoțitoare. Pe baza unui studiu RSL, am raportat starea actuală a IOD cu vehicule personale și am propus noi sisteme de interacțiune. Sondajul realizat cu șoferii a furnizat informații privind experiențele cu dronele, preferințele legate de vehicule și contextul de utilizare, exprimând dorința de a avea

o dronă însoțitoare. Lucrările viitoare se vor concentra pe proiectarea de noi experiențe cu vehicule și drone, explorând diferite metode de intrare. În plus, a fost prezentată o arhitectură software pentru a facilita împrumutul și controlul dronelor prin interacțiuni naturale. Designul Radiance încorporează modularitatea și flexibilitatea, iar lucrările viitoare se vor concentra pe evaluări practice care să exploreze scenarii precum roiriile de drone. Radiance își propune să îmbunătățească acceptarea și integrarea dronelor în spațiile publice.

Ultima perspectivă adusă de această teză se referă la IOD în mediile de asistență inteligente, inclusiv la interacțiunile portabile accesibile pentru utilizatorii cu deficiențe motorii, pentru care au fost raportate rezultatele unui RSL. Folosind o combinație de meta-analiză și examinare calitativă, studiul a explorat contribuțiile cercetării, categoriile de dispozitive portabile și comenzile bazate pe gesturi. Articolele portabile concepute pentru cap, au dominat, urmate de articolele portabile pentru încheietura mâinii și braț. În schimb, dispozitivele cu un impact mai mic pe piață, cum ar fi inelele inteligente, încălțăminte inteligentă și îmbrăcăminte inteligentă, au primit o atenție minimă în literatura științifică până în prezent. Studiul a evidențiat importanța proiectării metodelor de interacțiune dintr-o perspectivă centrată pe abilități, luând în considerare nevoile și abilitățile utilizatorilor cu deficiențe motorii. În acest scop, capitolul a propus patru direcții de cercetare în cadrul WISE, oferind îndrumări pentru eforturile viitoare în acest domeniu în continuă evoluție. În plus, au fost raportate rezultatele privind integrarea IA și RM în tehnologia de asistență. Deși se află încă în stadii incipiente, prezintă o direcție oportună pentru proiectarea unor sisteme care să se adapteze mai bine la nevoile utilizatorilor și să le sporească eficiența atât în domeniul fizic, cât și în cel digital. Se recomandă cercetări viitoare pentru a explora caracteristicile complementare ale IA și RM, în special în ceea ce privește realizarea accesului universal la informații și servicii în medii inteligente. Aplicația software WingsGuardian permite dronei să urmărească și să aterizeze în mod autonom într-o locație dorită, utilizând urmărirea precisă a mișcării oferită de sistemul Vicon Nexus pentru un mediu interior.

În ceea ce privește experiențele interactive, există mai multe căi de explorat. Una dintre posibilități este extinderea dicționarului de gesturi radar sau utilizarea dispozitivelor augmentate cu mâna și a dicționarelor asociate pentru a îmbunătăți acuratețea recunoașterii gesturilor și pentru a explora noi scenarii. Astfel s-ar obține o integrare eficientă a gesturilor cu un efort minim pentru proiectarea mediilor inteligente. Prototipurile dezvoltate în această teză pot fi îmbunătățite în continuare și în cadrul lucrărilor viitoare. În primul rând, ar trebui evaluată utilitatea aplicațiilor propuse, utilizând dispozitive radar sau dispozitive cu augmentare manuală, pentru persoanele cu dizabilități motorii, cu includerea feedback-ului vibrotactil pentru a furniza informații despre poziția spațială a dronei. În al doilea rând, o cercetare interesantă va fi explorarea comportamentului utilizatorului în prezența mai multor drone în medii interioare inteligente, cu aplicații care implică atât caracteristicile IA, cât și cele ale RM. O altă direcție de cercetare ar putea implica analiza impactului diferitelor tipuri de feedback și al experiențelor mai imersive.

Rezultatele tezei au fost diseminate în zece lucrări publicate în reviste internaționale sau prezentate la conferințe internaționale.

# MULȚUMIRI

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

- P1. *”Algoritmi, tehnici și aplicații de detecție bazate pe radar pentru interacțiuni noi cu sistemele informatice” (RadarSense: Radar-based Sensing Algorithms, Techniques, and Applications for Novel Interactions with Computing Systems)* 2021 – 2022, Fondat de UEFISCDI, Romania (PNIII P3, “Cooperare Europeană și Internațională”),
- P2. *”WearSkill: Interacțiuni fluide cu dispozitive purtabile inteligente pentru abilități motorii specifice” (WearSkill: Motor-Streamlined Interactions with Smart Wearables)*, 2020 – 2022, Fondat de UEFISCDI, Romania (PNIII P2, “Proiect Experimental Demonstrativ”, 276PED/2020),
- P3. *”Creșterea Capacității Instituționale a Laboratorului de Mașini Inteligente și Vizualizarea Informației pentru Cercetare de Excelență În Tehnologii Interactive” (Increasing the Institutional Capacity of the Machine Intelligence and Information Visualization Research Laboratory for Excellent Science in Interactive Technologies)*, 2021 – 2022, Fondat de UEFISCDI, Romania (PNIII P3, “Awarding participation in Horizon 2020”, 12/2021)
- P4. *”Platformă Autonomă de Recunoaștere și Suport” (Autonomous Recognition and Support Platform)*, 2022 – 2023, Fondat de CENTRIC, Romania (POC-A1-A1.2.3-G-2015) cod proiect 18752/05.09/2022,
- P5. *”Excelență academică și valori antreprenoriale - program de burse pentru a oferi oportunități de formare și dezvoltare a competențelor antreprenoriale pentru doctoranzi și postdoctoranzi - ÎNTREPRINZĂTORI” (Academic excellence and entrepreneurial values - scholarship scheme to provide training and entrepreneurial skills development opportunities for PhD students and postdocs - ENTREPRENEURS)*, 2021 – 2022, Fondat de POCU, Romania (“Suport pentru studenți doctoranzi și post-doctoranzi”), nr. contract. 36355/23.05.2019).

## REFERINȚE

- [1] Muhammad Abdullah, Minji Kim, Waseem Hassan, Yoshihiro Kuroda, and Seokhee Jeon. HapticDrone: An encountered-type kinesthetic haptic interface with controllable force feedback: Example of stiffness and weight rendering. In *2018 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, pages 334–339, 2018. doi:[10.1109/HAPTICS.2018.8357197](https://doi.org/10.1109/HAPTICS.2018.8357197).
- [2] Parastoo Abtahi, David Y. Zhao, Jane L. E., and James A. Landay. Drone Near Me: Exploring Touch-Based Human-Drone Interaction. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, 1(3), sep 2017. doi:[10.1145/3130899](https://doi.org/10.1145/3130899).
- [3] Fadel Adib, Chen-Yu Hsu, Hongzi Mao, Dina Katabi, and Frédo Durand. Capturing the Human Figure through a Wall. 34(6):219:1–219:13, 2015. doi:[10.1145/2396636.2396702](https://doi.org/10.1145/2396636.2396702).
- [4] Ankit Agrawal, Sophia J. Abraham, Benjamin Burger, Chichi Christine, Luke Fraser, John M. Hoeksema, Sarah Hwang, Elizabeth Travnik, Shreya Kumar, Walter Scheirer, Jane Cleland-Huang, Michael Vierhauser, Ryan Bauer, and Steve Cox. The Next Generation of Human-Drone Partnerships: Co-Designing an Emergency Response System. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '20*, page 1–13, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3313831.3376825](https://doi.org/10.1145/3313831.3376825).
- [5] Shahzad Ahmed, Karam Dad Kallu, Sarfaraz Ahmed, and Sung Ho Cho. Hand Gestures Recognition Using Radar Sensors for Human-Computer-Interaction: A Review. *Remote Sensing*, 13:527, 02 2021. doi:[10.3390/rs13030527](https://doi.org/10.3390/rs13030527).
- [6] Faiza Ajmi, Sawssen Ben Abdallah, Sarah Ben Othman, Hayfa Zgaya-Biau, and Slim Hammadi. An Innovative System to Assist the Mobility of People With Motor Disabilities. In *IEEE Int. Conf. on SMC*, page 4037–4043, 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/SMC.2019.8914332>.
- [7] Rasha M. Al-Eidan, Hend Al-Khalifa, and Abdul Malik Al-Salman. A Review of Wrist-Worn Wearable: Sensors, Models, and Challenges. *Journal of Sensors*, 2018:5853917, 2018. URL: <https://doi.org/10.1155/2018/5853917>.
- [8] Jassim Al-Fadhli, Mustafa Ashkanani, Abdulwahab Yousef, Issam Damaj, and Mohammad El-Shafei. RECON: A remotely controlled drone for roads safety. In *2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)*, pages 912–918, 2014. doi:[10.1109/ICCVE.2014.7297688](https://doi.org/10.1109/ICCVE.2014.7297688).
- [9] Omri Alon, Sharon Rabinovich, Chana Fyodorov, and Jessica R. Cauchard. Drones in Firefighting: A User-Centered Design Perspective. *MobileHCI '21*, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3447526.3472030](https://doi.org/10.1145/3447526.3472030).
- [10] Nasr addin Al-maweri, Aznul Sabri, Ali Mansoor Alsahag, Unaizah Obaidellah, Erma Rahayu, and P C Lai. Metadata hiding for uav video based on digital watermarking in DWT transform. *Multimedia Tools and Applications*, 76:1–23, 08 2017. doi:[10.1007/s11042-016-3906-0](https://doi.org/10.1007/s11042-016-3906-0).
- [11] Alexandru-Tudor Andrei, Alexandru-Ionuț Șiean, and Radu-Daniel Vatavu. Tap4Light: Smart Lighting Interactions by Tapping with a Five-Finger Augmentation Device. In *Proceedings of the 13th Augmented Human International Conference, AH2022*, New York, NY, USA, 2022. ACM. URL: <https://doi.org/10.1145/3532525.3532535>.

- [12] Muhammad Yeasir Arafat and Sangman Moh. Routing Protocols for Unmanned Aerial Vehicle Networks: A Survey. *IEEE Access*, 7:99694–99720, 2019. doi:[10.1109/ACCESS.2019.2930813](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2930813).
- [13] Carmelo Ardito, Paolo Buono, Maria Francesca Costabile, and Giuseppe Desolda. Interaction with Large Displays: A Survey. *ACM Comput. Surv.*, 47(3), feb 2015. doi:[10.1145/2682623](https://doi.org/10.1145/2682623).
- [14] Jonas Auda, Martin Weigel, Jessica R. Cauchard, and Stefan Schneegass. Understanding Drone Landing on the Human Body. In *Proceedings of the 23rd International Conference on Mobile Human-Computer Interaction*, MobileHCI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3447526.3472031](https://doi.org/10.1145/3447526.3472031).
- [15] Danilo Avola, Marco Bernardi, Luigi Cinque, Gian Luca Foresti, and Cristiano Massaroni. Exploiting Recurrent Neural Networks and Leap Motion Controller for the Recognition of Sign Language and Semaphoric Hand Gestures. *IEEE Transactions on Multimedia*, 21(1):234–245, 2019. doi:[10.1109/TMM.2018.2856094](https://doi.org/10.1109/TMM.2018.2856094).
- [16] Daniel Avrahami, Mitesh Patel, Yusuke Yamaura, Sven Kratz, and Matthew Cooper. Unobtrusive Activity Recognition and Position Estimation for Work Surfaces Using RF-Radar Sensing. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 10:1–28, 08 2019. doi:[10.1145/3241383](https://doi.org/10.1145/3241383).
- [17] Sateesh Reddy Avutu, Sudip Paul, and Dinesh Bhatia. Smart Rehabilitation for Neuro-Disability: A Review. In Sudip Paul, editor, *Application of Biomedical Engineering in Neuroscience*, pages 477–490. Springer, Singapore, 2019. URL: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-7142-4\\_24](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7142-4_24).
- [18] Vashish Baboolal, Kemal Akkaya, Nico Saputro, and Khaled Rabieh. Preserving Privacy of Drone Videos Using Proxy Re-Encryption Technique: Poster. In *Proceedings of the 12th Conference on Security and Privacy in Wireless and Mobile Networks*, WiSec '19, page 336–337, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:[10.1145/3317549.3326319](https://doi.org/10.1145/3317549.3326319).
- [19] Alexandra Bacula and Amy LaViers. Character Synthesis of Ballet Archetypes on Robots Using Laban Movement Analysis: Comparison Between a Humanoid and an Aerial Robot Platform with Lay and Expert Observation. *International Journal of Social Robotics*, 13, 08 2021. doi:[10.1007/s12369-020-00695-0](https://doi.org/10.1007/s12369-020-00695-0).
- [20] Gilles Bailly, Jörg Müller, Michael Rohs, Daniel Wigdor, and Sven Kratz. ShoeSense: A New Perspective on Gestural Interaction and Wearable Applications. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, page 1239–1248, New York, NY, USA, 2012. ACM. doi:[10.1145/2207676.2208576](https://doi.org/10.1145/2207676.2208576).
- [21] Gilles Bailly, Dong-Bach Vo, Eric Lecolinet, and Yves Guiard. Gesture-aware remote controls: Guidelines and interaction technique. pages 263–270, 11 2011. doi:[10.1145/2070481.2070530](https://doi.org/10.1145/2070481.2070530).
- [22] Paulina J. Bank, Marina A. Cidota, P. (Elma) Ouwehand, and Stephan G. Lukosch. Patient-Tailored Augmented Reality Games for Assessing Upper Extremity Motor Impairments in Parkinson's Disease and Stroke. *J. Med. Syst.*, 42(12):1–11, December 2018. doi:[10.1007/s10916-018-1100-9](https://doi.org/10.1007/s10916-018-1100-9).
- [23] Laura-Bianca Bilius and Radu-Daniel Vatavu. A Synopsis of Input Modalities for In-Vehicle Infotainment and Consumption of Interactive Media. In *ACM International Conference on Interactive Media Experiences*, IMX '20, page 195–199, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3391614.3399400](https://doi.org/10.1145/3391614.3399400).

- [24] Taryn Bipat, Maarten Willem Bos, Rajan Vaish, and Andrés Monroy-Hernández. Analyzing the Use of Camera Glasses in the Wild. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, page 1–8, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:10.1145/3290605.3300651.
- [25] Jonathon Bolin, Chad Crawford, William Macke, Jon Hoffman, Sam Beckmann, and Sandip Sen. Gesture-Based Control of Autonomous UAVs. In *Proceedings of the 16th Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*, AAMAS '17, page 1484–1486, Richland, SC, 2017. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. doi:10.1109/ICFTSC57269.2022.10039812.
- [26] Stefano Bonaiuto, Alberto Cannavò, Giovanni Piumatti, Gianluca Paravati, and Fabrizio Lamberti. Tele-operation of Robot Teams: A Comparison of Gamepad-, Mobile Device and Hand Tracking-Based User Interfaces. In *2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, volume 2, pages 555–560, 2017. doi:10.1109/COMPSAC.2017.278.
- [27] Veronica Boschi, Eleonora Catricalà, Monica Consonni, Cristiano Chesi, Andrea Moro, and Stefano F. Cappa. Connected Speech in Neurodegenerative Language Disorders: A Review. *Front Psychol.*, 6(8):269, Mar 2017. URL: <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00269>.
- [28] Cati Boulanger, Saeideh Bakhshi, Joseph "Jofish" Kaye, and David A. Shamma. The Design, Perception, and Practice of Tablet Photography. In *Proc. of the 2016 ACM Conference on Designing Interactive Systems*, DIS '16, page 84–95, New York, NY, USA, 2016. ACM. doi:10.1145/2901790.2901810.
- [29] Sean Braley, Calvin Rubens, Timothy Merritt, and Roel Vertegaal. GridDrones: A Self-Levitating Physical Voxel Lattice for Interactive 3D Surface Deformations. In *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '18, page 87–98, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3242587.3242658.
- [30] Anke M. Brock, Julia Chatain, Michelle Park, Tommy Fang, Martin Hachet, James A. Landay, and Jessica R. Cauchard. FlyMap: Interacting with Maps Projected from a Drone. In *Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Pervasive Displays*, PerDis '18, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3205873.3205877.
- [31] J. Cacace, A. Finzi, V. Lippiello, M. Furci, N. Mimmo, and L. Marconi. A control architecture for multiple drones operated via multimodal interaction in search & rescue mission. In *2016 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*, pages 233–239, 2016. doi:10.1109/SSRR.2016.7784304.
- [32] D. Caetano, F. Mattioli, E. Lamounier, and A. Cardoso. [DEMO] On the use of augmented reality techniques in a telerehabilitation environment for wheelchair users' training. In *ISMAR '14*, 2014. URL: <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2014.6948473>.
- [33] Antonio Camurri and Pasqualino Ferrentino. Interactive Environments for Music and Multimedia. *Multimedia Syst.*, 7(1):32–47, January 1999. URL: <https://doi.org/10.1007/s005300050109>.
- [34] Patrick Carrington, Kevin Chang, Helena Mentis, and Amy Hurst. "But, I Don't Take Steps": Examining the Inaccessibility of Fitness Trackers for Wheelchair Athletes. In *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers &*



- Accessibility*, ASSETS '15, pages 193–201, New York, NY, USA, 2015. ACM. doi: [10.1145/2700648.2809845](https://doi.org/10.1145/2700648.2809845).
- [35] Jessica Cauchard, Woody Gover, William Chen, Stephen Cartwright, and Ehud Sharlin. Drones in Wonderland – Disentangling Collocated Interaction Using Radical Form. *IEEE Robotics and Automation Letters*, pages 1–1, 2021. doi: [10.1109/LRA.2021.3103653](https://doi.org/10.1109/LRA.2021.3103653).
- [36] Jessica R. Cauchard, Jane L. E. Kevin Y. Zhai, and James A. Landay. Drone and Me: An Exploration into Natural Human-Drone Interaction. In *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '15, page 361–365, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery. doi: [10.1145/2750858.2805823](https://doi.org/10.1145/2750858.2805823).
- [37] Jessica R. Cauchard, Kevin Y. Zhai, Marco Spadafora, and James A. Landay. Emotion encoding in Human-Drone Interaction. In *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 263–270, 2016. doi: [10.1109/HRI.2016.7451761](https://doi.org/10.1109/HRI.2016.7451761).
- [38] Luciene Chagas de Oliveira, Adriano Andrade, Eduardo Oliveira, Alcimar Soares, Alexandre Cardoso, and Edgard Lamounier Jr. Indoor navigation with mobile augmented reality and beacon technology for wheelchair users. pages 37–40, 01 2017. doi: [10.1109/BHI.2017.7897199](https://doi.org/10.1109/BHI.2017.7897199).
- [39] Chien-Fang Chen, Kang-Ping Liu, and Neng-Hao Yu. Exploring Interaction Modalities for a Selfie Drone. In *SIGGRAPH Asia 2015 Posters*, SA '15, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery. doi: [10.1145/2820926.2820965](https://doi.org/10.1145/2820926.2820965).
- [40] Yi-Ling Chen, Wei-Tse Lee, Liwei Chan, Rong-Hao Liang, and Bing-Yu Chen. Direct View Manipulation for Drone Photography. In *SIGGRAPH Asia 2015 Posters*, SA '15, New York, NY, USA, 2015. ACM. doi: [10.1145/2820926.2820945](https://doi.org/10.1145/2820926.2820945).
- [41] Yu-An Chen, Te-Yen Wu, Tim Chang, Jun You Liu, Yuan-Chang Hsieh, Leon Yulun Hsu, Ming-Wei Hsu, Paul Taele, Neng-Hao Yu, and Mike Y. Chen. ARPilot: Designing and Investigating AR Shooting Interfaces on Mobile Devices for Drone Videography. In *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '18, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery. doi: [10.1145/3229434.3229475](https://doi.org/10.1145/3229434.3229475).
- [42] Alexandre Cherpillod, Dario Floreano, and Stefano Mintchev. Embodied Flight with a Drone. In *2019 Third IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)*, pages 386–390, 2019. doi: [10.1109/IRC.2019.00070](https://doi.org/10.1109/IRC.2019.00070).
- [43] Konstantinos Chorianopoulos and George Lekakos. Learn and Play with Interactive TV. *Comput. Entertain.*, 5(2), apr 2007. doi: [10.1145/1279540.1279544](https://doi.org/10.1145/1279540.1279544).
- [44] Mauricio Cirelli and Ricardo Nakamura. A Survey on Multi-touch Gesture Recognition and Multi-touch Frameworks. In *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, ITS '14, page 35–44, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery. doi: [10.1145/2669485.2669509](https://doi.org/10.1145/2669485.2669509).
- [45] Ashley Colley, Lasse Virtanen, Pascal Knierim, and Jonna Häkkinä. Investigating Drone Motion as Pedestrian Guidance. In *Proceedings of the 16th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, MUM '17, page 143–150, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery. doi: [10.1145/3152832.3152837](https://doi.org/10.1145/3152832.3152837).
- [46] J. Guillermo Colli-Alfaro, Anas Ibrahim, and Ana Luisa Trejos. Design of User-Independent Hand Gesture Recognition Using Multilayer Perceptron Networks and

- Sensor Fusion Techniques. In *Proc. of the IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics*, ICORR '16, pages 1103–1108, 2019. doi:[10.1109/ICORR.2019.8779533](https://doi.org/10.1109/ICORR.2019.8779533).
- [47] Jan Conrad, Dieter Wallach, Fabian Kalweit, Patrick Lindel, and Stefan Templin. Game of Drones: How to Control a UAV? pages 424–432, 05 2017. doi:[10.1007/978-3-319-58077-7\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58077-7_34).
- [48] Diane J. Cook, Juan C. Augusto, and Vikramaditya R. Jakkula. Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities. *Pervasive and Mobile Computing*, 5(4):277–298, 2009. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2009.04.001>.
- [49] Martin Cooney, Francesco Zanlungo, Shuichi Nishio, and Hiroshi Ishiguro. Designing a flying humanoid robot (FHR): Effects of flight on interactive communication. In *2012 IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pages 364–371, 2012. doi:[10.1109/ROMAN.2012.6343780](https://doi.org/10.1109/ROMAN.2012.6343780).
- [50] Cédric Courtois and Evelien D’heer. Second Screen Applications and Tablet Users: Constellation, Awareness, Experience, and Interest. In *Proceedings of the 10th European Conference on Interactive TV and Video*, EuroITV '12, page 153–156, New York, NY, USA, 2012. ACM. doi:[10.1145/2325616.2325646](https://doi.org/10.1145/2325616.2325646).
- [51] Dražen Cvitanić. Drone applications in transportation. In *2020 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, pages 1–4, 2020. doi:[10.23919/SpliTech49282.2020.9243807](https://doi.org/10.23919/SpliTech49282.2020.9243807).
- [52] Maria De Marsico and Alessandro Spagnoli. Using Hands as an Easy UAV Joystick for Entertainment Applications. In *Proceedings of the 13th Biannual Conference of the Italian SIGCHI Chapter: Designing the next Interaction*, CHIItaly '19, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3351995.3352042](https://doi.org/10.1145/3351995.3352042).
- [53] Jose Dias, Ana I. Veloso, and Tania Ribeiro. "A Priest in the Air". In *Proc. of the 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*, CISTI '19, pages 1–7, 2019. doi:[10.23919/CISTI.2019.8760748](https://doi.org/10.23919/CISTI.2019.8760748).
- [54] Brittany A. Duncan and Robin R. Murphy. Effects of Speed, Cyclicity, and Dimensionality on Distancing, Time, and Preference in Human-Aerial Vehicle Interactions. *ACM Trans. Interact. Intell. Syst.*, 7(3), sep 2017. doi:[10.1145/2983927](https://doi.org/10.1145/2983927).
- [55] Jane L. E, Ilene L. E, James A. Landay, and Jessica R. Cauchard. Drone and Wo: Cultural Influences on Human-Drone Interaction Techniques. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, page 6794–6799, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:[10.1145/3025453.3025755](https://doi.org/10.1145/3025453.3025755).
- [56] J. K. Edey, K. Seaborn, C. Branje, and D. I. Fels. Powered to play: A mixed reality game for people driving powered chairs. In *2014 IEEE Games Media Entertainment*, pages 1–8, 2014. URL: <https://doi.org/10.1109/GEM.2014.7048101>.
- [57] Sara Eriksson, Åsa Unander-Scharin, Vincent Trichon, Carl Unander-Scharin, Hedvig Kjellström, and Kristina Höök. Dancing With Drones: Crafting Novel Artistic Expressions Through Intercorporeality. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, page 1–12, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3290605.3300847](https://doi.org/10.1145/3290605.3300847).
- [58] Silvia B. Fajardo-Flores, Laura S. Gaytán-Lugo, Gilberto Villagrana-Larios, and Pedro César Santana-Mancilla. Electronic Bracelet to Facilitate Navigation in Smartphones

- to People with Motor and Visual Impairment. In *Proceedings of the IX Latin American Conference on Human Computer Interaction*, CLIHC '19, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:[10.1145/3358961.3358973](https://doi.org/10.1145/3358961.3358973).
- [59] Alexander Fiannaca, Ilias Apostolopoulos, and Eelke Folmer. Headlock: A Wearable Navigation Aid That Helps Blind Cane Users Traverse Large Open Spaces. In *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*, ASSETS '14, pages 19–26, New York, NY, USA, 2014. ACM. doi:[10.1145/2661334.2661453](https://doi.org/10.1145/2661334.2661453).
- [60] Leah Findlater, Karyn Moffatt, Jon E. Froehlich, Meethu Malu, and Joan Zhang. Comparing Touchscreen and Mouse Input Performance by People With and Without Upper Body Motor Impairments. In *CHI '17*. ACM, 2017. URL: <https://doi.org/10.1145/3025453.3025603>.
- [61] William T. Freeman and Craig D. Weissman. Television control by hand gestures. 1994. URL: <https://www.merl.com/publications/docs/TR94-24.pdf>.
- [62] P Friess. Internet of things: converging technologies for smart environments and integrated ecosystems. 2013.
- [63] Yu-Fen Fu and Cheng-Seen Ho. A Fast Text-Based Communication System for Handicapped Aphasiacs. In *Proc. of the 5th Int. Conf. on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, pages 583–594, 2009. doi:[10.1109/IIH-MSP.2009.251](https://doi.org/10.1109/IIH-MSP.2009.251).
- [64] Yu-Fen Fu and Cheng-Seen Ho. Building Intelligent Communication Systems for Handicapped Aphasiacs. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 10:374–387, 2010. doi:[10.3390/s100100374](https://doi.org/10.3390/s100100374).
- [65] Markus Funk. Human-Drone Interaction: Let's Get Ready for Flying User Interfaces! *Interactions*, 25(3):78–81, apr 2018. doi:[10.1145/3194317](https://doi.org/10.1145/3194317).
- [66] Brittany Garcia, Sharon Lynn Chu, Beth Nam, and Colin Banigan. Wearables for Learning: Examining the Smartwatch as a Tool for Situated Science Reflection. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–13, New York, NY, USA, 2018. ACM. URL: <https://doi.org/10.1145/3173574.3173830>.
- [67] Jérémie Garcia, Luc Chevrier, Yannick Jestin, and Anke Brock. HandiFly: Towards Interactions to Support Drone Pilots with Disabilities. pages 1–6, 04 2019. doi:[10.1145/3290607.3312957](https://doi.org/10.1145/3290607.3312957).
- [68] James Gay, Moritz Umfahrer, Arthur Theil, Lea Buchweitz, Eva Lindell, Li Guo, Nils-Krister Persson, and Oliver Korn. Keep Your Distance: A Playful Haptic Navigation Wearable for Individuals with Deafblindness. In *The 22nd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ASSETS '20, New York, NY, USA, 2020. ACM. doi:[10.1145/3373625.3418048](https://doi.org/10.1145/3373625.3418048).
- [69] Shilpa George, Junjue Wang, Mihir Bala, Thomas Eiszler, Padmanabhan Pillai, and Mahadev Satyanarayanan. Towards Drone-Sourced Live Video Analytics for the Construction Industry. In *Proceedings of the 20th International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, HotMobile '19, page 3–8, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:[10.1145/3301293.3302365](https://doi.org/10.1145/3301293.3302365).
- [70] Daniel Gepner, Jérôme Simonin, and Noëlle Carbonell. Gaze as a Supplementary Modality for Interacting with Ambient Intelligence Environments. In Constantine Stephanidis, editor, *Universal Access in Human-Computer Interaction. Ambient Interaction*, pages 848–857, Berlin, Heidelberg, 2007. Springer Berlin Heidelberg.

- [71] Murat Germen. Alternative Cityscape Visualisation: Drone Shooting as a New Dimension in Urban Photography. In *Proceedings of the Conference on Electronic Visualisation and the Arts*, EVA '16, page 150–157, 2016. doi:[10.14236/ewic/EVA2016.31](https://doi.org/10.14236/ewic/EVA2016.31).
- [72] Bogdan-Florin Gheran, Jean Vanderdonckt, and Radu-Daniel Vatavu. Gestures for Smart Rings: Empirical Results, Insights, and Design Implications. In *Proceedings of the 2018 Designing Interactive Systems Conference*, DIS '18, pages 623–635, New York, NY, USA, 2018. ACM. doi:[10.1145/3196709.3196741](https://doi.org/10.1145/3196709.3196741).
- [73] Vittorio Ghini, Paola Salomoni, and Giovanni Pau. Always-best-served music distribution for nomadic users over heterogeneous networks. *Communications Magazine, IEEE*, 43:69–74, 06 2005. doi:[10.1109/MCOM.2005.1453425](https://doi.org/10.1109/MCOM.2005.1453425).
- [74] Wayne C.W. Giang, Huei-Yen Winnie Chen, and Birsen Donmez. Smartwatches vs. Smartphones: Notification Engagement While Driving. *Int. J. Mob. Hum. Comput. Interact.*, 9(2):39–57, April 2017. doi:[10.4018/IJMHCI.2017040103](https://doi.org/10.4018/IJMHCI.2017040103).
- [75] Antonio Gomes, Calvin Rubens, Sean Braley, and Roel Vertegaal. BitDrones: Towards Using 3D Nanocopter Displays as Interactive Self-Levitating Programmable Matter. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, page 770–780, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/2858036.2858519](https://doi.org/10.1145/2858036.2858519).
- [76] Marientina Gotsis, Fotos Frangoudes, Vangelis Lympouridis, Somboon Maneekobkunjong, David Turpin, and Maryalice Jordan-Marsh. Skyfarer: A mixed reality shoulder exercise game. In *SIGGRAPH '13*, page 13, 07 2013. URL: <https://doi.org/10.1145/2503673.2503675>.
- [77] Maria J. Grant and Andrew Booth. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2):91–108, 2009. doi:[10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x](https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x).
- [78] Marco Antonio Gutierrez, Luis Fernando D'Haro, and Rafael Banchs. A Multimodal Control Architecture for Autonomous Unmanned Aerial Vehicles. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Human Agent Interaction*, HAI '16, page 107–110, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/2974804.2980522](https://doi.org/10.1145/2974804.2980522).
- [79] Tam Hanna. *Apps on TV*. Apress, USA, 1st edition, 2012.
- [80] John Paulin Hansen, Alexandre Alapetite, I. Scott MacKenzie, and Emilie Møllenbach. The Use of Gaze to Control Drones. In *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, ETRA '14, page 27–34, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/2578153.2578156](https://doi.org/10.1145/2578153.2578156).
- [81] John Paulin Hansen, Alexandre Alapetite, Martin Thomsen, Zhongyu Wang, Katsumi Minakata, and Guangtao Zhang. Head and Gaze Control of a Telepresence Robot with an HMD. In *Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, ETRA '18, New York, NY, USA, 2018. ACM. doi:[10.1145/3204493.3208330](https://doi.org/10.1145/3204493.3208330).
- [82] Gunnar Harboe, Noel Massey, Crysta Metcalf, David Wheatley, and Guy Romano. The Uses of Social Television. *Comput. Entertain.*, 6(1), may 2008. doi:[10.1145/1350843.1350851](https://doi.org/10.1145/1350843.1350851).
- [83] Muhammad Abdul Haseeb, Maria Kyrarini, Shuo Jiang, Danijela Ristic-Durrant, and Axel Gräser. Head Gesture-Based Control for Assistive Robots. In *Proceedings of the*

- 11th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference, PETRA '18*, pages 379–383, New York, NY, USA, 2018. ACM. doi:10.1145/3197768.3201574.
- [84] Dwight Hennessy and David Wiesenthal. Traffic congestion, driver Stress, and driver aggression. *Aggressive Behavior*, 25:409 – 423, 01 1999. doi:10.1002/(SICI)1098-2337(1999)25:6<409::AID-AB2>3.0.CO;2-0.
- [85] Viviane Herdel, Anastasia Kuzminykh, Yisrael Parmet, and Jessica R. Cauchard. Anthropomorphism and Affective Perception: Dimensions, Measurements, and Interdependencies in Aerial Robotics. *IEEE Transactions on Affective Computing*, pages 1–12, 2024. doi:10.1109/TAFFC.2024.3349858.
- [86] Viviane Herdel, Lee J. Yamin, and Jessica R. Cauchard. Above and Beyond: A Scoping Review of Domains and Applications for Human-Drone Interaction. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '22*, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3491102.3501881.
- [87] Viviane Herdel, Lee J. Yamin, Eyal Ginosar, and Jessica R. Cauchard. Public Drone: Attitude Towards Drone Capabilities in Various Contexts. In *Proceedings of the 23rd International Conference on Mobile Human-Computer Interaction, MobileHCI '21*, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3447526.3472053.
- [88] Ralph D. Hill. Event-Response Systems: A Technique for Specifying Multi-Threaded Dialogues. *SIGCHI Bull.*, 18(4):241–248, may 1986. doi:10.1145/1165387.275637.
- [89] Sylvester Honye and Hannah Thinyane. WiiMS: Simulating Mouse and Keyboard for Motor-Impaired Users. In *Proceedings of the South African Institute for Computer Scientists and Information Technologists Conference, SAICSIT '12*, pages 188–195, New York, NY, USA, 2012. ACM. doi:10.1145/2389836.2389859.
- [90] M. Shamim Hossain, Sandro Hardy, Atif Alamri, Abdulhameed Alelaiwi, Verena Hardy, and Christoph Wilhelm. AR-Based Serious Game Framework for Post-Stroke Rehabilitation. *Multimedia Syst.*, 22(6):659–674, November 2016. URL: <https://doi.org/10.1007/s00530-015-0481-6>.
- [91] Polly Huang. Promoting Wearable Computing. In Q. Jin, J. Li, N. Zhang, J. Cheng, C. Yu, and S. Noguchi, editors, *Enabling Society with Information Technology*. Springer, Tokyo, 2002. URL: [https://doi.org/10.1007/978-4-431-66979-1\\_36](https://doi.org/10.1007/978-4-431-66979-1_36).
- [92] Inhyuk Moon, Myungjoon Lee, Junuk Chu, and Museong Mun. Wearable EMG-based HCI for Electric-Powered Wheelchair Users with Motor Disabilities. In *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 2649–2654, 2005. doi:10.1109/ROBOT.2005.1570513.
- [93] International Data Corporation (IDC). Worldwide Wearables Market Forecast to Maintain Double-Digit Growth in 2020 and Through 2024, According to IDC, September 2020. URL: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS46885820>.
- [94] MD. Rasel Islam, Doyoung Lee, Liza Suraiya Jahan, and Ian Oakley. GlassPass: Tapping Gestures to Unlock Smart Glasses. In *Proceedings of the 9th Augmented Human International Conference, AH '18*, New York, NY, USA, 2018. ACM. URL: <https://doi.org/10.1145/3174910.3174936>.
- [95] Tero Jokela, Jarno Ojala, and Kaisa Väänänen. How People Use 360-Degree Cameras. In *Proceedings of the 18th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, MUM '19*, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:10.1145/3365610.3365645.

- [96] Brennan Jones, Kody Dillman, Richard Tang, Anthony Tang, Ehud Sharlin, Lora Oehlberg, Carman Neustaedter, and Scott Bateman. Elevating Communication, Collaboration, and Shared Experiences in Mobile Video through Drones. In *Proceedings of the 2016 ACM Conference on Designing Interactive Systems*, DIS '16, page 1123–1135, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2901790.2901847.
- [97] Brett R. Jones, Hrvoje Benko, Eyal Ofek, and Andrew D. Wilson. IllumiRoom: Peripheral Projected Illusions for Interactive Experiences. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pages 869–878, New York, NY, USA, 2013. ACM. URL: <https://doi.org/10.1145/2470654.2466112>.
- [98] G. Jones, N. Berthouze, R. Bielski, and S. Julier. Towards a situated, multimodal interface for multiple UAV control. In *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 1739–1744, 2010. doi:10.1109/ROBOT.2010.5509960.
- [99] Oskar Juhlin, Yanqing Zhang, Jinyi Wang, and Anders Andersson. Fashionable Services for Wearables: Inventing and Investigating a New Design Path for Smart Watches. In *Proceedings of the 9th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, NordiCHI '16, New York, NY, USA, 2016. ACM. doi:10.1145/2971485.2971505.
- [100] Shaun K. Kane, Chandrika Jayant, Jacob O. Wobbrock, and Richard E. Ladner. Freedom to Roam: A Study of Mobile Device Adoption and Accessibility for People with Visual and Motor Disabilities. In *ASSETS '09*, 2009. URL: <https://doi.org/10.1145/1639642.1639663>.
- [101] Hao Kang, Haoxiang Li, Jianming Zhang, Xin Lu, and Bedrich Benes. FlyCam: Multi-touch Gesture Controlled Drone Gimbal Photography. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(4):3717–3724, 2018. doi:10.1109/LRA.2018.2856271.
- [102] Kari Daniel Karjalainen, Anna Elisabeth Sofia Romell, Photchara Ratsamee, Asim Evren Yantac, Morten Fjeld, and Mohammad Obaid. Social Drone Companion for the Home Environment: A User-Centric Exploration. In *Proceedings of the 5th International Conference on Human Agent Interaction*, HAI '17, page 89–96, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3125739.3125774.
- [103] K. D. Katyal, M. S. Johannes, T. G. McGee, A. J. Harris, R. S. Armiger, A. H. Firpi, D. McMullen, G. Hotson, M. S. Fifer, N. E. Crone, R. J. Vogelstein, and B. A. Wester. HARMONIE: A multimodal control framework for human assistive robotics. In *NET '13*, pages 1274–1278, 2013. URL: <https://doi.org/10.1109/NER.2013.6696173>.
- [104] Md. Nafiz Hasan Khan and Carman Neustaedter. An Exploratory Study of the Use of Drones for Assisting Firefighters During Emergency Situations. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, page 1–14, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3290605.3300502.
- [105] Bomyeong Kim, Hyun Young Kim, and Jinwoo Kim. Getting Home Safely with Drone. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct*, UbiComp '16, page 117–120, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2968219.2971426.
- [106] Jee-Eun Kim, Mesahiro Bessho, and Ken Sakamura. Towards a Smartwatch Application to Assist Students with Disabilities in an IoT-enabled Campus. In *Proc. of the IEEE*

- 1st Global Conference on Life Sciences and Technologies, LifeTech '19*, pages 243–246, 2019. doi:[10.1109/LifeTech.2019.8883995](https://doi.org/10.1109/LifeTech.2019.8883995).
- [107] Tim Kindberg, Mirjana Spasojevic, Rowanne Fleck, and Abigail Sellen. The Ubiquitous Camera: An In-Depth Study of Camera Phone Use. *IEEE Pervasive Computing*, 4(2):42–50, April 2005. doi:[10.1109/MPRV.2005.42](https://doi.org/10.1109/MPRV.2005.42).
- [108] Hwayeon Kong, Frank Biocca, Taeyang Lee, Kihyuk Park, Jeonghoon Rhee, and Marco Porta. Effects of Human Connection through Social Drones and Perceived Safety. *Adv. in Hum.-Comp. Int.*, 2018, jan 2018. doi:[10.1155/2018/9280581](https://doi.org/10.1155/2018/9280581).
- [109] Kavita Krishnaswamy and Ravi Kuber. Toward the development of a BCI and gestural interface to support individuals with physical disabilities. In *Proceedings of the 14th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS '12*, page 229–230, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/2384916.2384967](https://doi.org/10.1145/2384916.2384967).
- [110] Maria Kyrarini, Quan Zheng, Muhammad A. Haseeb, and Axel Gräser. Robot Learning of Assistive Manipulation Tasks by Demonstration via Head Gesture-based Interface. In *Proc. of the IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics*, pages 1139–1146, 2019. doi:[10.1109/ICORR.2019.8779379](https://doi.org/10.1109/ICORR.2019.8779379).
- [111] Christine Kühnel, Tilo Westermann, Fabian Hemmert, Sven Kratz, Alexander Müller, and Sebastian Möller. I'm home: Defining and evaluating a gesture set for smart-home control. *International Journal of Human-Computer Studies*, 69(11):693–704, 2011. doi:[10.1016/j.ijhcs.2011.04.005](https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2011.04.005).
- [112] Joseph La Delfa, Robert Jarvis, Rohit Ashok Khot, and Florian 'Floyd' Mueller. Tai Chi In The Clouds: Using Micro UAV's To Support Tai Chi Practice. In *Proceedings of the 2018 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play Companion Extended Abstracts, CHI PLAY '18 Extended Abstracts*, page 513–519, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3270316.3271511](https://doi.org/10.1145/3270316.3271511).
- [113] Jangwon Lee, Haodan Tan, David Crandall, and Selma Šabanović. Forecasting Hand Gestures for Human-Drone Interaction. *HRI '18*, page 167–168, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3173386.3176967](https://doi.org/10.1145/3173386.3176967).
- [114] Sang-won Leigh, Harshit Agrawal, and Pattie Maes. A Flying Pantograph: Interleaving Expressivity of Human and Machine. In *Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '16, page 653–657, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/2839462.2856347](https://doi.org/10.1145/2839462.2856347).
- [115] Luis A. Leiva, Matjaz Kljun, Christian Sandor, and Klen Copic Pucihar. The Wearable Radar: Sensing Gestures Through Fabrics. In *22nd International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '20*, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3406324.3410720](https://doi.org/10.1145/3406324.3410720).
- [116] Changzhi Li, Zhengyu Peng, Tien-Yu Huang, Tenglong Fan, Fu-Kang Wang, Tzyy-Sheng Horng, Jose-Maria Munoz-Ferreras, Roberto Gomez-Garcia, Lixin Ran, and Jenshan Lin. A Review on Recent Progress of Portable Short-Range Noncontact Microwave Radar Systems. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, PP:1–15, 01 2017. doi:[10.1109/TMTT.2017.2650911](https://doi.org/10.1109/TMTT.2017.2650911).
- [117] Zheng Li, Ryan Robucci, Nilanjan Banerjee, and Chintan Patel. Tongue-n-cheek: non-contact tongue gesture recognition. In *Proceedings of the 14th International Conference*

- on *Information Processing in Sensor Networks*, IPSN '15, page 95–105, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/2737095.2737109](https://doi.org/10.1145/2737095.2737109).
- [118] Alessandro Liberati, Douglas Altman, Jennifer Tetzlaff, Cynthia Mulrow, Peter Gøtzsche, John Ioannidis, Mike Clarke, P.J. Devereaux, Joseph Kleijnen, and David Moher. The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *Journal of clinical epidemiology*, 62:e1–34, 08 2009. doi:[10.1016/j.jclinepi.2009.06.006](https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.006).
- [119] Jaime Lien, Nicholas Gillian, M. Karagozler, Patrick Amihood, Carsten Schwesig, Erik Olson, Hakim Raja, and Ivan Poupyrev. Soli: Ubiquitous Gesture Sensing with Millimeter Wave Radar. *ACM Transactions on Graphics*, 35:1–19, 07 2016. doi:[10.1145/2897824.2925953](https://doi.org/10.1145/2897824.2925953).
- [120] Marc Lieser, Ulrich Schwanecke, and Jörg Berdux. Tactile Human-Quadrotor Interaction: MetroDrone. In *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3430524.3440649](https://doi.org/10.1145/3430524.3440649).
- [121] Hongnan Lin. Using Passenger Elicitation for Developing Gesture Design Guidelines for Adjusting Highly Automated Vehicle Dynamics. In *Companion Publication of the 2019 on Designing Interactive Systems Conference 2019 Companion*, DIS '19 Companion, page 97–100, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3301019.3324878](https://doi.org/10.1145/3301019.3324878).
- [122] Xing Liu, Tianyu Chen, Feng Qian, Zhixiu Guo, Felix Xiaozhu Lin, Xiaofeng Wang, and Kai Chen. Characterizing Smartwatch Usage in the Wild. In *Proceedings of the 15th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, MobiSys '17, pages 385–398, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:[10.1145/3081333.3081351](https://doi.org/10.1145/3081333.3081351).
- [123] Sara Ljungblad, Yemao Man, Mehmet Aydın Baytaş, Mafalda Gamboa, Mohammad Obaid, and Morten Fjeld. What Matters in Professional Drone Pilots' Practice? An Interview Study to Understand the Complexity of Their Work and Inform Human-Drone Interaction Research. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3411764.3445737](https://doi.org/10.1145/3411764.3445737).
- [124] Andrés Lucero, Jon Mason, Alexander Wiethoff, Bernt Meerbeek, Henrika Pihlajaniemi, and Dzmitry Aliakseyeu. Rethinking Our Interactions with Light. *Interactions*, 23(6):54–59, oct 2016. URL: <https://doi.org/10.1145/3003334>.
- [125] Guan-Chun Luh, Heng-An Lin, Yi-Hsiang Ma, and Chien J. Yen. Intuitive muscle-gesture based robot navigation control using wearable gesture armband. In *Proc. of the 2015 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, volume 1, pages 389–395, 2015. doi:[10.1109/ICMLC.2015.7340953](https://doi.org/10.1109/ICMLC.2015.7340953).
- [126] Xun Luo, R.V. Kenyon, T. Kline, H.C. Waldinger, and D.G. Kamper. An augmented reality training environment for post-stroke finger extension rehabilitation. In *9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005. ICORR 2005.*, pages 329–332, 2005. doi:[10.1109/ICORR.2005.1501112](https://doi.org/10.1109/ICORR.2005.1501112).
- [127] Nathan Magrofuoco, Paolo Roselli, and Jean Vanderdonckt. Two-Dimensional Stroke Gesture Recognition: A Survey. *ACM Comput. Surv.*, 54(7), jul 2021. doi:[10.1145/3465400](https://doi.org/10.1145/3465400).



- [128] Meethu Malu, Pramod Chundury, and Leah Findlater. Exploring Accessible Smartwatch Interactions for People with Upper Body Motor Impairments. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–12, New York, NY, USA, 2018. ACM. URL: <https://doi.org/10.1145/3173574.3174062>.
- [129] Meethu Malu and Leah Findlater. "OK Glass?" A Preliminary Exploration of Google Glass for Persons with Upper Body Motor Impairments. In *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*, ASSETS '14, pages 267–268, New York, NY, USA, 2014. ACM. doi:10.1145/2661334.2661400.
- [130] Meethu Malu and Leah Findlater. Personalized, Wearable Control of a Head-Mounted Display for Users with Upper Body Motor Impairments. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pages 221–230, New York, NY, USA, 2015. ACM. doi:10.1145/2702123.2702188.
- [131] Meethu Malu and Leah Findlater. Toward Accessible Health and Fitness Tracking for People with Mobility Impairments. In *Proceedings of the 10th EAI International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, PervasiveHealth '16, pages 170–177. ICST, 2016. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3021319.3021344>.
- [132] Meethu Malu and Leah Findlater. Sharing Automatically Tracked Activity Data: Implications for Therapists and People with Mobility Impairments. In *Proceedings of the 11th EAI International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, PervasiveHealth '17, pages 136–145, New York, NY, USA, 2017. ACM. doi:10.1145/3154862.3154864.
- [133] T. Matsubara, J. V. Miro, D. Tanaka, J. Poon, and K. Sugimoto. Sequential intention estimation of a mobility aid user for intelligent navigational assistance. In *Proc. of ROMAN '15*, pages 444–449, 2015. URL: <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2015.7333580>.
- [134] Donald McMillan, Barry Brown, Airi Lampinen, Moira McGregor, Eve Hoggan, and Stefania Pizza. *Situating Wearables: Smartwatch Use in Context*, pages 3582–3594. ACM, New York, NY, USA, 2017. URL: <https://doi.org/10.1145/3025453.3025993>.
- [135] Silvia Mirri, Ludovico Antonio Muratori, and Paola Salomoni. Monitoring Accessibility: Large Scale Evaluations at a Geo Political Level. In *The Proceedings of the 13th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ASSETS '11, page 163–170, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2049536.2049566.
- [136] Silvia Mirri, Catia Prandi, and Paola Salomoni. Human-Drone Interaction: State of the Art, Open Issues and Challenges. In *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2019 Workshop on Mobile AirGround Edge Computing, Systems, Networks, and Applications*, MAGESys'19, page 43–48, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3341568.3342111.
- [137] S. MohaimenianPour and R. Vaughan. Hands and Faces, Fast: Mono-Camera User Detection Robust Enough to Directly Control a UAV in Flight. In *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 5224–5231, 2018. doi:10.1109/IROS.2018.8593709.
- [138] Mani Monajjemi, Sepehr Mohaimenianpour, and Richard Vaughan. UAV, come to me: End-to-end, multi-scale situated HRI with an uninstrumented human and a distant UAV. In *2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 4410–4417, 2016. doi:10.1109/IROS.2016.7759649.

- [139] Valiallah Mani Monajjemi, Jens Wawerla, Richard Vaughan, and Greg Mori. HRI in the sky: Creating and commanding teams of UAVs with a vision-mediated gestural interface. In *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 617–623, 2013. doi:10.1109/IRoS.2013.6696415.
- [140] Jawad Nagi, Alessandro Giusti, Gianni A. Di Caro, and Luca M. Gambardella. Human Control of UAVs Using Face Pose Estimates and Hand Gestures. In *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, HRI '14*, page 252–253, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2559636.2559833.
- [141] Nadia Nasri, Francisco Gomez-Donoso, Sergio Orts-Escolano, and Miguel Cazorla. Using Inferred Gestures from sEMG Signal to Teleoperate a Domestic Robot for the Disabled. In Ignacio Rojas, Gonzalo Joya, and Andreu Catala, editors, *Advances in Computational Intelligence*, pages 198–207, Cham, 2019. Springer International Publishing. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20518-8\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20518-8_17).
- [142] Soliman Nasser, Andrew Barry, Marek Doniec, Guy Peled, Guy Rosman, Daniela Rus, Mikhail Volkov, and Dan Feldman. Fleye on the Car: Big Data Meets the Internet of Things. In *Proceedings of the 14th International Conference on Information Processing in Sensor Networks, IPSN '15*, page 382–383, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2737095.2742919.
- [143] Alfredo Navarra, Cristina Pinotti, Mario Francesco, and Sajal Das. Interference-free scheduling with minimum latency in cluster-based wireless sensor networks. *Wireless Networks*, 21, 02 2015. doi:10.1007/s11276-015-0925-0.
- [144] Michael Nebeling, Alexandra To, Anhong Guo, Adrian A. de Freitas, Jaime Teevan, Steven P. Dow, and Jeffrey P. Bigham. WearWrite: Crowd-Assisted Writing from Smartwatches. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 3834–3846, New York, NY, USA, 2016. ACM. URL: <https://doi.org/10.1145/2858036.2858169>.
- [145] Tatsuya Nomura, Tomohiro Suzuki, Takayuki Kanda, and Kensuke Kato. Altered attitudes of people toward robots: Investigation through the Negative Attitudes toward Robots Scale. 01 2006. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:15481603>.
- [146] Hiroki Nozaki. Flying Display: A Movable Display Pairing Projector and Screen in the Air. In *CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '14*, page 909–914, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2559206.2579410.
- [147] Mohammad Obaid, Felix Kistler, Gabrielundefined Kasparavičiūtundefined, Asim Evren Yantaç, and Morten Fjeld. How Would You Gesture Navigate a Drone? A User-Centered Approach to Control a Drone. In *Proceedings of the 20th International Academic Mindtrek Conference, AcademicMindtrek '16*, page 113–121, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2994310.2994348.
- [148] Marianna Obrist, Pablo Cesar, David Geerts, Tom Bartindale, and Elizabeth F. Churchill. Online Video and Interactive TV Experiences. *Interactions*, 22(5):32–37, aug 2015. doi:10.1145/2799629.
- [149] S. A. Offermans, H. A. Essen, and J. H. Eggen. User Interaction with Everyday Lighting Systems. *Personal Ubiquitous Comput.*, 18(8):2035–2055, dec 2014. URL: <https://doi.org/10.1007/s00779-014-0759-2>.

- [150] Evan O’Keeffe, Abraham Campbell, David Swords, Debra F.Laefer, and Eleni Mangina. Oculus Rift Application for Training Drone Pilots. In *Proceedings of the 10th EAI International Conference on Simulation Tools and Techniques*, SIMUTOOLS ’17, page 77–80, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery. doi: [10.1145/3173519.3173531](https://doi.org/10.1145/3173519.3173531).
- [151] Susanna Paasovaara, Andrés Lucero, and Thomas Olsson. Outlining the Design Space of Playful Interactions between Nearby Strangers. In *Proceedings of the 20th International Academic Mindtrek Conference*, AcademicMindtrek ’16, page 216–225, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. doi: [10.1145/2994310.2994344](https://doi.org/10.1145/2994310.2994344).
- [152] Sameera Palipana, Dariush Salami, Luis A. Leiva, and Stephan Sigg. Pantomime: Mid-Air Gesture Recognition with Sparse Millimeter-Wave Radar Point Clouds. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, 5(1), mar 2021. doi: [10.1145/3448110](https://doi.org/10.1145/3448110).
- [153] Diogo Pedrosa and Maria da Graça C. Pimentel. Text Entry Using a Foot for Severely Motor-Impaired Individuals. In *Proc. of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, SAC ’14, pages 957–963, New York, NY, USA, 2014. ACM. doi: [10.1145/2554850.2554948](https://doi.org/10.1145/2554850.2554948).
- [154] Catherine Plaisant, Allison Druin, Corinna Lathan, Kapil Dakhane, Kris Edwards, Jack Maxwell Vice, and Jaime Montemayor. A storytelling robot for pediatric rehabilitation. In *Proceedings of the Fourth International ACM Conference on Assistive Technologies*, Assets ’00, page 50–55, New York, NY, USA, 2000. Association for Computing Machinery. doi: [10.1145/354324.354338](https://doi.org/10.1145/354324.354338).
- [155] L. Pomsar, N. Ferencik, M. Jascur, and M. Bundzel. Using surface electromyography for gesture detection. In *Proc. of the IEEE 17th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*, pages 95–100, 2019. doi: [10.1109/SAMI.2019.8782744](https://doi.org/10.1109/SAMI.2019.8782744).
- [156] Irina Popovici, Ovidiu-Andrei Schipor, and Radu-Daniel Vatavu. Hover: Exploring cognitive maps and mid-air pointing for television control. *International Journal of Human-Computer Studies*, 129:95–107, 2019. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.03.012>.
- [157] J. Eduardo Pérez, Myriam Arrue, Xabier Valencia, and Julio Abascal. Longitudinal Study of Two Virtual Cursors for People With Motor Impairments: A Performance and Satisfaction Analysis on Web Navigation. *IEEE Access*, 06 2020. doi: [10.1109/ACCESS.2020.3001766](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3001766).
- [158] Vijay Rajanna. Gaze Typing Through Foot-Operated Wearable Device. In *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ASSETS ’16, pages 345–346, New York, NY, USA, 2016. ACM. doi: [10.1145/2982142.2982145](https://doi.org/10.1145/2982142.2982145).
- [159] Holger Regenbrecht, Simon Hoermann, Graham McGregor, Brian Dixon, Elizabeth Franz, Claudia Ott, Leigh Hale, Thomas Schubert, and Julia Hoermann. Visual manipulations for motor rehabilitation. *Computers & Graphics*, 36(7):819–834, 2012. Augmented Reality Computer Graphics in China. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0097849312001136>, doi: [10.1016/j.cag.2012.04.012](https://doi.org/10.1016/j.cag.2012.04.012).
- [160] João G. P. Rodrigues, Mariana Kaiseler, Ana Aguiar, João P. Silva Cunha, and João Barros. A Mobile Sensing Approach to Stress Detection and Memory Activation for Public Bus Drivers. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(6):3294–3303, 2015. doi: [10.1109/TITS.2015.2445314](https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2445314).

- [161] Carine Rognon, Stefano Mintchev, Fabio Dell’Agnola, Alexandre Cherpillod, David Atienza, and Dario Floreano. FlyJacket: An Upper Body Soft Exoskeleton for Immersive Drone Control. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(3):2362–2369, 2018. doi:[10.1109/LRA.2018.2810955](https://doi.org/10.1109/LRA.2018.2810955).
- [162] Calvin Rubens, Sean Braley, Julie Torpegaard, Nicklas Lind, Roel Vertegaal, and Tim Merritt. Flying LEGO Bricks: Observations of Children Constructing and Playing with Programmable Matter. pages 193–205, 02 2020. doi:[10.1145/3374920.3374948](https://doi.org/10.1145/3374920.3374948).
- [163] Jose Luis Sanchez-Lopez, Ramón A. Suárez Fernández, Hriday Bavle, Carlos Sampe-dro, Martin Molina, Jesus Pestana, and Pascual Campoy. AEROSTACK: An architec-ture and open-source software framework for aerial robotics. In *2016 International Con-ference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, pages 332–341, 2016. doi:[10.1109/ICUAS.2016.7502591](https://doi.org/10.1109/ICUAS.2016.7502591).
- [164] Florian Schneider and Brian Berenbach. A Literature Survey on International Stan-dards for Systems Requirements Engineering. *Procedia Computer Science*, 16:796–805, 2013. 2013 Conference on Systems Engineering Research. doi:[10.1016/j.procs.2013.01.083](https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.01.083).
- [165] Valerii Serpiva, Ekaterina Karmanova, Aleksey Fedoseev, Stepan Perminov, and Dzmitry Tsetserukou. DronePaint: Swarm Light Painting with DNN-Based Gesture Recognition. In *ACM SIGGRAPH 2021 Emerging Technologies*, SIGGRAPH ’21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3450550.3465349](https://doi.org/10.1145/3450550.3465349).
- [166] Matthias Seuter, Eduardo Rodriguez Macrillante, Gernot Bauer, and Christian Kray. Run-ning with Drones: Desired Services and Control Gestures. In *Proc. of the 30th Aus-tralian Conf. on Computer-Human Interaction*, OzCHI ’18, page 384–395. ACM, 2018. doi:[10.1145/3292147.3292156](https://doi.org/10.1145/3292147.3292156).
- [167] Teddy Seyed. Technology Meets Fashion: Exploring Wearables, Fashion Tech and Haute Tech Couture. In *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA ’19, pages 1–5, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:[10.1145/3290607.3299075](https://doi.org/10.1145/3290607.3299075).
- [168] Alireza Sahami Shirazi and Niels Henze. Assessment of Notifications on Smartwatches. In *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct*, MobileHCI ’15, pages 1111–1116, New York, NY, USA, 2015. ACM. doi:[10.1145/2786567.2794338](https://doi.org/10.1145/2786567.2794338).
- [169] Prakash Shrestha and Nitesh Saxena. An Offensive and Defensive Exposition of Wear-able Computing. *ACM Comput. Surv.*, 50(6), November 2017. URL: <https://doi.org/10.1145/3133837>.
- [170] Andy P. Siddaway, Alex M. Wood, and Larry V. Hedges. How to Do a Systematic Review: A Best Practice Guide for Conducting and Reporting Narrative Reviews, Meta-Analyses, and Meta-Syntheses. *Annual Review of Psychology*, 70(1):747–770, 2019. doi:[doi:10.1146/annurev-psych-010418-102803](https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102803).
- [171] Alexandru-Ionuț Șiean. SkySculptor: Intuitive Drone Control Through Ground-Integrated Radar and Foot Gestures in Smart Indoor Environments. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(2), 2024. URL: <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0150204>, doi:[10.14569/IJACSA.2024.0150204](https://doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0150204).
- [172] Alexandru-Ionuț Șiean, Bogdanel-Constantin Gradinaru, Ovidiu-Ionuț Gherman, Mirela Danubianu, and Laurentiu-Dan Milici. Opportunities and Challenges in Human-Swarm

- Interaction: Systematic Review and Research Implications. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(4), 2023. URL: <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140499>, doi:10.14569/IJACSA.2023.0140499.
- [173] Alexandru-Ionuț Șiean, Cristian Pamparau, Arthur Sluÿters, Radu-Daniel Vatavu, and Jean Vanderdonckt. Flexible gesture input with radars: systematic literature review and taxonomy of radar sensing integration in ambient intelligence environments. pages 1–15, 2023. doi:10.1007/s12652-023-04606-9.
- [174] Alexandru-Ionuț Șiean, Cristian Pamparău, and Radu-Daniel Vatavu. Scenario-Based Exploration of Integrating Radar Sensing into Everyday Objects for Free-Hand Television Control. In *ACM International Conference on Interactive Media Experiences, IMX '22*, page 357–362, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3505284.3532982.
- [175] Alexandru-Ionuț Șiean and Radu-Daniel Vatavu. Wearable Interactions for Users with Motor Impairments: Systematic Review, Inventory, and Research Implications. In *Proceedings of the 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS '21*, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3441852.3471212.
- [176] Alexandru-Ionuț Șiean, Radu-Daniel Vatavu, and Jean Vanderdonckt. Taking That Perfect Aerial Photo: A Synopsis of Interactions for Drone-Based Aerial Photography and Video. In *ACM International Conference on Interactive Media Experiences, IMX '21*, page 275–279, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3452918.3465484.
- [177] Alexandru-Ionuț Șiean, Laura-Bianca Bilius, and Radu-Daniel Vatavu. Assistive Technology in the Synchrony Between Ambient Intelligence and Mixed Reality for People with Motor Disabilities. pages 23–33, 09 2022. doi:10.1007/978-3-031-06894-2\_3.
- [178] Y. Silva, W. Simões, M. Teófilo, E. Naves, and V. Lucena. Training environment for electric powered wheelchairs using teleoperation through a head mounted display. In *Proc. of ICCE '18*, pages 1–2, 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/ICCE.2018.8326101>.
- [179] D. A. Sinyukov, R. Li, N. W. Otero, R. Gao, and T. Padir. Augmenting a voice and facial expression control of a robotic wheelchair with assistive navigation. In *SMC '14*, pages 1088–1094, 2014. URL: <https://doi.org/10.1109/SMC.2014.6974059>.
- [180] M. I. Skolnik. Introduction to radar. Radar handbook. 2021.
- [181] Arthur Sluÿters, Sébastien Lambot, and Jean Vanderdonckt. Hand Gesture Recognition for an Off-the-Shelf Radar by Electromagnetic Modeling and Inversion. In *Proceedings of 27th ACM International Conference on Intelligent User Interfaces, IUI '22*, pages 506–522, New York, NY, USA, 2022. ACM. URL: <https://doi.org/10.1145/3490099.3511107>.
- [182] Maximilian Speicher, Brian D. Hall, and Michael Nebeling. What is Mixed Reality? In *CHI '19*, page 1–15, New York, NY, USA, 2019. ACM. URL: <https://doi.org/10.1145/3290605.3300767>.
- [183] Kashmiri Stec and Lars Bo Larsen. Gestures for Controlling a Moveable TV. In *Proceedings of the 2018 ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video, TVX '18*, page 5–14, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3210825.3210831.

- [184] Yoshitaka Takaku, Yohei Kaieda, Tao Yu, and Kei Sakaguchi. Proof-of-Concept of Uncompressed 4K Video Transmission from Drone through MmWave. In *2020 IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, page 1–6. IEEE Press, 2020. doi:[10.1109/CCNC46108.2020.9045397](https://doi.org/10.1109/CCNC46108.2020.9045397).
- [185] Haodan Tan, Jangwon Lee, and Gege Gao. Human-Drone Interaction: Drone Delivery; Services for Social Events. In *Proceedings of the 2018 ACM Conference Companion Publication on Designing Interactive Systems, DIS '18 Companion*, page 183–187, New York, NY, USA, 2018. ACM. doi:[10.1145/3197391.3205433](https://doi.org/10.1145/3197391.3205433).
- [186] Yanke Tan, Sang Ho Yoon, and Karthik Ramani. BikeGesture: User Elicitation and Performance of Micro Hand Gesture as Input for Cycling. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '17*, page 2147–2154, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/3027063.3053075](https://doi.org/10.1145/3027063.3053075).
- [187] Evgeny Tsykunov and Dzmitry Tsetserukou. WiredSwarm: High Resolution Haptic Feedback Provided by a Swarm of Drones to the User's Fingers for VR Interaction. In *25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '19*, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:[10.1145/3359996.3364789](https://doi.org/10.1145/3359996.3364789).
- [188] Radu-Daniel Vatavu. Point&Click Mediated Interactions for Large Home Entertainment Displays. *Multimedia Tools Appl.*, 59(1):113–128, jul 2012. doi:[10.1007/s11042-010-0698-5](https://doi.org/10.1007/s11042-010-0698-5).
- [189] Radu-Daniel Vatavu. User-Defined Gestures for Free-Hand TV Control. In *Proceedings of the 10th European Conference on Interactive TV and Video, EuroITV '12*, page 45–48, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/2325616.2325626](https://doi.org/10.1145/2325616.2325626).
- [190] Radu-Daniel Vatavu. Beyond Features for Recognition: Human-Readable Measures to Understand Users' Whole-Body Gesture Performance. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 33, 01 2017. doi:[10.1080/10447318.2017.1278897](https://doi.org/10.1080/10447318.2017.1278897).
- [191] Radu-Daniel Vatavu. Smart-Pockets: Body-Deictic Gestures for Fast Access to Personal Data during Ambient Interactions. *International Journal of Human-Computer Studies*, 103:1–21, 2017. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.01.005>.
- [192] Radu-Daniel Vatavu and Laura-Bianca Bilius. GestuRING: A Web-Based Tool for Designing Gesture Input with Rings, Ring-Like, and Ring-Ready Devices. In *Proc. of UIST '21*, page 710–723, New York, NY, USA, 2021. ACM.
- [193] Radu-Daniel Vatavu and Stefan-Gheorghe Pentiu. Interactive Coffee Tables: Interfacing TV within an Intuitive, Fun and Shared Experience. In *Proceedings of the 6th European Conference on Changing Television Environments, EUROITV '08*, pages 183–187, Berlin, Heidelberg, 2008. Springer-Verlag. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-69478-6\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-540-69478-6_24).
- [194] Radu-Daniel Vatavu and Ovidiu-Ciprian Ungurean. Stroke-Gesture Input for People with Motor Impairments: Empirical Results & Research Roadmap. In *Proc. of CHI '19, CHI '19*, page 1–14, New York, NY, USA, 2019. ACM. URL: <https://doi.org/10.1145/3290605.3300445>.
- [195] Radu-Daniel Vatavu and Ionut-Alexandru Zaiti. Leap Gestures for TV: Insights from an Elicitation Study. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive*

- Experiences for TV and Online Video*, TVX '14, page 131–138, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery. doi:[10.1145/2602299.2602316](https://doi.org/10.1145/2602299.2602316).
- [196] Klen Čopič Pucihar, Christian Sandor, Matjaž Kljun, Wolfgang Huerst, Alexander Plopski, Takafumi Taketomi, Hirokazu Kato, and Luis A. Leiva. The Missing Interface: Micro-Gestures on Augmented Objects. In *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '19, page 1–6, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:[10.1145/3290607.3312986](https://doi.org/10.1145/3290607.3312986).
- [197] Carlos Velasco, Yunwen Tu, and Marianna Obrist. Towards Multisensory Storytelling with Taste and Flavor. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Multisensory Approaches to Human-Food Interaction*, MHFI'18, New York, NY, USA, 2018. ACM. doi:[10.1145/3279954.3279956](https://doi.org/10.1145/3279954.3279956).
- [198] Eduardo Velloso, Dominik Schmidt, Jason Alexander, Hans Gellersen, and Andreas Bulling. The Feet in Human–Computer Interaction: A Survey of Foot-Based Interaction. *ACM Comput. Surv.*, 48(2), sep 2015. doi:[10.1145/2816455](https://doi.org/10.1145/2816455).
- [199] Vinoba Vinayagamoorthy, Maxine Glancy, Christoph Ziegler, and Richard Schäffer. Personalising the TV Experience Using Augmented Reality: An Exploratory Study on Delivering Synchronised Sign Language Interpretation. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, page 1–12, New York, NY, USA, 2019. ACM. doi:[10.1145/3290605.3300762](https://doi.org/10.1145/3290605.3300762).
- [200] András Várhelyi, Clemens Kaufmann, Carl Johnsson, and Sverker Almqvist. Driving with and without automation on the motorway – an observational study. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 25(6):587–608, 2021. doi:[10.1080/15472450.2020.1738230](https://doi.org/10.1080/15472450.2020.1738230).
- [201] Florian Wahl, Martin Freund, and Oliver Amft. Using Smart Eyeglasses as a Wearable Game Controller. In *Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers*, UbiComp/ISWC'15 Adjunct, pages 377–380, New York, NY, USA, 2015. ACM. doi:[10.1145/2800835.2800914](https://doi.org/10.1145/2800835.2800914).
- [202] Ker-Jiun Wang, Q. Liu, Y. Zhao, C. Y. Zheng, S. Vhasure, Q. Liu, P. Thakur, M. Sun, and Z. Mao. Intelligent Wearable Virtual Reality (VR) Gaming Controller for People with Motor Disabilities. In *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality*, AIVR '18, pages 161–164, 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/AIVR.2018.00034>.
- [203] Ker-Jiun Wang, Quanbo Liu, Soumya Vhasure, Quanfeng Liu, Caroline Yan Zheng, and Prakash Thakur. EXG Wearable Human-Machine Interface for Natural Multimodal Interaction in VR Environment. In *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '18, New York, NY, USA, 2018. ACM. doi:[10.1145/3281505.3281577](https://doi.org/10.1145/3281505.3281577).
- [204] Ker-Jiun Wang, Hsiao-Wei Tung, Zihang Huang, Prakash Thakur, Zhi-Hong Mao, and Ming-Xian You. EXGbuds: Universal Wearable Assistive Device for Disabled People to Interact with the Environment Seamlessly. In *Companion of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, HRI '18, pages 369–370, New York, NY, USA, 2018. ACM. doi:[10.1145/3173386.3177836](https://doi.org/10.1145/3173386.3177836).
- [205] Ker-Jiun Wang, Caroline Yan Zheng, and Zhi-Hong Mao. Human-Centered, Ergonomic Wearable Device with Computer Vision Augmented Intelligence for VR Multimodal

- Human-Smart Home Object Interaction. In *Proceedings of the 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, HRI '19, pages 767–768. IEEE Press, 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/HRI.2019.8673156>.
- [206] Anna Wojciechowska, Jeremy Frey, Sarit Sass, Roy Shafir, and Jessica R. Cauchard. Collocated Human-Drone Interaction: Methodology and Approach Strategy. In *2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 172–181, 2019. doi:10.1109/HRI.2019.8673127.
- [207] Anna Wojciechowska, Jeremy Frey, Sarit Sass, Roy Shafir, and Jessica R. Cauchard. Collocated human-drone interaction: methodology and approach strategy. In *Proceedings of the 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, HRI '19, page 172–181. IEEE Press, 2020. doi:10.5555/3378680.3378708.
- [208] Alex Wong, Anqi Xu, and Gregory Dudek. Investigating Trust Factors in Human-Robot Shared Control: Implicit Gender Bias Around Robot Voice. In *2019 16th Conference on Computer and Robot Vision (CRV)*, pages 195–200, 2019. doi:10.1109/CRV.2019.00034.
- [209] Richmond Y. Wong and Deirdre K. Mulligan. These Aren't the Autonomous Drones You're Looking for: Investigating Privacy Concerns through Concept Videos. *J. Hum.-Robot Interact.*, 5(3):26–54, December 2016. doi:10.5898/JHRI.5.3.Wong.
- [210] Yukang Yan, Chun Yu, Xin Yi, and Yuanchun Shi. HeadGesture: Hands-Free Input Approach Leveraging Head Movements for HMD Devices. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, 2(4), December 2018. doi:10.1145/3287076.
- [211] Alexander Yeh, Photchara Ratsamee, Kiyoshi Kiyokawa, Yuki Uranishi, Tomohiro Mashita, Haruo Takemura, Morten Fjeld, and Mohammad Obaid. Exploring Proxemics for Human-Drone Interaction. In *Proceedings of the 5th International Conference on Human Agent Interaction*, HAI '17, page 81–88, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3125739.3125773.
- [212] Y. Yu, X. Wang, Z. Zhong, and Y. Zhang. ROS-based UAV control using hand gesture recognition. In *Proc. of the 29th Chinese Control And Decision Conference*, pages 6795–6799, 2017. URL: <https://doi.org/10.1109/CCDC.2017.7978402>.
- [213] Ionut-Alexandru Zaiti, Stefan-Gheorghe Pentiu, and Radu-Daniel Vatavu. On Free-Hand TV Control: Experimental Results on User-Elicited Gestures with Leap Motion. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19(5-6):821–838, 2015. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-015-0863-y>.
- [214] D. Zhang, Y. Shen, S. K. Ong, and A. Y. C. Nee. An Affordable Augmented Reality Based Rehabilitation System for Hand Motions. In *2010 Int. Conf. on Cyberworlds*, pages 346–353, 2010. URL: <https://doi.org/10.1109/CW.2010.31>.
- [215] Huiyu Zhou and Huosheng Hu. Human Motion Tracking for Rehabilitation - A survey. *Biomedical Signal Processing and Control*, 3(1):1–18, January 2008. URL: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2007.09.001>.
- [216] Zhilan Zhou, Jian Xu, Aruna Balasubramanian, and Donald E. Porter. A Survey of Patterns for Adapting Smartphone App UIs to Smart Watches. In *Proc. of the 22nd International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '20, New York, NY, USA, 2020. ACM. doi:10.1145/3379503.3403564.



- [217] M. Zolotas, J. Elsdon, and Y. Demiris. Head-Mounted Augmented Reality for Explainable Robotic Wheelchair Assistance. In *IROS '18*, pages 1823–1829, 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/IROS.2018.8594002>.



Universitatea  
Ștefan cel Mare  
Suceava

Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava

720229, Suceava, România

str.Universității nr.13

tel: 0230 216 147

0230 522 978

fax: 0230 520 080