



Universitatea
Ștefan cel Mare
Suceava

Facultatea de Inginerie
Electrică și Știința
Calculatoarelor

TEZĂ DE DOCTORAT

DOMENIUL: CALCULATOARE ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI

*Tehnici și sisteme de tip lifelogging
pentru înregistrarea vieții
personale folosind ochelari smart
cu camere video integrate*

REZUMAT

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

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

DOCTORAND:

Ing. Adrian AIORDĂCHIOAE

SUCEAVA, 2023

UNIVERSITATEA “ȘTEFAN CEL MARE” DIN SUCEAVA
FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ ȘI ȘTIINȚA CALCULATOARELOR
*Centrul integrat de cercetare, dezvoltare și inovare pentru Materiale Avansate, Nanotehnologii
și Sisteme Distribuite de fabricație și control (MANSiD)*

Tehnici și sisteme de tip lifelogging pentru înregistrarea vieții personale folosind ochelari smart cu camere video integrate

Domeniul Calculatoare și Tehnologia Informației

Conducător științific:
Prof. univ. dr. ing. Radu-Daniel VATAVU

Doctorand:
Adrian AIORDĂCHIOAE

Suceava, România
2023

Această lucrare de doctorat a fost realizată în cadrul și cu suportul Laboratorului de Mașini Inteligente și Vizualizarea Informației (MintViz) din cadrul Centrului 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

1	Introducere	7
1.1	Contribuțiile lucrării de doctorat	7
1.2	Publicații aferente contribuțiilor științifice din lucrarea de doctorat	9
2	Stadiul actual privind aplicații interactive pentru ochelari smart	11
2.1	Aplicații de realitate augmentată pentru ochelari smart	11
2.2	Tehnici de interacțiune pentru ochelari smart	11
2.3	Sisteme și aplicații lifelogging	12
2.4	Sisteme și aplicații de tip mobile crowdsensing	12
2.5	Sisteme și aplicații pentru partajarea vederii	12
3	LifeTags, un sistem portabil și o aplicație pentru ochelari smart pentru sintetizarea vieții și asistarea cognitivă	13
3.1	Descrierea aplicației	13
3.1.1	Criteriile de proiectare și principiile de operare	13
3.1.2	Implementarea tehnică	14
3.2	Experiment	15
3.3	Rezultate	15
4	LifeTags++, un sistem portabil și o aplicație multi-utilizator și multi-perspectivă pentru asistarea senzorială și cognitivă	16
4.1	Descrierea prototipului	16
4.1.1	Arhitectura software	17
4.2	Aplicația client Android	18
4.3	Aplicația server Node.js	18
4.4	Serviciile cloud de stocare și procesare a imaginilor	18
4.5	Experiment	18
4.5.1	Setul de date	18
4.5.2	Rezultate	20
4.6	Concluzii	20
5	Aplicații LifeTags pentru partajarea vederii	21
5.1	Spațiul conceptual Alternate Reality Broadcast-Time	21
5.1.1	Dimensiunea temporală	22
5.1.2	Dimensiunea difuzării conținutului	22
5.2	Prototipuri demonstrative	23
5.3	Concluzii	23
6	Aplicații LifeTags pentru înregistrarea vieții personale	24
6.1	LifeTags pentru autovehicule conectate	24
6.1.1	Spațiu de proiectare pentru crearea de conținut digital în autovehiculele conectate	24

6.1.2	Descrierea aplicațiilor de tip lifelogging pentru crearea și înregistrarea de conținut digital în autovehiculele conectate	25
6.2	LifeTags pentru crearea jurnalelor alimentare	26
6.2.1	Spațiu de proiectare pentru crearea jurnalelor alimentare	26
6.2.2	Descrierea aplicațiilor de tip lifelogging pentru crearea jurnalelor alimentare	26
6.2.3	Experiment	26
6.3	Concluzii	28
7	LifeTags-MR: Înregistrarea vieții personale în realitatea mixtă	29
7.1	Descrierea aplicației	29
7.2	Experiment	29
7.2.1	Proiectarea experimentului	29
7.2.2	Rezultate	30
7.2.3	Concluzii	30
8	Concluzii	31
8.1	Contribuțiile lucrării de doctorat	31
8.2	Dezvoltări viitoare	33
8.3	Implicarea în proiecte de cercetare	34
	Mulțumiri	35
	Referințe	37

Capitolul 1

Introducere

Înregistrarea digitală a vieții devine din ce în ce mai accesibilă datorită prevalenței și varietății dispozitivelor portabile inteligente (en.: *smart*), cum ar fi ceasurile, brățările și camerele de acțiune de înaltă rezoluție concepute pentru pasionații de sport și aventură. Un alt aspect care impulsionează dezvoltarea aplicațiilor de înregistrare digitală a vieții este reprezentat de costul serviciilor de stocare în baze de date și sisteme de tip cloud, care devine din ce în ce mai scăzut. Conform datelor statistice [34], livrările globale ale dispozitivelor portabile, cum ar fi ceasuri, brățări, ochelari, proteze auditive și a altor dispozitive din aceeași categorie, s-au ridicat la 533,6 milioane de unități în anul 2021 cu o creștere anuală de aproximativ 20%. În acest context, această lucrare de doctorat abordează tematica actuală a tehnicilor și aplicațiilor de tip *lifelogging*¹ pentru înregistrarea vieții personale folosind ochelari smart cu camere video integrate. **Pornind de la stadiul curent al cunoașterii științifice privind aplicații destinate utilizatorilor de ochelari smart, prezint în cadrul acestei lucrări de doctorat contribuții și rezultate originale în suportul activității de înregistrare digitală a vieții folosind aplicații de tip lifelogging.** Activitatea de cercetare din acest domeniu care să utilizeze drept suport al înregistrării digitale ochelari smart cu camere video integrate a fost până acum puțin prezentă în literatura științifică, cu atât mai puțin în ceea ce privește aplicații specifice, cum ar fi *lifelogging pentru autovehicule*² [39], *foodlogging*³ [32], *mobile crowdsensing*⁴ [19], lifelogging în realitatea mixtă sau lifelogging combinat cu partajarea vederii personale către alți utilizatori. [27].

1.1 Contribuțiile lucrării de doctorat

Contribuțiile aduse de această lucrare de doctorat sunt:

- C*₁. Rezultatele unei analize a stadiului curent privind aplicații interactive destinate ochelarilor smart, inclusiv ochelarilor cu camere video integrate, care au indicat o diversitate a acestor aplicații în contextul recent al creșterii disponibilității tehnologiei portabile și accesibilității dispozitivelor portabile la nivel comercial (Capitolul 2). De asemenea, rezultatele unei analize a stadiului curent privind aplicații de tip lifelogging, mobile crowdsensing și partajarea vederii (Capitolul 2), care au scos în evidență o lipsă a investigațiilor științifi-

¹Înregistrarea și stocarea în format digital a vieții personale.

²Lifelogging în contextul utilizării unui autovehicul (en.: *vehicular lifelogging*).

³Lifelogging pentru monitorizarea dietei.

⁴Tehnică prin care un număr mare de persoane care dețin dispozitive mobile cu senzori încorporați folosesc datele furnizate de aceste dispozitive, care permit extragerea informațiilor pentru a măsura, cartografia, analiza, estima procese de interes comun.

face privind exploatarea facilităților oferite de ochelarii smart cu camere video integrate în aceste domenii aplicative.

- C*₂. Introducerea conceptului LifeTags pentru înregistrarea și rezumarea vieții sub formă de nori de cuvinte extrase automat din imagini achiziționate folosind camere video portabile, inclusiv camere video integrate în ochelari smart (Capitolul 3).
- C*₃. Un sistem portabil și o aplicație, folosind o arhitectură software dedicată, care demonstrează conceptul LifeTags pentru ochelari cu camere video integrate, împreună cu o descriere a aspectelor tehnice corespunzătoare implementării practice (Capitolul 3).
- C*₄. Rezultatele unui experiment controlat în care am evaluat conceptul și implementarea LifeTags folosind ochelari cu camere video integrate (Capitolul 3). În urma acestui experiment, a rezultat un set de date alcătuit din 21.600 de imagini de rezoluție full-HD, pe baza căruia am formulat principii de proiectare a aplicațiilor ce folosesc nori de cuvinte pentru rezumarea vieții.
- C*₅. Sistemul portabil și aplicația software LifeTags++, care utilizează mai multe dispozitive simultan pentru înregistrarea vieții, pentru mai mulți utilizatori și din mai multe perspective, folosind o arhitectură software dedicată, actualizată în acord cu abordarea multi-perspectivă și folosind servicii cloud pentru stocarea și procesarea imaginilor și a conceptelor extrase (Capitolul 4).
- C*₆. Rezultatele unui al doilea experiment controlat, în care am evaluat avantajatele aduse de aplicații lifelogging multi-perspectivă, folosind conceptul și sistemul portabil LifeTags++ implementat cu trei camere video care au furnizat diverse perspective, egocentrice și exocentrice, asupra vieții unui utilizator (Capitolul 4).
- C*₇. Un spațiu conceptual cu două dimensiuni, difuzare și timp, denumit Alternate Reality Broadcast Time (ARBT), destinat proiectării aplicațiilor de partajare a realităților vizuale personale, inclusiv prin intermediul aplicațiilor de tip lifelog, către o audiență aflată la distanță (Capitolul 5). De asemenea, patru aplicații software de partajare a vederii utilizatorului achiziționate folosind ochelari smart cu camere video integrate, care demonstrează utilitatea acestui spațiu conceptual (Capitolul 5).
- C*₈. Două spații de proiectare pentru conținut digital în cadrul aplicațiilor de tip lifelogging, împreună cu două aplicații demonstrative folosind ochelari cu camere video integrate pentru două contexte de utilizare: autovehicule conectate și evidența jurnalului alimentar (Capitolul 6).
- C*₉. Extinderea conceptului lifelogging pentru realitatea mixtă și demonstrarea acestuia cu aplicația software LifeTags-MR destinată ochelarilor de realitate mixtă Microsoft HoloLens 2 (Capitolul 7). Aplicația LifeTags-MR înregistrează și realizează un rezumat al vieții utilizatorului atât din perspectiva realității fizice cât și a obiectelor virtuale suprapuse peste aceasta, conform specificului realității mixte. De asemenea, rezultatele unui experiment controlat în care am evaluat aplicația LifeTags-MR confirmă aplicabilitatea conceptului și sistemelor de tip lifelogging pentru medii de realitate mixtă care combină elemente reale și virtuale.

1.2 Publicații aferente contribuțiilor științifice din lucrarea de doctorat

Rezultatele prezentate în cadrul acestei lucrări de doctorat au fost publicate într-un număr de 11 articole științifice, dintre care 7 au fost indexate Web of Science, după cum urmează:

1. **Adrian Aiordăchioae**, Radu-Daniel Vatavu. 2019. LifeTags: A Smartglasses-based System for Recording and Abstracting Life with Tag Clouds. In *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 3, EICS, Article 15 (June 2019), 22 pages. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA. DOI: <https://doi.org/10.1145/3331157>
2. **Adrian Aiordăchioae**, Radu-Daniel Vatavu, Dorin-Mircea Popovici. 2019. A design space for vehicular lifelogging to support creation of digital content in connected cars. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems (EICS '19)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 9, 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1145/3319499.3328234>

WOS: 000524581600009

3. **Adrian Aiordăchioae**, David Gherasim, Alexandru-Ilie Maciuc, Bogdan-Florin Gheran, Radu-Daniel Vatavu. 2020. Addressing Inattentional Blindness with Smart Eyewear and Vibrotactile Feedback on the Finger, Wrist, and Forearm. In *Proceedings of the 19th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM 2020)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 329–331. DOI: <https://doi.org/10.1145/3428361.3432080>
4. **Adrian Aiordăchioae**, Ovidiu-Andrei Schipor, Radu-Daniel Vatavu. 2020. An Inventory of Voice Input Commands for Users with Visual Impairments and Assistive Smartglasses Applications. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, pp. 146-150, DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9108915>

WOS: 000589776100027

5. **Adrian Aiordăchioae**. 2019. Eyewear-Based System for Sharing First-Person Video to Remote Viewers. In *Proceedings of the 2019 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*, pp. 1-4, DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8969871>

WOS: 000558648300003

6. **Adrian Aiordăchioae**, Daniel Furtună, Radu-Daniel Vatavu. 2020. Aggregating Life Tags for Opportunistic Crowdsensing with Mobile and Smartglasses Users. In *Proceedings of the 6th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good (GoodTechs '20)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 66–71. DOI: <https://doi.org/10.1145/3411170.3411237>
7. Ovidiu-Andrei Schipor, **Adrian Aiordăchioae**. 2020. Engineering Details of a Smartglasses Application for Users with Visual Impairments. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, pp. 157-161, DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9108920>

WOS: 000589776100029

8. Cristian Pamparău, **Adrian Aiordăchioae**, Radu-Daniel Vatavu. 2020. From Do You See What I See? to Do You Control What I See? Mediated Vision, From a Distance, for Eyewear Users. In *Proceedings of the 19th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM 2020)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 326–328. DOI: <https://doi.org/10.1145/3428361.3432089>

9. **Adrian Aiordăchioae**, Radu-Daniel Vatavu. 2022. LifeTags++: A Multi-User, Multi-Device, and Multi-Perspective System for Recording and Abstracting Visual Life with Tag Clouds. *Romanian Journal of Information Science and Technology* 25(1), 80-91, URL: <https://www.romjist.ro/abstract-708.html>.
WOS: 000775912300006 IF(2022): 3.5, 5-YEAR IF(2022): 1.8, Q2 quartile (Computer Science, Theory & Methods)

10. **Adrian Aiordăchioae**, Cristian Pamparău, Radu-Daniel Vatavu. (2021). Lifelogging meets alternate and cross-realities: an investigation into broadcasting personal visual realities to remote audiences. *Multimedia Tools and Applications*. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-021-11310-3>
WOS: 000684916500003 IF(2021): 2.577, 5-YEAR IF(2021): 2.396, Q2 quartile (Computer Science, Software Engineering)

11. **Adrian Aiordăchioae**. 2021. An Investigation of Automatic Food Logging for Health Applications Based on Video Camera Glasses. In *Proceedings of the 2021 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB)*, pp. 1-4, DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9657665>
WOS: 000802227900125

Capitolul 2

Stadiul actual privind aplicații interactive pentru ochelari smart

2.1 Aplicații de realitate augmentată pentru ochelari smart

Realitatea augmentată, privită ca domeniu de investigație științifică, a parcurs un drum lung de la un concept de tip Science-Fiction la o realitate construită pe baze științifice. Prima referire către realitatea augmentată a apărut într-un roman al lui Frank L. Baum, din 1901, în care se vorbea despre o pereche de ochelari electronici [14]. Până de curând, costurile implicate de aplicațiile de realitate augmentată erau substanțiale încât practicienii puteau doar să viseze la un viitor în care vor avea posibilitatea de a realiza proiecte complexe cu această tehnologie. Recent, lucrurile s-au schimbat iar realitatea augmentată este disponibilă pentru o varietate de dispozitive și platforme, inclusiv dispozitive mobile smart. Azuma [11] definește aplicațiile de realitate augmentată ca având următoarele trei caracteristici: combină mediul real cu cel virtual, permit interacțiuni în timp real și sunt 3D. De asemenea, Azuma prezintă principalele provocări și obstacole [12] cu care se confruntă domeniul realității augmentate, precum și direcțiile spre care se îndreaptă această tehnologie pentru a deveni prevalentă ca un serviciu furnizat utilizatorilor [10]. În anul 2015, Billinghurst [15] a realizat un studiu foarte elaborat în care a analizat aproximativ cincizeci de ani de cercetare și dezvoltare în domeniul realității augmentate. Într-una dintre concluziile studiului, Billinghurst [15] afirmă că domeniul a înregistrat progrese extraordinare din 1960, dar în multe privințe potențialul realității augmentate încă nu a fost atins pe deplin. De asemenea, Billinghurst susține faptul că realitatea augmentată va schimba dramatic modul în care oamenii vor interacționa cu conținutul digital în următorii ani.

2.2 Tehnici de interacțiune pentru ochelari smart

În literatura științifică au fost propuse o varietate de tehnici de interacțiune pentru ochelarii smart. Lee *et al.* [35] au clasificat aceste tehnici de interacțiune în trei categorii: interacțiuni cu dispozitivul în mână (en.: *hand-held*), tactile (en.: *touch*) și non-tactile (en.: *touchless*). Interacțiunile *hand-held* sunt specifice telefoanelor smart și tabletelor și mai puțin dispozitivelor purtabile. Totuși, există și ochelari smart care folosesc dispozitive de intrare cu ajutorul cărora utilizatorii efectuează interacțiuni *hand-held*. Interacțiunile tactile sunt împărțite la rândul lor în interacțiuni pe dispozitiv (en.: *on-device*) sau pe corp (en.: *on-body*) iar interacțiunile non-tactile sunt împărțite în interacțiuni fără utilizarea mâinilor (en.: *hands-free*) și interacțiuni prin mișcarea mâinilor în aer (en.: *freehand*).

2.3 Sisteme și aplicații lifelogging

Lifelogging este descris în literatura științifică ca fenomenul prin care utilizatorii își înregistrează diverse aspecte ale experiențelor zilnice în format digital [23] pentru o varietate de scopuri. Dodge and Kitchin [18] descriu activitatea lifelogging ca o formă de calcul ubicuu (en.: *ubiquitous computing*) reprezentând “*a unified digital record of the totality of an individual’s experiences, captured multimodally through digital sensors and stored permanently as a personal multimedia archive*”(p. 431). Cei mai importanți factori care au favorizat dezvoltarea fenomenului lifelogging au fost scăderea semnificativă a costurilor pentru stocarea datelor, creșterea accesibilității și importanței serviciilor cloud și progresele tehnologice care au dus la o creștere semnificativă a numărului de dispozitive portabile [20] cu o diversitate de senzori încorporați. Odată cu creșterea popularității acestor dispozitive au apărut aplicații lifelogging pentru sănătate, calitatea vieții, monitorizare a activităților în medii inteligente sau în autoturisme conectate.

2.4 Sisteme și aplicații de tip mobile crowdsensing

Termenul mobile crowdsensing (MCS) a fost introdus de către Ganti *et al.* [19] pentru a descrie o paradigmă generală de colectare a datelor și informațiilor bazată pe telefoane mobile în contextul inteligenței colective (en.: *crowdsourcing*). Inteligența colectivă se bazează pe conceptul “*wisdom of crowds*” dezvoltat de Suowiecki [52] care poate fi descris foarte simplu astfel: “*Large groups of people are smarter than an elite few, no matter how brilliant—better at solving problems, fostering innovation, coming to wise decisions, even predicting the future*” (p.1). Aplicațiile MCS utilizează senzori și interfețe de comunicații încorporate în dispozitive mobile, de exemplu, camere, microfoane, GPS și unități IMU. Cu toate acestea, pentru a funcționa eficient și atinge obiectivul pentru care au fost proiectate, aplicațiile MCS necesită participarea unui număr cât mai mare de utilizatori. Aplicațiile MCS sunt utile comunităților pentru a achiziționa colectiv date din care să se extragă informații pentru a analiza, estima și prezice evenimente de interes.

2.5 Sisteme și aplicații pentru partajarea vederii

Partajarea vederii din perspectivă personală în timp real folosind camere de luat vederi încorporate în dispozitive portabile [27,28,29,33,46] reprezintă unul dintre obiectivele aplicațiilor practice ale telecomunicațiilor. Printre domeniile în care această tehnologie și-ar găsi aplicații se regăsesc sportul, divertismentul [33], educația [51], rețelele sociale și asistența profesională [38].

Capitolul 3

LifeTags, un sistem purtabil și o aplicație pentru ochelari smart pentru sintetizarea vieții și asistarea cognitivă

LifeTags este un sistem purtabil și o aplicație software pentru ochelari smart, care generează nori de concepte extrase automat din imagini achiziționate de camere video. LifeTags rezumă experiențele de viață ale utilizatorilor folosind nori de concepte corespunzătoare informațiilor extrase, evidențiind rezumatul experienței vizuale trăite de către utilizatorii ochelarilor smart într-o anumită perioadă de timp, cum ar fi o anumită zi, săptămână, luna sau ultima oră. În acest capitol prezint criteriile de proiectare și principiile de funcționare ale sistemului purtabil și aplicației LifeTags, cum ar fi înregistrarea vieții din perspectiva personală de la nivelul ochilor utilizatorului, modul de înregistrare pasiv și orientat către confidențialitate, dar și aspectele tehnice ale implementării precum schema bloc care evidențiază dispozitive, module software, servicii terțe și fluxuri de date. De asemenea, prezint o evaluare tehnică a aplicației LifeTags în urma desfășurării unui experiment controlat cu un set de date alcătuit din 21.600 de imagini full-HD reprezentând înregistrări video cu un număr total de 180 de minute. Acest experiment a inclus șase scenarii reprezentative pentru activitățile din viața de zi cu zi, cum ar fi mersul pe jos, cumpărăturile, servitul mesei, călătoria cu mijloace de transport în comun, etc. Rezultatele experimentale obținute în urma evaluării aplicației LifeTags scot în evidență oportunitatea proiectării de noi aplicații pentru ochelari smart care oferă un rezumat al vieții în ceea ce privește experiența vizuală a utilizatorului.

3.1 Descrierea aplicației

În această secțiune prezint detaliile aplicației LifeTags precum criteriile de proiectare, principiile de operare și implementarea tehnică.

3.1.1 Criteriile de proiectare și principiile de operare

Am adoptat șase criterii de proiectare (D_1 la D_6) pentru LifeTags prin studierea literaturii lifelogging, concentrându-mă pe caracteristicile unice ale ochelarilor smart cu camere video integrate și pe identificarea cerințelor pentru aplicațiile proiectate să înregistreze viața:

D_1 . Lifelogging pasiv și automat.

D_2 . Perspectiva personală și de la nivelul ochilor.

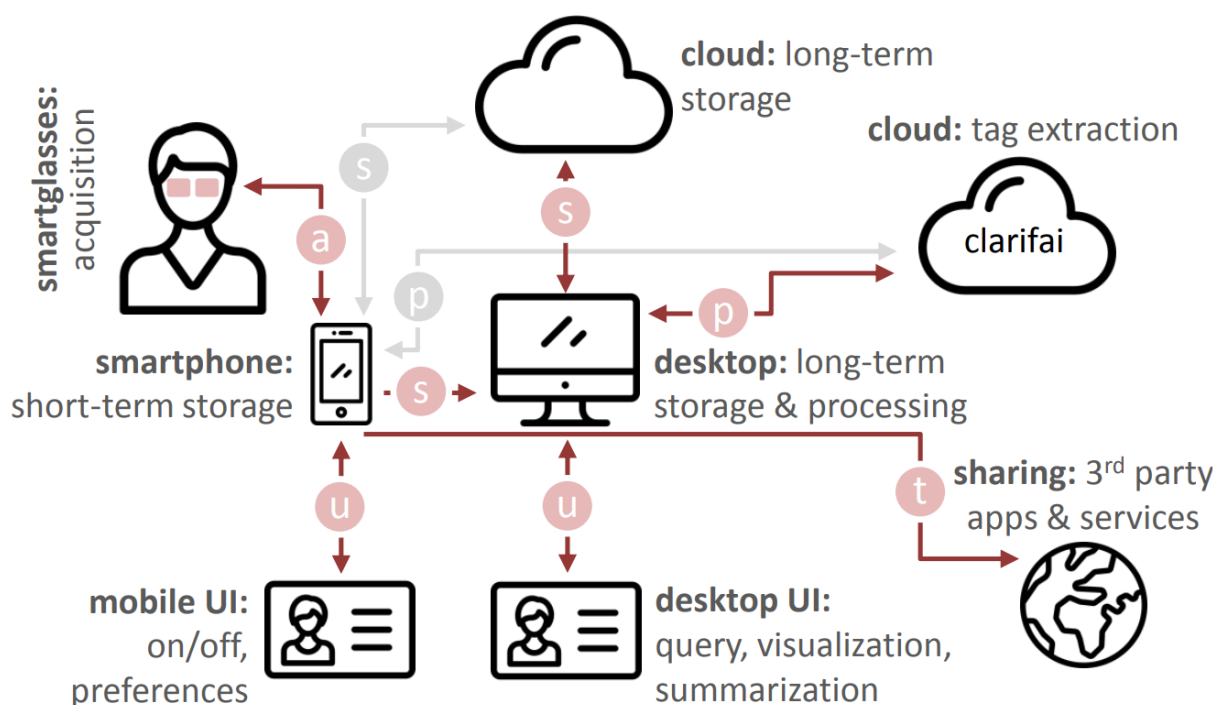


Figura 3.1. Schema bloc a aplicației LifeTags care prezintă dispozitive, componente software, servicii terțe și fluxuri de date. Săgețile indică cinci tipuri de fluxuri de date: achiziție (a), stocare (s), procesare (p), interfața utilizator (u) și partajarea datelor către servicii terțe (t); săgețile îngroșate indică moduri de operare implicite pentru LifeTags, în timp ce săgețile mai puțin evidențiate indică fluxuri alternative de date.

- D₃. Greu de observat și totuși orientat către confidențialitate.
- D₄. Furnizarea accesului la memorie la diverse niveluri de granularitate.
- D₅. Conectare ușoară cu alte dispozitive.
- D₆. Integrare ușoară cu blog-uri web personale și rețelele sociale.

3.1.2 Implementarea tehnică

Figura 3.1 prezintă schema bloc a arhitecturii LifeTags, care evidențiază dispozitivele, componentele, serviciile terțe și fluxurile de date. Am implementat LifeTags folosind ochelarii AI-IP60 [8] care dispun de o cameră video full-HD (criteriile D₂ și D₃), conexiune Wi-Fi și un câmp vizual de 90°. Ochelarii se conectează la aplicația LifeTags pentru Android (D₅) folosind modulul Wi-Fi încorporat. Imaginile sunt achiziționate la o rezoluție de 1920 x 1080 pixeli prin solicitări HTTP și sunt stocate ca fișiere JPEG pe telefonul smart cu un raport de compresie de aproximativ 23:1.

Aplicația LifeTags implementează cele trei elemente de bază enumerate de Gurrin *et al.* [23] pentru aplicațiile de tip lifelogging (referite în continuare prin Core₁ la Core₃) după cum urmează:

Core₁. *Lifelogging-ul*, adică procesul de achiziție, procesare și reflecție pasivă asupra datelor experienței de viață, este implementat de LifeTags prin achiziționarea de imagini folosind camera video integrată a ochelarilor AI-IP60 [8].

Core₂. *Lifelog-ul*, adică colecția de date înregistrată în telefonul personal, în cloud sau pe un

dispozitiv de stocare portabil, este reprezentată de imagini individuale. Norii de concepte sunt generați din aceste imagini folosind concepte extrase automat de serviciul cloud extern.

Core₃. *O memorie surogat, i.e.,* datele lifelog-ului și ale aplicației software pentru organizarea și gestionarea datelor înregistrate, este reprezentată de norii de concepte generați pentru a rezuma viața trăită de către lifelogger într-o anumită perioadă de timp. LifeTags permite generarea norilor de concepte pentru (i) *intervale de timp personalizate*, de exemplu, de la 1 ianuarie la 31 ianuarie 2019 și pentru (ii) *experiențe recente*, ca de exemplu ultima oră, ultima zi, etc.

3.2 Experiment

Am efectuat o evaluare tehnică a aplicației LifeTags sub forma unui experiment controlat pentru a înțelege efectul unor decizii de implementare, cum ar fi frecvența de eșantionare recomandabilă pentru achiziția automată a imaginilor atunci când rezumăm viața folosind concepte. Pentru realizarea acestui obiectiv am avut în vedere două metode pentru eșantionarea imaginilor: (i) *eșantionarea uniformă* la o viteză constantă, cum ar fi înregistrarea unei imagini la fiecare 30 de secunde [43] și (ii) *eșantionarea pe baza detecției evenimentelor de interes*, reprezentată de mișcarea detectată între două imagini înregistrate consecutiv [24].

3.3 Rezultate

În această secțiune prezint rezultatele obținute în urma înregistrărilor efectuate în cele șase scenarii ale experimentului. Descriu norii de concepte generați și analizez rezultate numerice. Rezultate numerice arată că înregistrarea folosind detecția evenimentelor, cum ar fi mișcarea, este o tehnică rezonabilă în ceea ce privește atât rezultatele raportate de variabila Num-Concepts cât și LifeLog-Size. Chiar și în condiția extremă reprezentată de un prag de detecție a mișcării de 50%, numărul de concepte distincte este cu doar 12% mai mic decât atunci când se procesează toate imaginile *i.e.*, 174 vs. 198 de concepte. Cu un prag de 30% pentru detecția mișcării, se constată ca rezultat un număr mediu de concepte distincte cu doar 4% mai mic decât în condițiile de control (190 vs. 198 de concepte). În timp ce variabila Tag-Cloud-Efficiency este maximizată pentru înregistrarea uniformă a unei imagini la fiecare 60 de secunde, numărul de concepte distincte scade sever de la 198 la 52. Pe baza acestor constatări, o recomandare pentru sistemele de tipul LifeTags este să se înregistreze imagini folosind evenimente cum ar fi mișcarea, ceea ce va conduce la un număr mare de concepte distincte cu un bun compromis în ceea ce privește memoria necesară pentru a stoca imaginile aferente.

Capitolul 4

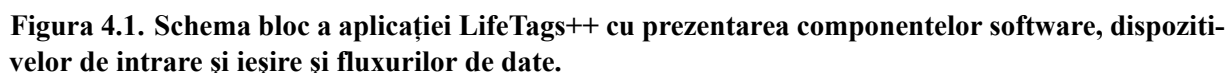
LifeTags++, un sistem purtabil și o aplicație multi-utilizator și multi-perspectivă pentru asistarea senzorială și cognitivă

În acest capitol prezint sistemul purtabil și aplicația software LifeTags++ [7], o versiune care extinde conceptul LifeTags [6] introdus în capitolul 3. Spre deosebire de versiunea anterioară, LifeTags++ [7] este un sistem purtabil și o aplicație multi-utilizator și multi-perspectivă de rezumare a vieții care înregistrează, extrage, procesează și stochează în mod automat concepte din imagini furnizate de o gamă largă de dispozitive cu cameră video integrată, cum ar fi dispozitivele mobile personale, camerele video purtate pe corp sau camerele video ambientale. Alte caracteristici ale aplicației LifeTags++ includ integrarea cu sistemele de tip mobile crowd-sensing pentru a accepta interogări și a transmite notificări despre concepte specifice de interes pentru utilizatori pentru a compensa situații de atenție diminuată. Tot în acest capitol prezint aspecte tehnice privind proiectarea LifeTags++ [7] cu o arhitectură software distribuită bazată pe servicii cloud, care permite integrarea dispozitivelor mobile și purtabile dar și a camerelor video ambientale. De asemenea, descriu o evaluare efectuată pe un set de date cu un număr de 18.780 de concepte extrase din aproximativ 1.000 de imagini achiziționate de la trei camere video care înregistrează simultan viața unei persoane din trei perspective diferite: (i) *perspectiva oculară egocentrică* furnizată de camera video a ochelarilor, (ii) *perspectiva egocentrică din spatele utilizatorului* furnizată de o cameră purtabilă și (iii) o *perspectivă exocentrică* înregistrată de o cameră video instalată în mediul ambiental.

4.1 Descrierea prototipului

LifeTags++ este un sistem purtabil și aplicație software care utilizează servicii de viziune artificială pentru a extrage concepte din imagini înregistrate de camere video și stochează acele concepte pentru consultare ulterioară, de exemplu, pentru a sprijini rememorarea și reflecția [50] dar și pentru informarea utilizatorilor privind prezența unor obiecte de interes situate în apropierea acestora. Astfel, LifeTags++ este o aplicație de înregistrare multi-utilizator, care permite colectarea de date din mai multe surse video simultan. Pentru a structura astfel de surse pentru implementarea LifeTags++, am identificat următoarele categorii:

☞ Ochelari cu camere video integrate care oferă o *perspectivă egocentrică de la nivelul*



 Camere purtabile care oferă o *perspectivă egocentrică de la nivelul corpului*, de exemplu, camera Narrative Clip 2 poate fi atașată la o gamă vastă de articole vestimentare precum cămașa, pălăria, rucsacul, etc.¹

 Perspectivă ambientală exocentrică oferită de camere video instalate în locuri publice, cum ar fi camerele IP.

👁️ *Perspectiva exocentrică a altei persoane* furnizată de o cameră video purtată de către o altă persoană aflată în proximitatea utilizatorului aplicației LifeTags++.

Figura 4.1 prezintă diagrama bloc a arhitecturii software LifeTags++, evidențiind dispozitive, componente software, servicii cloud și fluxuri de date. Dispozitivele portabile cu camere video integrate, cum ar fi ochelarii smart sau camerele video destinate a fi atașate de haine, se conectează la hotspot-ul telefonului smart al utilizatorului sau la un router wireless la care este conectat și telefonul smart. Aceste dispozitive furnizează imagini în urma solicitărilor HTTP

17

efectuate de aplicația LifeTags++ pentru Android (a se vedea fluxul de date (a) din figura 4.1). Imaginile sunt înregistrate cu o frecvență de câteva secunde [6], suficientă conform rezultatelor empirice detaliate în capitolul 3.

4.2 Aplicația client Android

Aplicația LifeTags++ pentru Android este mijlocul prin care utilizatorul interacționează cu datele din lifelog. Utilizatorul poate înregistra lifelog-uri, genera nori de concepte folosind concepte extrase de API-ul Clarifai care utilizează algoritmi de viziune artificială sau poate genera videoclipuri compuse din imagini care îndeplinesc criteriile temporale sau conțin prezența anumitor concepte de interes specificate în prealabil.

4.3 Aplicația server Node.js

Serverul Node.js este elementul central al arhitecturii LifeTags++ cu care comunică aproape toate entitățile acesteia: aplicația client Android, API-ul Clarifai, Firebase Realtime Database și Firebase Storage. Pentru a asigura comunicația dintre aplicația client Android și server, am folosit clientul HTTP Retrofit2 [9].

4.4 Serviciile cloud de stocare și procesare a imaginilor

Aplicația LifeTags++ folosește trei servicii cloud: serviciul Clarifai [16] de viziune artificială pentru procesarea imaginilor, Firebase Storage pentru stocarea imaginilor și Firebase Realtime Database pentru stocarea conceptelor și a informații adiționale.

Pentru procesarea imaginilor am utilizat modelul general al serviciului de viziune artificială pus la dispoziție de către Clarifai. Acesta recunoaște peste 11.000 de concepte distincte, inclusiv obiecte, teme și altele, cu oferirea rezultatelor în 23 de limbi diferite. Acest model reprezintă o soluție universală pentru majoritatea nevoilor de recunoaștere vizuală.

4.5 Experiment

Am efectuat o evaluare tehnică a aplicației LifeTags++ pentru a înțelege impactul asupra dimensiunii și diversității conceptelor din lifelog atunci când înregistrăm viața din mai multe perspective folosind mai multe surse video care achiziționează imagini simultan, față de situația cu o singură perspectivă implementată în aplicația LifeTags [6] descrisă în capitolul 3.

4.5.1 Setul de date

Pentru a obține setul de date necesar evaluării propuse, am solicitat unui voluntar să poarte o pereche de ochelari cu cameră video integrată, care corespunde perspectivei egocentrice de la nivelul ochilor, precum și o cameră video atașată de haine, care a înregistrat dintr-o perspectivă egocentrică cu vedere din spate. De asemenea, am solicitat participantului la studiu să se deplaseze într-un perimetru delimitat în aria de acoperire a unei camere IP publice montată la etajul șapte al unei clădiri, care oferă o perspectivă ambientală exocentrică (a se vedea figura 4.2 pentru exemple de imagini achiziționate de la aceste camere video). Camera ochelarilor și cea

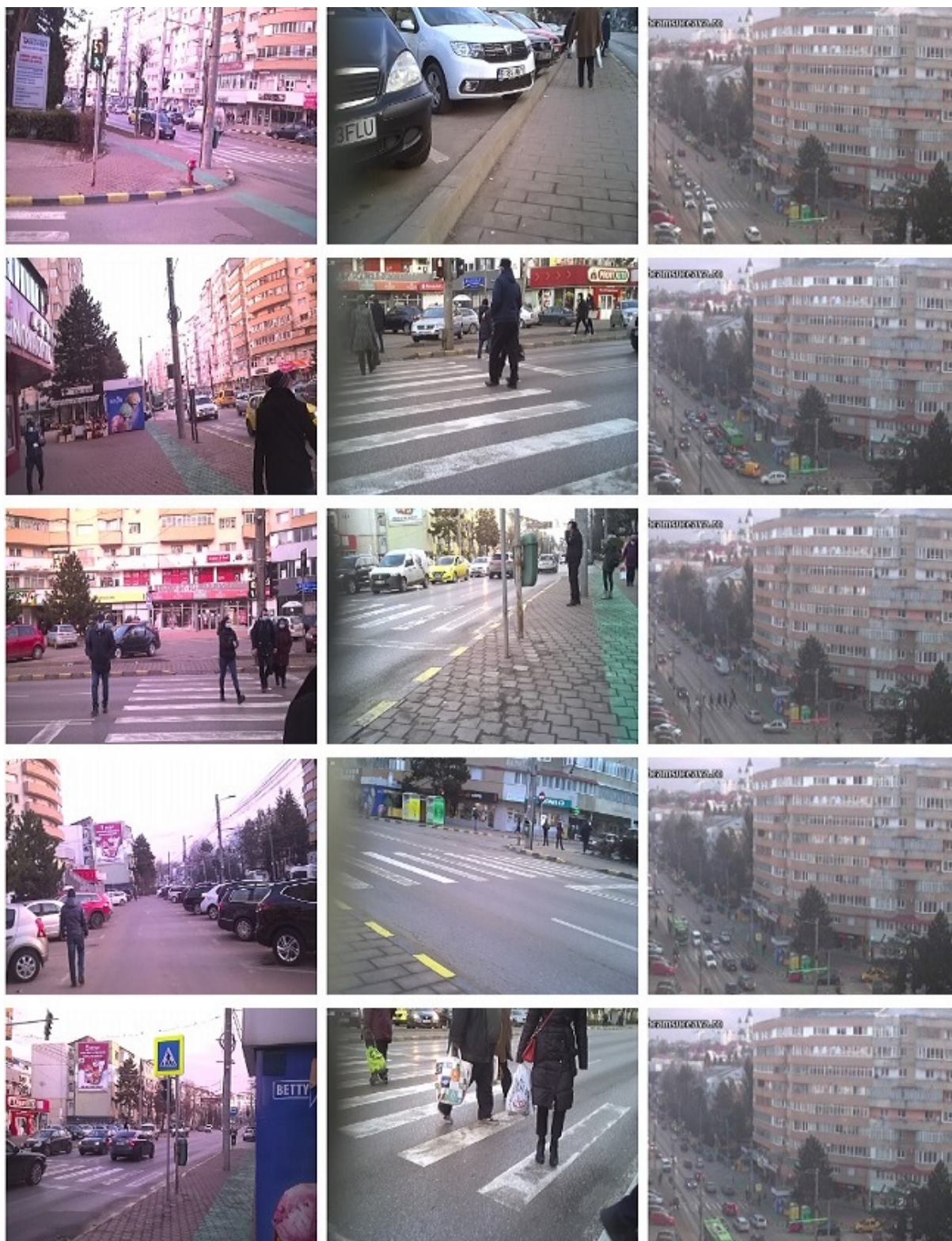


Figura 4.2. Exemple de imagini înregistrate în timpul experimentului de evaluare a sistemului Life-Tags++ folosind o pereche de ochelari cu cameră video integrată (stânga), o cameră video portabilă (centru) și o cameră publică (dreapta) pentru un utilizator care se deplasează într-o zonă pietonală. De observat perspectivele diferite, dar și diferențele de rezoluție și calitate a imaginilor achiziționate din aceste trei surse.

Capitolul 5

Aplicații LifeTags pentru partajarea vederii

În acest capitol abordez tema partajării vederii unei persoane, achiziționate de un dispozitiv portabil, cum ar fi camera video integrată în ochelari smart dar și în alte dispozitive mobile, către o audiență aflată la distanță. Tot în acest capitol introduc un spațiu de proiectare, denumit “Alternate Reality Broadcast-Time” (ARBT), în care pot fi poziționate, caracterizate și comparate aplicații care implementează partajarea și consumul de realități vizuale personale. De asemenea, pentru demonstrarea utilității acestui spațiu de proiectare, prezint patru aplicații software care partajează vederea utilizatorului înregistrată din diverse perspective.

5.1 Spațiul conceptual Alternate Reality Broadcast-Time

Alternate Reality Broadcast-Time (ARBT) este un spațiu conceptual cu două dimensiuni, difuzare a conținutului (en.: *broadcasting*) și timp (en.: *time*), reprezentat sub forma unei matrice bidimensionale discrete în care pot fi identificate multiple oportunități de proiectare a aplicațiilor de partajare a realităților vizuale personale ale utilizatorilor către o audiență aflată la distanță. În descrierea acestui spațiu conceptual, m-am inspirat din matricea timp-spațiu introdusă de către Johansen [26], care descrie toate combinațiile posibile ale locației (unde are loc comunicarea între indivizi) și timp (când are loc comunicarea). De exemplu, dintre cele patru categorii permise de matricea timp-spațiu, Johansen a prezentat interacțiuni față în față, care se derulează în același loc și în același timp, precum și comunicarea și coordonarea dintre membrii unui grup, care poate fi implementată de la distanță și asincron, reprezentând un loc și un timp diferit [26]. Din matricea lui Johansen am împrumutat dimensiunea temporală (*i.e.*, momentul în care are loc difuzarea realității vizuale personale), pe care o extind pentru a adresa aspecte practice privind fluxul conținutului difuzat către audiență în relație cu latența protocoalelor de transmisie video [56]. De asemenea, întrucât difuzarea către o audiență aflată la distanță presupune în mod implicit existența mai multor locații distincte, reprezentate de locațiile utilizatorilor care transmit și partajează vederea și ale membrilor audienței, am înlocuit dimensiunea spațială a lui Johansen cu dimensiunea de difuzare a conținutului pentru a distinge între diverse tipuri de conținut difuzat asociat cu partajarea vederii. Cu aceste două dimensiuni, matricea ARBT specifică *ce* parte din realitatea vizuală personală este difuzată și *când* are loc partajarea.

		Time				
		Same time (synchronous)		Different time (asynchronous)		
		High-level interactivity expected	Medium-level interactivity expected	Low-level interactivity expected	No interactivity expected	
Broadcast	Video	Original, unmodified video	1	2	3	4
		Mediated video	5	6	7	8
		Augmented video	9	10	11	12
		Augmediated video	13	14	15	16
		Broadcast summary	17	18	19	20
	Other modalities	Life abstraction	21	22	23	24
		Visual news ticker	25	26	27	28
		Audio news ticker	29	30	31	32
		Haptic news ticker	33	34	35	36
		Multimodal news ticker	37	38	39	40

Figura 5.1. Matricea Alternate Reality Broadcast-Time (ARBT) [3], un spațiu conceptual creat pentru a informa proiectarea aplicațiilor de difuzare a realităților vizuale personale către o audiență alcătuită din persoane aflate la distanță.

5.1.1 Dimensiunea temporală

Pornind de la dimensiunea temporală a matricei lui Johansen [26], comunicarea dintre difuzori și audiențele lor aflate la distanță poate fi *sincronă* sau *asincronă*. Pe această axă am luat în considerare diverse cerințe de aplicare pentru interactivitatea dintre utilizatorul care partajează vederea și audiență și am identificat patru categorii (a se vedea figura 5.1).

De la prima până la ultima categorie de pe axa timpului, interacțiunea dintre difuzor și audiență sa aflată la distanță devine mai puțin restrictivă, de la un nivel ridicat de interactivitate la interactivitate care nu este deloc așteptată de audiență. Pentru a exemplifica posibile implementări ale sistemelor de difuzare a vieții de-a lungul axei timpului, am enumerat în această secțiune câteva protocoale de transmisie video care ar putea fi utilizate pentru diverse cerințe. Cu toate acestea, axa temporală ar trebui privită din perspectiva interacțiunilor care trebuie să aibă loc fie sincron, fie asincron și mai puțin din perspectiva latenței furnizate de un protocol de transmisie sau altul. În plus, aceste cerințe sunt strâns legate de percepția umană și nu se schimbă pe măsură ce tehnologia de transmisie video evoluează.

5.1.2 Dimensiunea difuzării conținutului

Dimensiunea temporală a spațiului ARBT specifică modul în care se pot sincroniza utilizatorii care partajează vederea cu audiențele acestora în timpul difuzării, cu implicații privind interactivitatea permisă între difuzor și audiență. În cele ce urmează, analizez conținutul care este difuzat în raport cu realitatea vizuală personală a unui utilizator către audiența aflată la distanță. Din acest punct de vedere, disting două categorii principale pe axa de difuzare a conținutului, video și non-video, și un număr de zece subcategorii (a se vedea figura 5.1).

De la prima până la a patra categorie a axei de difuzare a conținutului video, relația dintre conținutul video difuzat și realitatea vizuală corespunzătoare a utilizatorului care partajează vederea devine tot mai slabă. De la versiunea originală, nemodificată a videoclipului înregistrat de dispozitivul de achiziție, până la reconstrucția și reprezentarea virtuală a realității vizuale a difuzorului, audienței i se prezintă diferite versiuni ale experienței utilizatorului primar. Ca-

tegoriile principale ale axei difuzorului sunt reprezentate de diverse modalități de difuzare a aspectelor vizuale ale vieții, dar video nu este singura modalitate de a atinge acest deziderat. În consecință, partea non-video a axei de difuzare prezintă alte modalități prin care experiența vizuală a difuzorului poate fi transmisă audienței, de la descrieri textuale ale vieții, până la înregistrări redade folosind feedback haptic. Axa de difuzare a conținutului relevă astfel o varietate de modalități prin care realitățile vizuale personale ale difuzorului pot fi comunicate membrilor audienței. Aceste modalități trec de la simpla transmitere video către modalități mai bogate de auto-exprimare și la diverse oportunități de consum a conținutului transmis pentru audiență. Alte categorii ar putea fi adăugate pe axa de difuzare, cum ar fi categorii care se adresează simțurilor gustativ sau olfactiv [45]. Cu toate acestea, întrucât cercetările referitoare la aceste modalități sunt încă limitate comparativ cu numărul de lucrări disponibile în literatura științifică privind redarea feedback-ului vizual, audio și haptic, am optat deocamdată pentru un număr restrâns de categorii de pe axa de difuzare pentru a o păstra gestionabilă din punct de vedere practic. Dezvoltări viitoare pot încorpora astfel de noi categorii pentru noi aplicații de difuzare a realităților vizuale personale.

5.2 Prototipuri demonstrative

În această secțiune, prezint patru prototipuri care demonstrează diversele posibilități de proiectare din spațiul conceptual ARBT pentru difuzarea realităților vizuale personale către o audiență aflată la distanță: partajarea vederii utilizatorilor folosind un server Node.js și biblioteca software socket.io, partajarea vederii utilizatorilor folosind un server Node.js și biblioteca software Node-Media-Server, partajarea vederii utilizatorilor folosind YouTube și partajarea vederii sub formă abstractă.

5.3 Concluzii

În acest capitol am prezentat spațiul de proiectare Alternate Reality Broadcast-Time (ARBT) cu două dimensiuni de difuzare a conținutului (en.: *broadcasting*) și timp (en.: *time*) în care pot fi poziționate aplicații de partajare a vederii utilizatorului către o audiență aflată la distanță. De asemenea, am prezentat patru aplicații de partajare a vederii pe care le-am caracterizat folosind spațiul de proiectare Alternate Reality Broadcast-Time (ARBT) pentru a demonstra utilitatea practică a acestuia.

Capitolul 6

Aplicații LifeTags pentru înregistrarea vieții personale

Lifelogging este descris în literatura științifică ca fiind fenomenul prin care oamenii își înregistrează diverse aspecte ale experiențelor zilnice în format digital [23] pentru o varietate de scopuri. În cadrul acestui capitol, prezint două aplicații dezvoltate pentru înregistrarea vieții personale și două spații conceptuale pentru caracterizarea aplicațiilor de tip lifelogging pentru autovehicule (en.: *vehicular lifelogging*) și pentru crearea jurnalelor alimentare (en.: *foodlogging*).

6.1 LifeTags pentru autovehicule conectate

Autovehiculele conectate pot crea, stoca și partaja o mare varietate de date furnizate de senzorii și sistemele din interior, dar și de la dispozitivele mobile și portabile utilizate de ocupanții acestora, cum ar fi telefoane, ceasuri și ochelari smart. Această mare varietate de date care descriu maniera de a conduce autovehiculul dar și alte caracteristici ale unei călătorii creează premisele ideale pentru jurnalele autovehiculelor conectate cu aplicații care variază de la asistența și monitorizarea performanței șoferului la generarea de conținut digital pentru pasionații fenomenului lifelogging. În această secțiune, prezint un spațiu de proiectare pentru aplicații de tip lifelogging pentru autovehicule, care constă în cinci dimensiuni: (1) *natura datelor*, (2) *sursa datelor*, (3) *actori*, (4) *locatie* și (5) *reprezentare*. Pentru a demonstra utilitatea spațiului de proiectare, îl folosesc pentru a descrie aplicații lifelogging existente în literatura științifică destinate autovehiculelor. De asemenea, prezint caracteristicile unei noi aplicații pentru crearea de conținut digital în autovehiculele conectate, care folosește un telefon smart și o pereche de ochelari cu cameră video integrată. În plus, prezint câteva cazuri de utilizare reprezentative pentru aplicațiile de tip lifelogging pentru autovehicule, evidențiind utilitatea practică a conținutului digital creat, înregistrat și consumat în autovehiculele conectate.

6.1.1 Spațiu de proiectare pentru crearea de conținut digital în autovehiculele conectate

În această secțiune prezint un spațiu de proiectare pentru crearea de conținut digital în autovehiculele conectate [31,39]. Prin descrierea acestuia, îmi propun să umplu goluri din literatura științifică cu privire la proiectarea și implementarea aplicațiilor de tip lifelogging destinate autovehiculelor conectate, care până în prezent au primit puțină atenție [31,36,39,53].

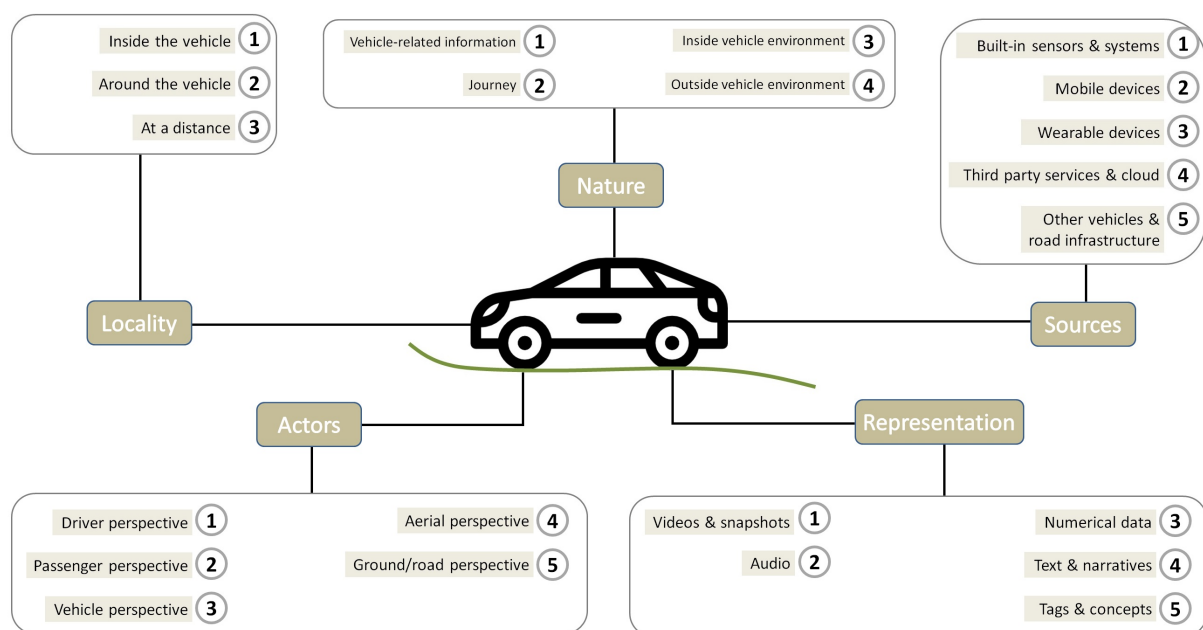


Figura 6.1. Dimensiunile spațiului de proiectare pentru aplicații de tip lifelogging destinate auto-vehiculelor conectate: *natura datelor* (mijloc sus), *surse de date* (dreapta sus), *reprezentare* (dreapta jos), *actori* (stânga jos) și *localizare* (stânga sus).

Natura datelor. Datele colectate în autovehiculele conectate pot avea o mare diversitate, de la informații de bază despre autovehicul, cum ar fi modelul și marca, până la statistici despre călătorie, ca de exemplu consumul de combustibil și viteza medie [53], dar și date fiziologice ale șoferului, precum bătăile inimii în timpul condusului ca un indicator al stresului [17] (a se vedea figura 6.1, mijloc sus).

Sursele de date. O varietate de sisteme și servicii suportă crearea de conținut digital în autovehiculele conectate (a se vedea figura 6.1, dreapta sus).

Actori. Mediul din autovehicul oferă posibilitatea mai multor perspective pentru înregistrarea conținutului digital. Conform McVeigh-Schultz *et al.* [39], “a car has a single lifelog, but multiple drivers can contribute to that lifelog independently” (p. 227) (a se vedea figura 6.1, stânga jos).

Localizare. Înregistrarea datelor despre autovehicul poate avea loc atunci când ocupanții sunt în interior, dar și când aceștia se află în exteriorul autovehiculului (a se vedea figura 6.1, stânga sus).

Reprezentare. Datele pot fi stocate sub diferite reprezentări, de la imagini la concepte extrase automat din acestea folosind algoritmi de viziune artificială (a se vedea figura 6.1, dreapta jos).

6.1.2 Descrierea aplicațiilor de tip lifelogging pentru crearea și înregistrarea de conținut digital în autovehiculele conectate

În această secțiune arăt utilitatea spațiului de proiectare propus prin caracterizarea mai multor aplicații și sisteme din literatura științifică [39] dar și a produselor comerciale [36,53] din

categoria lifelogging pentru autovehiculele conectate, urmând ca la final să prezint propriul prototip cu funcționalități distincte.

6.2 LifeTags pentru crearea jurnalelor alimentare

Fenomenul și aplicațiile lifelogging s-au dovedit utile în domeniul medical, conform multiplelor aplicații din literatura științifică care monitorizează parametri ai calității vieții utilizatorului, cum ar fi activitățile efectuate, tiparul de somn, nivelul de oboseală sau starea de spirit [40,57]. Un alt aspect important cu potențiale repercusuni asupra calității vieții îl reprezintă obiceiurile alimentare. Din fericire, acestea pot fi monitorizate cu ajutorul aplicațiilor de înregistrare a alimentelor consumate, un tip de aplicații lifelogging dedicate exclusiv înregistrării jurnalului alimentar al utilizatorului [32,44,47]. Această activitate este importantă pentru utilizatori, în timp ce informațiile agregate sunt importante pentru sănătatea publică deoarece alimentația are o mare pondere în prevenirea bolilor cronice [49].

6.2.1 Spațiu de proiectare pentru crearea jurnalelor alimentare

În această secțiune prezint un spațiu de proiectare pentru crearea jurnalelor alimentare format din 3 dimensiuni: *reprezentarea* datelor, *sursele* de date și *actorii* care oferă perspectiva conform căreia sunt achiziționate datele.

Sursele de date. Există mai multe tipuri de dispozitive care pot să înregistreze informații pentru crearea jurnalelor alimentare (a se vedea figura 6.2, dreapta sus).

Actori. Există posibilitatea mai multor perspective pentru înregistrarea dietei (a se vedea figura 6.2, dreapta jos).

Reprezentare. Datele pot fi stocate sub diferite reprezentări, de la imagini la concepte extrase automat din acestea folosind algoritmi de viziune artificială care extrag informații despre alimente (a se vedea figura 6.2, stânga).

6.2.2 Descrierea aplicațiilor de tip lifelogging pentru crearea jurnalelor alimentare

În această secțiune arăt utilitatea spațiului de proiectare propus prin caracterizarea unor aplicații și sisteme din literatura științifică [13,32,47] dar și a aplicațiilor comerciale [41,42] din categoria foodlogging, urmând ca la final să prezint propriul prototip cu funcționalități distincte.

6.2.3 Experiment

Pentru a testa aplicația de înregistrare a alimentelor, un voluntar a purtat ochelarii AI-IP60¹ cu o cameră video integrată în cadru, aproape imposibil de observat de trecătorii neinformați. Acest mod de testare este similar celui folosit pentru evaluarea LifeTags++ [7]. Aplicația Android a fost instalată pe telefonul smart al voluntarului iar serverul Node.js a fost găzduit de

¹YouTube, “AI-IP60 Tutorial Video of WiFi Live Viewing Spy Gear Eyeglasses IP Hidden Spy Camera,” <https://www.youtube.com/watch?v=W8xi6p4HpNU>

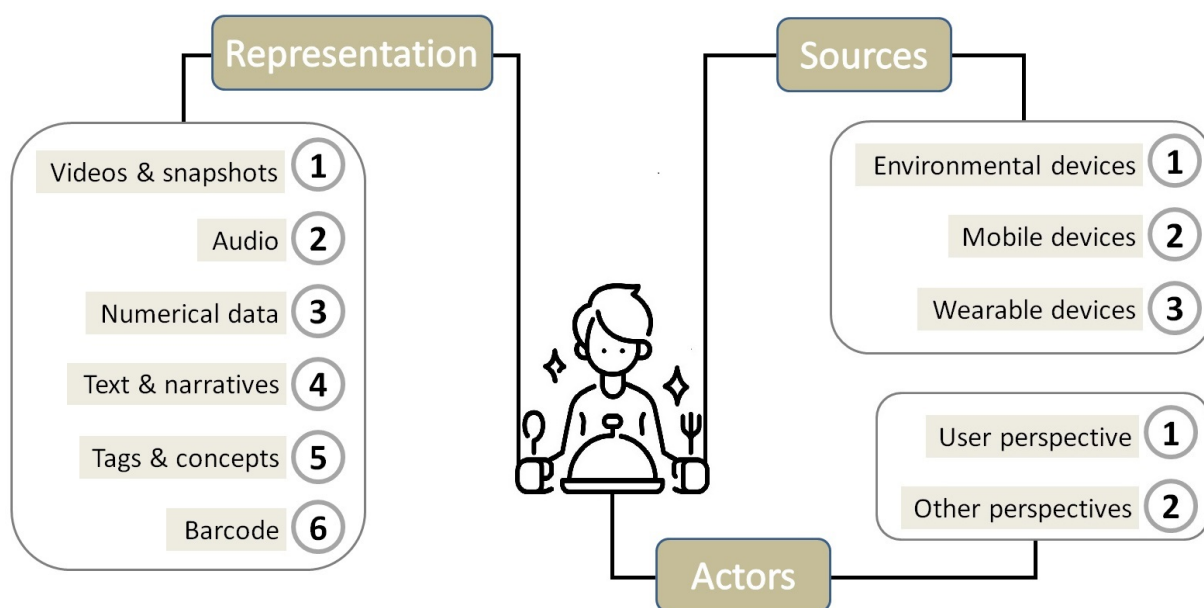


Figura 6.2. Dimensiunile spațiului de proiectare pentru aplicații de tip foodlogging: surse de date (dreapta sus), actori (dreapta jos) și reprezentare (stânga).

platforma Heroku². Voluntarul a fost instruit să folosească aplicația Android pentru a înregistra fiecare scenariu pentru o durată totală de 10 minute cu o rată de eșantionare de 0,5 fps, rezultând pentru fiecare scenariu un număr de 300 de imagini și, în total, $300 \times 5 = 1500$ de imagini pe parcursul a $5 \times 10 = 50$ de minute. Scenariile au fost următoarele: *mic dejun* în sala de mese (figura 6.3a), cumpărături în *supermarket* (figura 6.3b), *prânz* în bucătărie (figura 6.3c), cumpărături în *mall* (figura 6.3d) și mersul pe jos într-un *parc* (Scenariul “parc” nu apare în figura 6.3 întrucât modelul general nu a detectat nicio imagine cu alimente).

După testarea aplicației de înregistrare a jurnalului alimentar, am identificat câteva aspecte importante. În primul rând, întrucât camera video a ochelarilor este plasată în partea stângă a ramei acestora nu are o vedere centrală iar, atunci când utilizatorul este stângaci, poate fi obținută. De asemenea, sunt înregistrate imagini de calitate scăzută mai ales când utilizatorul își mișcă capul și, chiar dacă imaginile sunt înregistrate din perspectiva de la nivelul ochilor, camera video nu reușește să înregistreze exact ceea ce vede utilizatorul deoarece ochii se pot mișca în diverse direcții, fără să existe o mișcare a capului. În consecință, camera ochelarilor înregistrează doar în față, nu și în jos. Cea mai importantă problemă este cauzată de modelul alimentar care nu este foarte precis deoarece raportează alimente care nu sunt prezente în imaginile înregistrate, dar și omite alimente care sunt prezente. De asemenea, trebuie evitat să fie înregistrate alimente care sunt doar observate de utilizator și nu consumate.

Pentru lucrările viitoare aş propune folosirea unei perechi de ochelari care are o cameră video poziționată central pentru a avea o perspectivă mai apropiată de ceea ce vede utilizatorul. Ideal ar fi ca ochelarii să aibă o a doua cameră orientată în jos, astfel încât să poată surprinde suprafața mesei. De asemenea, ar fi de dorit ca aceste camere să aibă o bună rezoluție și să poată stabiliza imaginile pentru a nu înregistra imagini neclare atunci când utilizatorul execută mișcări rapide ale capului. Aplicația trebuie îmbunătățită pentru a înregistra alimentele numai atunci când utilizatorul le consumă iar în acest scop s-ar putea folosi senzori electromiografici [25] pentru a identifica când utilizatorul mestecă.

²“Getting Started on Heroku with Node.js | Heroku Dev Center,” <https://devcenter.heroku.com/articles/getting-started-with-nodejs>



Figura 6.3. Prezentarea unei imagini din fiecare scenariu (sus) și a norilor de cuvinte generați folosind alimente extrase din toate imaginile din scenariul asociat cu o încredere de peste 85% (jos). De la stânga la dreapta: (a) *mic dejun*, (b) *supermarket*, (c) *prânz* și (d) *mall*.

6.3 Concluzii

Am prezentat un spațiu de proiectare pentru crearea de conținut digital în autovehiculele conectate cu ajutorul căruia am descris aplicații existente în literatură dar și un nou sistem purtabil de tip vehicular lifelogging. Am descris o arhitectură software pentru ochelari cu cameră video integrată care efectuează extragerea conceptelor utilizând mai multe modele în același timp. Am demonstrat fezabilitatea arhitecturii prin dezvoltarea unei aplicații care reprezintă un caz particular al acestei arhitecturi și ajută utilizatorii să efectueze activitatea de înregistrare a alimentelor într-un mod pasiv. De asemenea, am prezentat un spațiu de proiectare pentru înregistrarea jurnalelor alimentare cu ajutorul căruia am descris aplicații existente în literatură dar și propria aplicație pentru foodlogging. Lucrările viitoare pot lua în considerare evaluări suplimentare, precum și dezvoltarea unor aplicații aflate la intersecția dintre domeniile lifelogging și wearable computing [3] cu aplicații în nutriție și medicină asistată de calculator.

Capitolul 7

LifeTags-MR: Înregistrarea vieții personale în realitatea mixtă

În acest capitol prezint aplicația LifeTags-MR pentru dispozitivul Microsoft HoloLens 2, care înregistrează atât realitatea fizică dar și obiectele virtuale suprapuse pentru crearea mediului de realitate mixtă. Rezultatele unui experiment în care am folosit această aplicație arată relevanța unui nou concept de lifelogging din realitatea mixtă care cuprinde informații sub forma norilor de cuvinte [7] care rezumă atât experiența utilizatorului în realitatea fizică cât și în cea virtuală.

7.1 Descrierea aplicației

Am implementat aplicația LifeTags-MR care permite plasarea obiectelor virtuale în scenă și achiziționează date de la senzorii integrați în ochelarii Microsoft HoloLens 2, aplicații software middleware care prelucrează datele brute și le sincronizează și aplicația LifeTags++ [7], care procesează și stochează lifelog-ul în vederea obținerii norilor de cuvinte din realitatea fizică, respectiv realitatea virtuală și combinația acestora folosind operații specifice mulțimilor.

7.2 Experiment

Am efectuat o evaluare tehnică a aplicației LifeTags-MR sub forma unui experiment controlat pentru a demonstra conceptul lifelogging în realitatea mixtă și pentru a înțelege efectul unor decizii de proiectare și implementare pentru astfel de aplicații, cum ar fi densitatea obiectelor virtuale folosite pentru augmentarea spațiului fizic.

7.2.1 Proiectarea experimentului

Experimentul a fost proiectat pentru a testa aplicația LifeTags-MR într-o clădire cu trei etaje timp de 30 de minute, câte 10 minute pe fiecare etaj în condiții de densitate diferită a obiectelor virtuale. Pentru fiecare etaj am alocat un număr de obiecte virtuale în progresie aritmetică, după cum urmează: 14 obiecte parter (scenă MR de complexitate scăzută), 28 de obiecte la primul etaj (scenă MR de complexitate medie), și 56 de obiecte la al doilea etaj (scenă MR de complexitate ridicată). Alegerea obiectelor pentru fiecare etaj a fost realizată în mod aleatoriu. Frecvența de înregistrare a obiectelor virtuale din câmpul vizual al utilizatorului, respectiv a obiectului pe care utilizatorul îl fixează cu privirea a fost de 2 fps, similară cu cea utilizată de aplicațiile prezentate în capitolele 3 și 4. De asemenea, am înregistrat câte o secvență video pentru fiecare

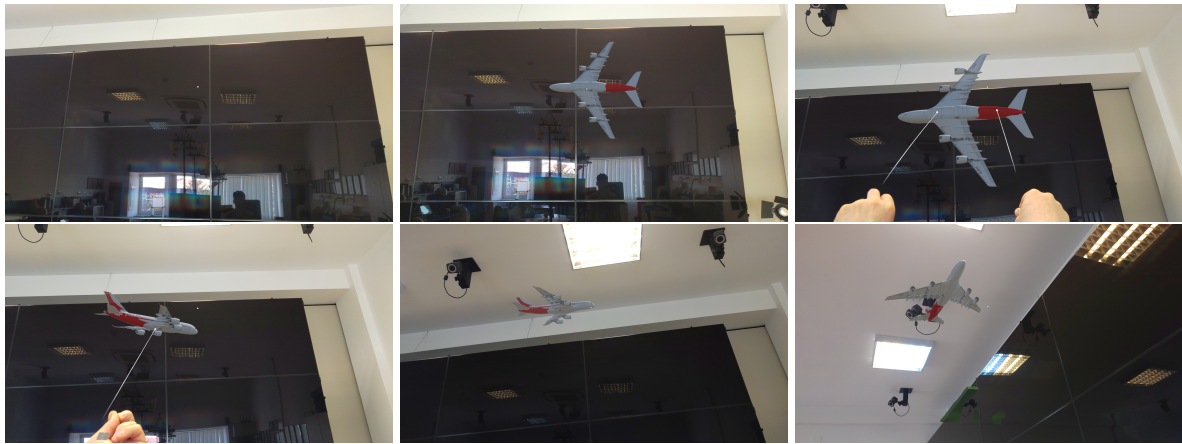


Figura 7.1. Plasarea obiectelor în scenă folosind comenzi gestuale și vocale. De la stânga la dreapta și de sus în jos: realitatea fizică fără obiecte virtuale suprapuse, adăugarea unui obiect virtual în scenă prin intermediul comenzii vocale “airplane”, redimensionarea obiectului folosind ambele mâini, rotirea obiectului folosind un gest unimanual, obiectul după ce a fost manipulat și plasat la locul dorit, respectiv observarea obiectului din alt unghi.

etaj folosind camera video integrată în dispozitivul Microsoft HoloLens 2 la o rezoluție de 2272 x 1278 pixeli, cu o frecvență implicită de 30 fps. După efectuarea experimentului, am prelucrat conținutul video folosind o aplicație dezvoltată în Python pentru a extrage imagini la frecvența 2 fps, conform recomandărilor din [6].

7.2.2 Rezultate

În urma experimentului am colectat un număr total de 3.600 de imagini corespunzătoare a 30 de minute de înregistrare pentru toate cele trei scenarii. De asemenea, am obținut 3.600 de înregistrări în fișiere în care au fost stocate obiectele virtuale din câmpul vizual al utilizatorului și obiectele virtuale urmărite cu privirea de către acesta. Imaginile obținute au fost analizate cu ajutorul API-ului de viziune artificială Clarifai, ca în cazul LifeTags [6] și LifeTags++ [7], care a extras un număr total de 35.185 de concepte cu o încredere de peste 95% dintre care 184 au fost distincte. Numărul total al obiectelor virtuale înregistrate care s-au aflat în câmpul vizual al utilizatorului a fost de 15.270, dintre care 98 au fost distincte. Numărul total al obiectelor virtuale înregistrate care au fost urmărite cu privirea de către utilizator a fost de 160, dintre care 33 distincte.

7.2.3 Concluzii

Am introdus conceptul lifelogging în realitatea mixtă împreună cu o demonstrare a conceptului prin implementarea aplicației LifeTags-MR, care suprapune obiecte virtuale peste realitatea fizică. De asemenea, am proiectat și desfășurat un experiment controlat în care am testat această aplicație. Rezultatele obținute sunt importante deoarece arată că există un raport direct proporțional între complexitatea scenei de realitate mixtă și numărul mediu de obiecte virtuale înregistrate în lifelog.

Capitolul 8

Concluzii

Dispozitivele portabile, cum ar fi ceasurile, ochelarii și camerele video portabile, încep să se regăsească din ce în ce mai mult în viața de zi cu zi dar nu întotdeauna aplicațiile care înregistrează datele furnizate de acestea oferă informații cu adevărat relevante pentru utilizatori. De exemplu, majoritatea aplicațiilor de tip lifelogging prezintă jurnale în aceeași formă în care au fost înregistrate, fără a folosi algoritmi de inteligență artificială care să extragă informații relevante din datele achiziționate. În elaborarea acestei lucrări am avut în vedere următoarele aspecte: (1) în primul rând, am realizat o analiză a stadiului curent în cercetarea științifică a aplicațiilor pentru ochelari smart cu camere video integrate și un studiu al literaturii științifice în vederea extragerii comenzilor vocale pentru aplicațiile asistive adresate utilizatorilor cu probleme de vedere; (2) am proiectat, implementat și evaluat noi prototipuri de sisteme și aplicații care folosesc ochelari smart cu camere video integrate pentru înregistrarea vieții personale și prezentarea lifelog-urilor rezultate într-o manieră orientată către confidențialitatea trecătorilor; (3) am elaborat și discutat recomandări de proiectare pentru aplicațiile de tip lifelogging care procesează imaginile folosind algoritmi de viziune artificială; (4) am descris spații conceptuale pentru lifelogging în diverse contexte de utilizare, precum și aplicații pentru partajarea și consumul de realități alternative și (5) am introdus conceptul de lifelogging în realitatea mixtă, pe care l-am demonstrat cu o aplicație pentru dispozitivul Microsoft HoloLens 2.

8.1 Contribuțiile lucrării de doctorat

Contribuțiile aduse de această lucrare de doctorat sunt:

- C*₁. Rezultatele unei analize a stadiului curent privind aplicații interactive destinate ochelarilor smart, inclusiv ochelarilor cu camere video integrate, care au indicat o diversitate a acestor aplicații în contextul recent al creșterii disponibilității tehnologiei portabile și accesibilității dispozitivelor portabile la nivel comercial (Capitolul 2). De asemenea, rezultatele unei analize a stadiului curent privind aplicații de tip lifelogging, mobile crowdsensing și partajarea vederii (Capitolul 2), care au scos în evidență o lipsă a investigațiilor științifice privind exploatarea facilităților oferite de ochelarii smart cu camere video integrate în aceste domenii aplicative. O parte din aceste contribuții au fost publicate la conferința DAS 2020 în cadrul lucrării Aiordăchioae *et al.* [2].
- C*₂. Introducerea conceptului LifeTags pentru înregistrarea și rezumarea vieții sub formă de nori de cuvinte extrase automat din imagini achiziționate folosind camere video portabile, inclusiv camere video integrate în ochelari smart (Capitolul 3). Aceasta contribuție a fost publicată la conferința ACM EICS 2019 în cadrul lucrării Aiordăchioae și Vatavu [6].

- C*₃. Un sistem purtabil și o aplicație, folosind o arhitectură software dedicată, care demonstrează conceptul LifeTags pentru ochelari cu camere video integrate, împreună cu o descriere a aspectelor tehnice corespunzătoare implementării practice (Capitolul 3). Aceasta contribuție a fost publicată la conferința ACM EICS 2019 în cadrul lucrării Aiordăchioae și Vatavu [6].
- C*₄. Rezultatele unui experiment controlat în care am evaluat conceptul și implementarea LifeTags folosind ochelari cu camere video integrate (Capitolul 3). În urma acestui experiment, a rezultat un set de date alcătuit din 21.600 de imagini de rezoluție full-HD, pe baza căruia am formulat principii de proiectare a aplicațiilor ce folosesc nori de cuvinte pentru rezumarea vieții. Aceasta contribuție a fost publicată la conferința ACM EICS 2019 în cadrul lucrării Aiordăchioae și Vatavu [6].
- C*₅. Sistemul purtabil și aplicația software LifeTags++, care utilizează mai multe dispozitive simultan pentru înregistrarea vieții, pentru mai mulți utilizatori și din mai multe perspective, folosind o arhitectură software dedicată, actualizată în acord cu abordarea multi-perspectivă și folosind servicii cloud pentru stocarea și procesarea imaginilor și a conceptelor extrase (Capitolul 4). Aceasta contribuție a fost publicată în revista Romjist 2022 în cadrul lucrării Aiordăchioae și Vatavu [7].
- C*₆. Rezultatele unui al doilea experiment controlat, în care am evaluat avantajatele aduse de aplicații lifelogging multi-perspectivă, folosind conceptul și sistemul purtabil LifeTags++ implementat cu trei camere video care au furnizat diverse perspective, egocentrice și exocentrice, asupra vieții unui utilizator (Capitolul 4). Aceasta contribuție a fost publicată în revista Romjist 2022 în cadrul lucrării Aiordăchioae și Vatavu [7].
- C*₇. Un spațiu conceptual cu două dimensiuni, difuzare și timp, denumit Alternate Reality Broadcast Time (ARBT), destinat proiectării aplicațiilor de partajare a realităților vizuale personale, inclusiv prin intermediul aplicațiilor de tip lifelog, către o audiență aflată la distanță (Capitolul 5). De asemenea, patru aplicații software de partajare a vederii utilizatorului achiziționată folosind ochelari smart cu camere video integrate, care demonstrează utilitatea acestui spațiu conceptual (Capitolul 5). Aceasta contribuție a fost publicată în revista MTAP 2021 în cadrul lucrării Aiordăchioae *et al.* [3].
- C*₈. Două spații de proiectare pentru conținut digital în cadrul aplicațiilor de tip lifelogging, împreună cu două aplicații demonstrative folosind ochelari cu camere video integrate pentru două contexte de utilizare: autovehicule conectate și evidența jurnalului alimentar (Capitolul 6). Aceste contribuții a fost prezentate la conferința ACM SIGCHI 2019 în cadrul lucrării Aiordăchioae *et al.* [4] și conferința EHB 2021 în cadrul lucrării Aiordăchioae [5].
- C*₉. Extinderea conceptului lifelogging pentru realitatea mixtă și demonstrarea acestuia cu aplicația software LifeTags-MR destinată ochelarilor de realitate mixtă Microsoft HoloLens 2 (Capitolul 7). Aplicația LifeTags-MR înregistrează și realizează un rezumat al vieții utilizatorului atât din perspectiva realității fizice cât și a obiectelor virtuale suprapuse peste aceasta, conform specificului realității mixte. De asemenea, rezultatele unui experiment controlat în care am evaluat aplicația LifeTags-MR confirmă aplicabilitatea conceptului și sistemelor de tip lifelogging pentru medii de realitate mixtă care combină elemente reale și virtuale.

Rezultatele obținute au fost diseminate într-un număr de 11 articole publicate în cadrul unor reviste și conferințe internaționale.

8.2 Dezvoltări viitoare

Sistemul purtabil LifeTags prezentat în capitolul 3 ar putea integra senzori și dispozitive de intrare cum ar fi senzori pentru urmărirea privirii [30] sau inele smart [22] interconectate prin arhitectura software flexibilă bazată pe evenimente [48]. De asemenea, ar putea utiliza modele de atenție vizuală [37] pentru a genera și prezenta utilizatorilor o varietate de nori de concepte care conțin liste de concepte selectate, cum ar fi conceptele referitoare la scene probabil neobservate de utilizator la momentul înregistrării. Alte activități de dezvoltare ulterioară pot urmări evaluarea aspectelor de utilizare a sistemului purtabil și aplicației LifeTags cu participanți ce fac parte din diverse categorii de vârstă, sex și ocupație profesională, precum și studierea efectului norilor de concepte pentru sprijinirea memoriei pentru aplicații practice de sănătate asistată (*mHealth* și *eHealth*).

În ceea ce privește sistemul purtabil și aplicația LifeTags++ prezentate în capitolul 4, ar putea exista mai multe direcții pentru dezvoltarea lor. De exemplu, o pereche de ochelari smart de realitate augmentată ar putea furniza notificări vizuale și îmbunătăți suportul actual pentru situații de atenție diminuată, de exemplu prin evidențierea anumitor obiecte de interes cu indicii vizuale. De asemenea, tehnicile de interacțiune concepute pentru a controla, activa și dezactiva perspectivele pentru aplicația LifeTags++ sunt subiecte interesante de investigat în detaliu în viitor. Aspectele de securitate și confidențialitate, integritate, disponibilitate și controlul accesului ar trebui implementate și evaluate. Integrarea altor perspective cu ajutorul unor dispozitive noi în arhitectura software a LifeTags++ este o direcție de dezvoltare ce poate fi luată de asemenea în considerare. De exemplu, dronele personale pot surprinde perspective aeriene operând în modul autonom “follow me”. Evaluarea sistemului purtabil LifeTags++ pentru anumite categorii de utilizatori este, de asemenea, o direcție interesantă pentru cercetări viitoare, de exemplu pentru persoane cu diverse dizabilități [21,55], care ar putea folosi dispozitive portabile pentru a controla diverse funcții într-o casă inteligentă sau pentru a accesa informații și servicii în contextul scenariilor de inteligență ambientală [1,54].

Pentru aplicația LifeTags-MR ar putea exista direcții interesante de dezvoltate. De exemplu, în generarea noriilor de obiecte ar putea să se țină cont și de alte criterii decât numărul de apariții. Poziția obiectului în câmpul vizual al utilizatorului ar putea fi un astfel de criteriu. Un obiect aflat în centru câmpului vizual ar putea avea o pondere mai mare pentru a fi mai vizibil în norul de cuvinte. Același lucru ar putea fi făcut și în cazul în care un obiect apare în mai multe cadre consecutive pentru că acest fapt denotă că utilizatorul i-a oferit mai multă atenție. Acest lucru poate fi realizat folosind informațiile înregistrate cu ajutorul senzorului încorporat în dispozitivul Microsoft Hololens 2 care urmărește privirea.

Aplicațiile de tip lifelogging adresate unor contexte specifice prezentate în capitolul 6, cum ar fi cele pentru autovehiculele conectate 6.1 sau pentru înregistrarea jurnalului alimentar 6.2.2, pot fi dezvoltate în viitor în mai multe privințe. De exemplu, aplicația pentru lifelogging pentru autovehiculele conectate ar putea achiziționa informații diverse de la mult mai multe surse de date, sub diverse forme de reprezentare, din perspectivele mai multor actori aflați în diverse locații din interiorul sau exteriorul autovehiculului corespunzător celor cinci dimensiuni ale spațiului de proiectare propus [4]. Achiziționarea mai multor date și implementarea de tehnici de interacțiune pentru vizualizarea și manipularea conținutului digital în autovehiculele conectate pot îmbunătăți experiența de călătorie a șoferilor și a pasagerilor. Pentru dezvoltarea aplicației de lifelogging alimentar așa propune folosirea unei perechi de ochelari care au o cameră video integrată poziționată central pentru a avea o perspectivă centrală asupra a ceea ce vede utilizatorul și o a doua cameră video orientată în jos, astfel încât să poată surprinde suprafața mesei. Ambele camere ar trebui să aibă o bună rezoluție și să poată stabiliza imaginile pentru a nu înregistra

imagini neclare atunci când utilizatorul execută mișcări rapide. De asemenea, aplicația ar putea fi îmbunătățită pentru a înregistra alimentele numai atunci când utilizatorul le consumă iar, în acest scop, s-ar putea folosi senzori electromiografici [25] pentru a identifica când utilizatorul mestecă.

8.3 Implicarea în proiecte de cercetare

1. “Augmentare senzorială în contexte de percepție vizuală redusă folosind tehnologii interactive wearable”, Proiect nr. PN-III-P1-1.1-TE-2016-2173; Contract nr. TE141/2018.
2. “Creșterea capacității instituționale a laboratorului de Mașini Inteligente și Vizualizarea Informației pentru cercetare de excelență în tehnologii interactive”, Proiect nr. PN-III-P3-3.6-H2020-2020-0034; Contract nr. 12/2021.

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:

- “Augmentare senzorială în contexte de percepție vizuală redusă folosind tehnologii interactive wearable”, Proiect nr. PN-III-P1-1.1-TE-2016-2173; Contract nr. TE141/2018.
- “Creșterea capacității instituționale a laboratorului de Mașini Inteligente și Vizualizarea Informației pentru cercetare de excelență în tehnologii interactive”, Proiect nr. PN-III-P3-3.6-H2020-2020-0034; Contract nr. 12/2021.
- “Excelența academică și valori antreprenoriale - sistem de burse pentru asigurarea oportunităților de formare și dezvoltare a competențelor antreprenoriale ale doctoranzilor și post-doctoranzilor - ANTREPRENORDOC”, Proiect POCU/380/6/13 SMIS 123847; Contract nr. 36355/23.05.2019.

Referințe

- [1] G. Acampora, D. J. Cook, P. Rashidi, and A. V. Vasilakos. A Survey on Ambient Intelligence in Healthcare. *Proceedings of the IEEE*, 101(12):2470–2494, 2013. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6579688>.
- [2] A. Aiordăchioae, O.-A. Schipor, and R.-D. Vatavu. An inventory of voice input commands for users with visual impairments and assistive smartglasses applications. In *2020 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, pages 146–150. IEEE, 2020. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9108915>.
- [3] A. Aiordăchioae, C. Pamparău, and R.-D. Vatavu. Lifelogging meets alternate and cross-realities: an investigation into broadcasting personal visual realities to remote audiences. *Multimedia Tools and Applications*, pages 1–24, 2021. URL <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-021-11310-3>.
- [4] A. Aiordăchioae, R.-D. Vatavu, and D.-M. Popovici. A Design Space for Vehicular Lifelogging to Support Creation of Digital Content in Connected Cars. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, EICS '19, pages 9:1–9:6, New York, NY, USA, 2019. ACM. URL <http://doi.acm.org/10.1145/3319499.3328234>.
- [5] A. Aiordăchioae. An Investigation of Automatic Food Logging for Health Applications Based on Video Camera Glasses. In *2021 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB)*, pages 1–4, 2021. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9657665>.
- [6] A. Aiordăchioae and R.-D. Vatavu. Life-Tags: A Smartglasses-based System for Recording and Abstracting Life with Tag Clouds. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, 3(EICS): 15:1–15:22, June 2019. URL <http://doi.acm.org/10.1145/3331157>.
- [7] A. Aiordăchioae and R.-D. Vatavu. LifeTags++: A Multi-User, Multi-Device, and Multi-Perspective System for Recording and Abstracting Visual Life with Tag Clouds. *Romanian Journal of Information Science and Technology*, 25(1):80–91, 2022. URL <https://www.romjist.ro/abstract-708.html>.
- [8] Aishine Electronics. AI-IP60 Tutorial video of WiFi Live viewing Spy Gear Eyeglasses IP Hidden Spy Camera. URL <https://www.youtube.com/watch?v=W8xi6p4HpNU>. [Last accessed: August 9, 2023].
- [9] Apache 2.0. A type-safe HTTP client for Android and Java. URL <https://mvnrepository.com/artifact/com.squareup.retrofit2/retrofit/2.1.0>. [Last accessed: August 9, 2023].

- [10] R. Azuma. The road to ubiquitous consumer augmented reality systems. *Human Behavior and Emerging Technologies*, page e113, 02 2019. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hbe2.113>.
- [11] R. T. Azuma. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, 6(4): 355–385, Aug. 1997. URL <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>.
- [12] R. T. Azuma. The Most Important Challenge Facing Augmented Reality. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, 25(3):234–238, Dec. 2016. URL https://doi.org/10.1162/PRES_a_00264.
- [13] A. Bedri, D. Li, R. Khurana, K. Bhuwalka, and M. Goel. FitByte: Automatic Diet Monitoring in Unconstrained Situations Using Multimodal Sensing on Eyeglasses. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’20, page 1–12, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery. URL <https://doi.org/10.1145/3313831.3376869>.
- [14] A. Berner. Augmented Reality – The Past, The Present and The Future, September 2019. URL <https://www.interaction-design.org/literature/article/augmented-reality-the-past-the-present-and-the-future>. [Last accessed: August 8, 2023].
- [15] M. Billinghurst, A. Clark, and G. Lee. A Survey of Augmented Reality. *Found. Trends Hum.-Comput. Interact.*, 8(2–3):73–272, Mar. 2015. URL <https://doi.org/10.1561/11000000049>.
- [16] Clarifai. About | The World’s AI | Leading Computer Vision AI Lifecycle Platform, 2019. URL <https://clarifai.com/about>. [Last accessed: August 9, 2023].
- [17] D. de Jager, A. L. Wood, G. V. Merrett, B. M. Al-Hashimi, K. O’Hara, N. R. Shadbolt, and W. Hall. A Low-power, Distributed, Pervasive Healthcare System for Supporting Memory. In *Proceedings of the First ACM MobiHoc Workshop on Pervasive Wireless Healthcare*, MobileHealth ’11, pages 5:1–5:7, New York, NY, USA, 2011. ACM. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2007036.2007043>.
- [18] M. Dodge and R. Kitchin. ’Outlines of a World Coming into Existence’: Pervasive Computing and the Ethics of Forgetting. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34(3):431–445, 2007. URL <https://doi.org/10.1068/b32041t>.
- [19] R. K. Ganti, F. Ye, and H. Lei. Mobile crowdsensing: current state and future challenges. *IEEE Communications Magazine*, 49(11):32–39, 2011. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6069707>.
- [20] Gartner. Gartner says worldwide wearable device sales to grow 26 percent in 2019, 2018. URL <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-11-29-gartner-says-worldwide-wearable-device-sales-to-grow->. [Last accessed: August 9, 2023].
- [21] O. Gelonch, M. Ribera Turró, N. Codern-Bové, S. Ramos, M. Quintana, G. Chico, N. Cerrulla Torrente, P. Lafarga, P. Radeva, and M. Garolera. Acceptability of a lifelogging wearable camera in older adults with mild cognitive impairment: A mixed-method study. *BMC Geriatrics*, 19, 04 2019. URL <https://bmgeriatr.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12877-019-1132-0>.

- [22] B.-F. Gheran, J. Vanderdonckt, and R.-D. 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. URL <http://doi.acm.org/10.1145/3196709.3196741>.
- [23] C. Gurrin, A. F. Smeaton, and A. R. Doherty. LifeLogging: Personal Big Data. *Found. Trends Inf. Retr.*, 8(1):1–125, June 2014. URL <http://dx.doi.org/10.1561/15000000033>.
- [24] S. Hodges, L. Williams, E. Berry, S. Izadi, J. Srinivasan, A. Butler, G. Smyth, N. Kapur, and K. Wood. SenseCam: A Retrospective Memory Aid. In *Proceedings of the 8th International Conference on Ubiquitous Computing*, UbiComp'06, pages 177–193, Berlin, Heidelberg, 2006. Springer-Verlag. URL http://dx.doi.org/10.1007/11853565_11.
- [25] Q. Huang, W. Wang, and Q. Zhang. Your Glasses Know Your Diet: Dietary Monitoring Using Electromyography Sensors. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(3):705–712, 2017. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7828094>.
- [26] R. Johansen. *GroupWare: Computer Support for Business Teams*. The Free Press, USA, 1988. ISBN 0029164915.
- [27] S. Kasahara, S. Nagai, and J. Rekimoto. LiveSphere: Immersive Experience Sharing with 360 Degrees Head-Mounted Cameras. In *Proceedings of the Adjunct Publication of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST'14 Adjunct, page 61–62, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery. URL <https://doi.org/10.1145/2658779.2659114>.
- [28] S. Kasahara, S. Nagai, and J. Rekimoto. First Person Omnidirectional Video: System Design and Implications for Immersive Experience. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video*, TVX '15, page 33–42, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery. URL <https://doi.org/10.1145/2745197.2745202>.
- [29] S. Kasahara, M. Ando, K. Suganuma, and J. Rekimoto. Parallel Eyes: Exploring Human Capability and Behaviors with Paralleled First Person View Sharing. In *ACM SIGGRAPH 2016 VR Village*, SIGGRAPH '16, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. URL <https://doi.org/10.1145/2929490.2929495>.
- [30] M. Kassner, W. Patera, and A. Bulling. Pupil: An Open Source Platform for Pervasive Eye Tracking and Mobile Gaze-based Interaction. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication*, UbiComp '14 Adjunct, pages 1151–1160, New York, NY, USA, 2014. ACM. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2638728.2641695>.
- [31] I. Khan, A. Khan, S. Khusro, and M. Naeem. Vehicular Lifelogging: Issues, Challenges, and Research Opportunities. *International Journal of Information Communication Technologies and Robotics Applications*, 8:30–37, 12 2017. URL https://www.researchgate.net/publication/324273964_Vehicular_Lifelogging_Issues_Challenges_and_Research_Opportunities.

- [32] K. Kitamura, T. Yamasaki, and K. Aizawa. Food Log by Analyzing Food Images. In *Proceedings of the 16th ACM International Conference on Multimedia*, MM '08, pages 999–1000, New York, NY, USA, 2008. ACM. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1459359.1459548>.
- [33] M. Kono, T. Miyaki, and J. Rekimoto. JackIn Airsoft: Localization and View Sharing for Strategic Sports. VRST '17, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery. URL <https://doi.org/10.1145/3139131.3139161>.
- [34] F. Laricchia. Wearables shipments worldwide 2021. URL <https://www.statista.com/statistics/437871/wearables-worldwide-shipments/>. [Last accessed: August 9, 2023].
- [35] L. Lee and P. Hui. Interaction Methods for Smart Glasses: A Survey. *IEEE Access*, 6:28712–28732, 2018. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8368051>.
- [36] Lytx. Video Telematics and Fleet Management Solutions, 2019. URL <https://www.lytx.com>. [Last accessed: August 8, 2023].
- [37] M. Mancas, V. P. Ferrera, N. Riche, and J. G. Taylor. *From Human Attention to Computational Attention: A Multidisciplinary Approach*. Springer Publishing Company, Incorporated, 1st edition, 2016. URL <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-3435-5>.
- [38] M. McCullough, L. Kulber, P. Sammons, P. Santos, and D. Kulber. Google Glass for Remote Surgical Tele-proctoring in Low- and Middle-income Countries: A Feasibility Study from Mozambique. *Plastic and Reconstructive Surgery Global Open*, Latest Articles:1, 12 2018. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6326622/>.
- [39] J. McVeigh-Schultz, J. Stein, J. Boyle, E. Duff, J. Watson, A. Syam, A. Tasse, S. Wiscombe, and S. Fisher. Vehicular Lifelogging: New Contexts and Methodologies for Human-car Interaction. In *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '12, pages 221–230, New York, NY, USA, 2012. ACM. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2212776.2212800>.
- [40] V. Metsis, D. Kosmopoulos, V. Athitsos, and F. Makedon. Non-invasive Analysis of Sleep Patterns via Multimodal Sensor Input. *Personal Ubiquitous Comput.*, 18(1):19–26, Jan. 2014. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-012-0623-1>.
- [41] MyFitnessPal. Good health starts with what you eat. URL <https://www.myfitnesspal.com>. [Last accessed: October 10, 2023].
- [42] MyNetDiary. Be Healthy for Life! URL <https://www.mynetdiary.com>. [Last accessed: October 10, 2023].
- [43] Narrative. The World's Most Wearable HD Video Camera | Narrative Clip 2, 2019. URL <http://getnarrative.com/>. [Last accessed: August 9, 2023].
- [44] B. Nguyen, D. T. Dang Nguyen, T. Dang, V.-P. Thai, and C. Gurrin. A Deep Learning based Food Recognition System for Lifelog Images. pages 657–664, 01 2018. URL <https://pdfs.semanticscholar.org/59c7/b50b32f58c6b8377abb49a27992f83864dcd.pdf>.

- [45] M. Obrist, C. Velasco, C. T. Vi, N. Ranasinghe, A. Israr, A. D. Cheok, C. Spence, and P. Gopalakrishnakone. Touch, Taste, & Smell User Interfaces: The Future of Multisensory HCI. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '16, pages 3285–3292, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery. URL <https://doi.org/10.1145/2851581.2856462>.
- [46] A. Rostami, E. Bexell, and S. Stanisic. The Shared Individual. TEI '18, page 511–516, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery. URL <https://doi.org/10.1145/3173225.3173299>.
- [47] A. Rostami, B. Xu, and R. Jain. *Multimedia Food Logger*, page 4548–4549. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2020. URL <https://doi.org/10.1145/3394171.3414454>.
- [48] O.-A. Schipor, R.-D. Vatavu, and J. Vanderdonckt. Euphoria: A Scalable, event-driven architecture for designing interactions across heterogeneous devices in smart environments. *Information and Software Technology*, 109:43 – 59, 2019. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584919300096>.
- [49] M. B. Schulze, M. A. Martínez-González, T. T. Fung, A. H. Lichtenstein, and N. G. Forouhi. Food based dietary patterns and chronic disease prevention. *BMJ*, 361, 2018. URL <https://www.bmj.com/content/361/bmj.k2396>.
- [50] A. J. Sellen and S. Whittaker. Beyond Total Capture: A Constructive Critique of Lifelogging. *Commun. ACM*, 53(5):70–77, May 2010. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1735223.1735243>.
- [51] M. Spitzer, I. Nanic, and M. Ebner. Distance Learning and Assistance Using Smart Glasses. *Education Sciences*, 8(1), 2018. URL <https://doi.org/10.3390/educsci8010021>.
- [52] J. Surowiecki. *The Wisdom of Crowds*. Anchor, 2005. ISBN 0385721706.
- [53] Thea. Connected vehicle hardware - drivers, 2019. URL <https://mobiliuz.com/drivers.html>. [Last accessed: August 8, 2023].
- [54] O.-C. Ungurean and R.-D. Vatavu. Users with Motor Impairments' Preferences for Smart Wearables to Access and Interact with Ambient Intelligence Applications and Services. In *Proceedings of the 12th International Symposium on Ambient Intelligence (ISAmI'21)*. Springer, Switzerland, 2021. URL https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-06894-2_2.
- [55] C. Watson, R. Kirkham, and A. Kharrufa. *PIP Kit: An Exploratory Investigation into Using Lifelogging to Support Disability Benefit Claimants*, page 1–14. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2020. URL <https://doi.org/10.1145/3313831.3376215>.
- [56] WOWZA media systems. 2019 Video Streaming Latency Report. URL <https://www.wowza.com/wp-content/uploads/Streaming-Video-Latency-Report-Interactive-2019.pdf>. [Last accessed: August 9, 2023].

- [57] F. Zini, M. Reinstadler, and F. Ricci. Life-logs Aggregation for Quality of Life Monitoring. In *Proceedings of the 5th International Conference on Digital Health 2015*, DH '15, pages 131–132, New York, NY, USA, 2015. ACM. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2750511.2750531>.