



Universitatea  
Ștefan cel Mare  
Suceava

# INTERFEȚE UTILIZATOR GESTUALE PENTRU DISPOZITIVE MOBILE ȘI WEARABLE -REZUMAT-

*Coordonator științific*

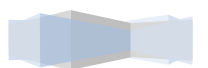
Prof. univ. dr. ing. Radu-Daniel VATAVU

*Doctorand*

ing. Bogdan-Florin GHERAN

Suceava, 2020

Laboratorul de Mașini Inteligente și Vizualizarea Informației, Centrul integrat de cercetare, dezvoltare și inovare pentru Materiale Avansate, Nanotehnologii și Sisteme Distribuite de fabricație și control (MANSiD)



# Cuprins

CUPRINS.....	3
<b>1. INTRODUCERE.....</b>	<b>5</b>
<b>2. STADIUL ACTUAL ÎN PROIECTAREA INTERFEȚELOR GESTUALE PENTRU DISPOZITIVE MOBILE ȘI WEARABLE .....</b>	<b>7</b>
<b>3. PROTOTIPURI DE DISPOZITIVE ȘI APLICAȚII MOBILE ȘI WEARABLE PENTRU ACHIZIȚIA COMENZILOR GESTUALE .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 APLICAȚII SOFTWARE ȘI INTERFEȚE UTILIZATOR PENTRU ACHIZIȚIA GESTURILOR FOLOSIND DISPOZITIVE MOBILE.....</b>	<b>8</b>
3.1.1 <i>Aplicația Tap-Experiment pentru dispozitive mobile cu ecran tactil.....</i>	8
3.1.2 <i>Aplicația Density-Tap pentru dispozitive mobile cu ecran tactil.....</i>	8
3.1.3 <i>Aplicația Moving-Tap pentru dispozitive mobile cu ecran tactil.....</i>	8
3.1.4 <i>Aplicația Drag-and-Drop pentru dispozitive mobile cu ecran tactil.....</i>	9
3.1.5 <i>Aplicația Finger-Gesture pentru ecrane tactile și inele smart .....</i>	9
3.1.6 <i>Aplicația Collage-Gesture pentru ecrane tactile și inele smart .....</i>	9
<b>3.2 PROTOTIPURI HARDWARE PENTRU DISPOZITIVE WEARABLE .....</b>	<b>10</b>
3.2.1 <i>Inel smart PhiSpatial .....</i>	10
3.2.2 <i>Sistemul wearable PhiAccel de achiziție a mișcărilor întregului corp .....</i>	10
<b>4. SPAȚII CONCEPTUALE PENTRU PROIECTAREA DE INTERFEȚE GESTUALE PENTRU INELE SMART .....</b>	<b>11</b>
4.1 <b>O TAXONOMIE A GESTURILOR EXECUTATE CU INELE SMART.....</b>	<b>11</b>
4.2 <b>REPLIGES: UN SPAȚIU CONCEPTUAL PENTRU REPRODUCEREA STUDIILOR DE SOLICITARE A PREFERINȚELOR UTILIZATORILOR PENTRU COMENZI GESTUALE .....</b>	<b>12</b>
<b>5. STUDII ȘI EXPERIMENTE PENTRU ACHIZIȚIA GESTURILOR ȘI PREFERINȚELOR UTILIZATORILOR PENTRU COMENZI GESTUALE .....</b>	<b>13</b>
<b>5.1 EXPERIMENT NR. 1: SOLICITAREA PREFERINȚELOR UTILIZATORILOR PRIVIND GESTURI CE POT FI REALIZATE CU INELE SMART .....</b>	<b>13</b>
5.1.1 <i>Participanți .....</i>	13
5.1.2 <i>Aparatura experimentului .....</i>	13
5.1.3 <i>Desfășurarea experimentului .....</i>	14
5.1.4 <i>Sarcina experimentului .....</i>	14
5.1.5 <i>Mărimi.....</i>	15
5.1.6 <i>Rezultate.....</i>	15
5.1.7 <i>Consensul dintre gesturile propuse de către participanți.....</i>	15
5.1.8 <i>Analiza gradului de potrivire a gesturilor cu funcțiile de executat.....</i>	16
5.1.9 <i>Efectul timpului de gândire, abilităților motorii și creativității asupra consensului dintre gesturile propuse de participanții la studiu.....</i>	16
5.1.10 <i>Efectul criteriilor de clasificare și grupare a gesturilor asupra consensului dintre participanți .....</i>	16
5.1.11 <i>Influența metodei de clasificare și grupare a gesturilor, precum și a proiectării experimentului asupra ratei de consens dintre participanți .....</i>	16
<b>5.2 EXPERIMENT NR. 2: REPRODUCEREA REZULTATELOR EXPERIMENTALE PRIVIND PREFERINȚELE UTILIZATORILOR PENTRU COMENZI GESTUALE CE POT FI EXECUTATE CU INELE SMART .....</b>	<b>17</b>
5.2.1 <i>Participanți .....</i>	17
5.2.2 <i>Aparatura experimentului .....</i>	17
5.2.3 <i>Sarcina experimentului .....</i>	17
5.2.4 <i>Mărimi.....</i>	18
5.2.5 <i>Rezultate.....</i>	18
<b>5.3 EXPERIMENT NR. 3: ACHIZIȚIA NUMERICĂ ȘI ANALIZA GESTURILOR REALIZATE CU INELE SMART .....</b>	<b>19</b>



5.3.1 Sarcina experimentului .....	19
5.3.2 Rezultate experimentale.....	20
<b>5.4 EXPERIMENT NR. 4: ACHIZIȚIA GESTURILOR FOLOSIND DISPOZITIVE WEARABLE LA NIVELUL ÎNTREGULUI CORP.....</b>	<b>20</b>
5.4.1 Sarcina experimentului .....	20
5.4.2 Rezultate.....	20
<b>6. RECOMANDĂRI DE PROIECTARE A COMENZILOR GESTUALE PENTRU INELE SMART ....</b>	<b>21</b>
6.1 RECOMANDĂRI DE PROIECTARE PENTRU GESTURI ȘI INELE SMART.....	21
6.2 RINGx2, UN SPAȚIU DE PROIECTARE A INTERACȚIUNII GESTUALE FOLOSIND DOUĂ INELE SMART .....	23
6.2.1 Descrierea categoriilor algebrei temporale.....	23
6.2.2 Rezultate.....	24
6.3 O INVESTIGAȚIE PRIVIND FOLOSIREA INELELOR SMART CA DISPOZITIVE ASISTIVE PENTRU UTILIZATORI CU DEFICIENȚE MOTORII .....	24
6.3.1 Tehnologii asistive pentru utilizatorii cu dizabilități motorii .....	24
6.3.2 Recomandări privind proiectarea de interfețe și dispozitive wearable pentru utilizatori cu dizabilități motorii .....	24
6.4 O INVESTIGAȚIE PRIVIND FOLOSIREA INELELOR SMART ÎN CONTEXTUL INTERACȚIUNILOR GESTUALE DIN INTERIORUL UNUI AUTOVEHICUL .....	25
<b>7. CONCLUZII ȘI DEZVOLTĂRI VIITOARE .....</b>	<b>26</b>
7.1 CONCLUZII.....	26
7.2 ARTICOLE ȘTIINȚIFICE PUBLICATE.....	26
7.3 DEZVOLTĂRI VIITOARE.....	27
<b>REFERINȚE .....</b>	<b>29</b>



# 1. INTRODUCERE

Tehnologia mobilă și purtabilă (*en.*: wearable) a ajuns să joace un rol deosebit de important în viața de zi cu zi prin funcționalitățile și serviciile oferite în ceea ce privește accesul la informație, facilitățile de comunicare, precum și posibilități de control. Apariția acestor dispozitive wearable a fost determinată de o nevoie concretă de a acoperi un segment de nișă al pieței de consum, pentru care au fost propuse utilizatorilor noi prototipuri, aplicații și modalități de a interacționa cu informația digitală care să crească mobilitatea și să completeze oportunitățile oferite de către telefoanele smart. Dacă în domeniul telefoanelor mobile s-au conturat deja companii cu o acoperire largă a pieței oferind sisteme de operare și dezvoltare care expun interfețe utilizator grafice (*en.*: GUI – Graphic User Interface), dezvoltările în ceea ce privește interfețele și aplicațiile pentru dispozitivele wearable se află la început. **În acest context, această lucrare de doctorat abordează tema interfețelor utilizator pentru dispozitive mobile și wearable cu accent pe folosirea comenzilor gestuale: plecând de la stadiul curent în ceea ce privește interacțiunea bazată pe gesturi cu dispozitive mobile cu ecran tactil (*en.*: touch gestures), propun, dezvolt și discut în cadrul acestei lucrări de doctorat contribuții și rezultate originale în domeniul interacțiunii gestuale cu dispozitive wearable de tipul inelelor smart (*en.*: ring gestures).**

**Această lucrare de doctorat își propune următoarele obiective:**

- Realizarea unei analize sistematice și critice asupra stadiului curent în cercetarea științifică privind interacțiunea bazată pe comenzi gestuale folosind inele smart, plecând de la stadiul curent al cunoașterii în ceea ce privește proiectarea interfețelor utilizator gestuale destinate ecranelor tactile integrate în telefoane smart și tablete.
- Proiectarea și implementarea de noi prototipuri hardware de inele smart, precum și dezvoltarea de aplicații software pentru achiziționarea gesturilor folosind dispozitive mobile (*e.g.*, telefoane, tablete) și wearable (inele smart), respectiv pentru interacțiuni folosind gesturi pe mai multe astfel de dispozitive.
- Proiectarea și derularea de studii utilizator sub forma de experimente controlate în vederea colectării preferințelor utilizatorilor privind comenzi gestuale ce pot fi realizate cu inele smart, precum și a asocierilor preferate dintre comenzile gestuale propuse și funcțiile ce pot fi executate în cadrul unui sistem interactiv.
- Analiza gesturilor propuse de către utilizatori folosind inele smart prin clasificarea și gruparea acestora în funcție de dimensiunile și categoriile unei noi taxonomii specifice pentru gesturi realizate cu inele smart.
- Elaborarea și discutarea unor recomandări de proiectare a interfețelor bazate pe gesturi pentru inele smart.

Contribuțiile aduse de această lucrare sunt atât teoretice cât și aplicative, după cum urmează:

## **1. Contribuții teoretice:**

- O analiză a stadiului curent în ceea ce privește inelele smart, pentru care am realizat o clasificare a prototipurilor curente în funcție de diverse criterii (Capitolul 2).
- O taxonomie a gesturilor care pot fi realizate cu inele smart, constând într-un număr de cinci dimensiuni, utilă pentru structurarea, gruparea și caracterizarea gesturilor executate de utilizatori cu unul sau două inele smart (Capitolul 4).



- Spațiul conceptual RepliGES pentru studii utilizator privind gesturi realizate cu inele smart în vederea asigurării reproducerii rezultatelor experimentale (Capitolul 4).
- Recomandări de proiectare a interfețelor utilizator folosind gesturi realizate cu inele smart (Capitolul 6).
- O formalizare teoretică a gesturilor bimanuale realizate cu inele smart folosind concepte ale teoriei algebrei temporale (Capitolul 6).
- O investigație privind potențialul inelelor smart ca și dispozitive asistive pentru utilizatorii cu dizabilități motorii (Capitolul 6).

## 2. Contribuții aplicative:

- Un număr de patru aplicații software dezvoltate pentru telefoane smart și tablete cu ecrane tactile și sistem de operare Android pentru colectarea de gesturi de atingere în diverse forme: atingeri simple (tap), atingeri multiple, respectiv traiectorii de mișcare în planul ecranului tactil sub formă de stroke-gestures (Capitolul 3).
- O aplicație software pentru dispozitive Android pentru demonstrarea de interacțiuni gestuale folosind inelul Ring Zero (Capitolul 3).
- O aplicație software pentru dispozitive Android pentru demonstrarea de interacțiuni folosind atât gesturi de atingere cât și gesturi realizate cu inele smart (Capitolul 3).
- Un prototip hardware de inel smart, PhiSpatial, care permite achiziția de gesturi de mișcare accelerată la o rată de eșantionare de 50 fps față de rata de 3 fps oferită de modelul comercial Ring Zero folosit în prima parte a acestei lucrări (Capitolul 3).
- O extensie a prototipului hardware PhiSpatial către un sistem de achiziție a gesturilor realizate la nivelul întregului corpul (PhiAccel), compus dintr-un număr de șase dispozitive cu accelerometru, fiecare cu o rată de eșantionare de 50 fps (Capitolul 3).
- Un studiu implementat sub forma unui experiment controlat cu 24 de participanți de la care au fost colectate 672 gesturi pentru a demonstra utilitatea taxonomiei gesturilor realizate cu inele, precum și o analiză a ratei de consens (Capitolul 5).
- Un al doilea studiu sub forma unui experiment controlat cu 24 de participanți, diferiți față de cei din primul studiu, în vederea exemplificării folosirii spațiului RepliGES și a demonstrării utilității acestuia (Capitolul 5).
- Un al treilea studiu sub forma unui experiment controlat cu 20 de participanți de la care au fost colectate 6.400 de gesturi folosind prototipul de inel smart PhiSpatial, analizate din perspectiva eficienței în execuție (Capitolul 5).
- Un al patrulea studiu cu 20 de participanți de la care au fost colectate 2.400 gesturi cu prototipul PhiAccel, analizate din perspectiva eficienței temporale (Capitolul 5).



# 2. STADIUL ACTUAL ÎN PROIECTAREA INTERFEȚELOR GESTUALE PENTRU DISPOZITIVE MOBILE ȘI WEARABLE

În acest capitol este prezentată o analiză a stadiului actual în domeniul interfețelor gestuale pentru dispozitive mobile și wearable, descriind principalele rezultate identificate în literatura domeniului în această direcție. Acest capitol identifică, printre altele, contribuții și rezultate din lucrări științifice privind inelele smart din bazele de date ACM Digital Library și IEEE Xplore. În vederea extragerii de informații relevante. De asemenea, prezintă în cadrul acestui capitol o serie de clasificări ale inelelor smart în funcție de modul de operare, tipurile de aplicații, respectiv modalitatea de interacțiune.

Din categoria dispozitivelor wearable, inelele smart au cea mai mare pondere în cadrul acestei lucrări, studiul lor reprezentând axa principală de dezvoltare a tezei mele de doctorat. La baza documentării cercetării privind interacțiunea bazată pe gesturi cu inelele smart a stat analiza lucrărilor din acest domeniu care va fi rezumată în cele ce urmează.

Putem considera că modelele de inele smart actuale pot fi încadrate în una din următoarele două categorii (Ashbrook *et al.*, 2011; Rissanen *et al.*, 2013):

- Inele proiectate pentru prezentarea informației (output), care au rolul de a notifica utilizatorii privind apariția unor diverse evenimente predefinite, de exemplu primirea unor mesaje sau alerte pe telefonul mobil.
- Inele proiectate pentru prezentarea și controlul informației (input și output), care primesc comenzi de la utilizatori și le execută, cum ar fi comenzi realizate cu inelul smart pentru controlul unor dispozitive conectate.

Rezultatele din literatura de specialitate s-au concentrat aproape exclusiv pe tehnologia de realizare a inelelor smart și au neglijat o explorare sistematică a modului în care comenzile gestuale pot fi proiectate și asociate funcțiilor acestor sisteme într-un mod eficient, intuitiv, ușor de memorat și de reamintit pentru utilizatori. Având în vedere acest aspect, poate fi evidențiată o lacună a cunoașterii științifice în ceea ce privește proiectarea gesturilor realizate cu inelele smart care să reflecte modelele mentale și modelele de comportament ale utilizatorilor unei astfel de tehnologii interactive. Înțelegerea preferințelor și comportamentului utilizatorilor încă din primele etape ale procesului de proiectare a unei interfețe gestuale reprezintă un aspect important, care se poate transforma într-un avantaj considerabil pentru proiectanții și dezvoltatorii de aplicații interactive în scopul furnizării unei experiențe de utilizare cât mai satisfăcătoare.



# 3. PROTOTIPURI DE DISPOZITIVE ȘI APLICAȚII MOBILE ȘI WEARABLE PENTRU ACHIZIȚIA COMENZILOR GESTUALE

## 3.1 Aplicații software și interfețe utilizator pentru achiziția gesturilor folosind dispozitive mobile

În vederea evaluării performanței utilizatorilor în ceea ce privește interacțiunea prin intermediul gesturilor de atingere pe dispozitive mobile de tip telefoane smart și tablete, am dezvoltat și implementat o serie de aplicații software. Folosind senzorii integrați în cadrul acestor dispozitive (e.g., accelerometru), aplicațiile achiziționează o diversitate de date care, împreună, creionează modul în care utilizatorii interacționează cu dispozitivele respective folosind comenzi gestuale. În cadrul capitolului prezint aceste aplicații software.

### 3.1.1 Aplicația Tap-Experiment pentru dispozitive mobile cu ecran tactil

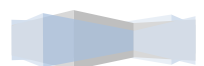
Aplicația Tap-Experiment a fost dezvoltată pentru achiziția de gesturi realizate pe dispozitive mobile smart, cum ar fi telefoane și tablete. Pe ecranul tactil al dispozitivului sunt afișate ținte reprezentate sub forma de cercuri pe care utilizatorii trebuie să le atingă, aplicația colectând date pentru aprecierea performanței gestuale. Țintele își schimbă periodic poziția și mărimea, iar participanții trebuie să le atingă cât mai repede și mai precis.

### 3.1.2 Aplicația Density-Tap pentru dispozitive mobile cu ecran tactil

Aplicația Density-Tap a fost proiectată și implementată pentru achiziția de gesturi folosind dispozitive de tip telefon sau tabletă. Pe ecran este afișată o matrice alcătuită din 5x5 ținte, iar utilizatorul trebuie să selecteze ținta centrală cât mai precis și în cel mai scurt timp.

### 3.1.3 Aplicația Moving-Tap pentru dispozitive mobile cu ecran tactil

Aplicația Moving-Tap a fost proiectată pentru a măsura performanța utilizatorilor în vederea atingerii unei ținte care se deplasează pe ecran. Scopul unui astfel de experiment vizează timpul de interacțiune necesar îndeplinirii sarcinii și acuratețea cu care este atinsă ținta aflată în mișcare. Elementele care variază în cadrul acestui experiment sunt: dimensiunea ținteii, direcția de deplasare, precum și viteza de deplasare a acesteia. Dimensiunea ținteii variază având prestabilite cinci valori implicite.





### 3.1.4 Aplicația Drag-and-Drop pentru dispozitive mobile cu ecran tactil

Drag & drop este o tehnică de manipulare a obiectelor grafice prin intermediul unei interfețe vizuale. Populară în rândul utilizatorilor PC cu interfețe grafice de tip WIMP, tehnica a devenit un element important și în operarea sub sistemele Android și iOS. Acesta este motivul pentru care am dorit evaluarea interacțiunii utilizatorilor folosind drag & drop. În acest scop am creat o aplicație a cărei cerință presupune ca utilizatorul să identifice o țintă de culoare neagră, să o atingă și să o tragă în interiorul unui cerc de culoare roșie. Printre parametrii monitorizați, amintesc timpul de reacție măsurat între momentul afișării țintei pe ecran și momentul atingerii acesteia, traseul degetului utilizatorului pe ecranul tactil către cercul de culoare roșie precum și durata îndeplinirii sarcinii. De asemenea, aplicația înregistrează presiunea exercitată de deget pe ecranul tactil, mișcarea și înclinația tabletei.

### 3.1.5 Aplicația Finger-Gesture pentru ecrane tactile și inele smart

Finger-Gesture este o aplicație Android dezvoltată în scopul achiziției gesturilor degetului în interacțiunea cu dispozitive mobile cum ar fi telefoane sau tablete. Această aplicație folosește un inel Ring Zero care încorporează senzori ce detectează orientarea degetului. Comunicația dintre Ring Zero și dispozitivele mobile este implementată folosind Bluetooth. După stabilirea conexiunii, datele sunt livrate de către inel la o rată de aproximativ trei măsurători pe secundă (3 fps), conform SDK-ului Ring Zero oferit dezvoltatorilor.

### 3.1.6 Aplicația Collage-Gesture pentru ecrane tactile și inele smart

Pentru a demonstra aspecte practice ale interacțiunii cu inele smart Ring Zero, am proiectat o aplicație software pentru vizualizarea și interacțiunea cu imagini (Figura 3.1). Aplicația afișează o mulțime de imagini și permite utilizatorului interacțiunea cu acestea, atât prin intermediul ecranului tactil cât și folosind două inele Ring Zero purtate pe degetele arătătoare ale ambelor mâini. La proiectarea aplicației am avut în vedere studiul lui Wobbrock *et al.* (2009a) privind introducerea unei parole după o anumită secvență de tap-uri și formalizarea gesturilor executate cu două inele smart din perspectiva algebrei temporale (Allen, 1983).

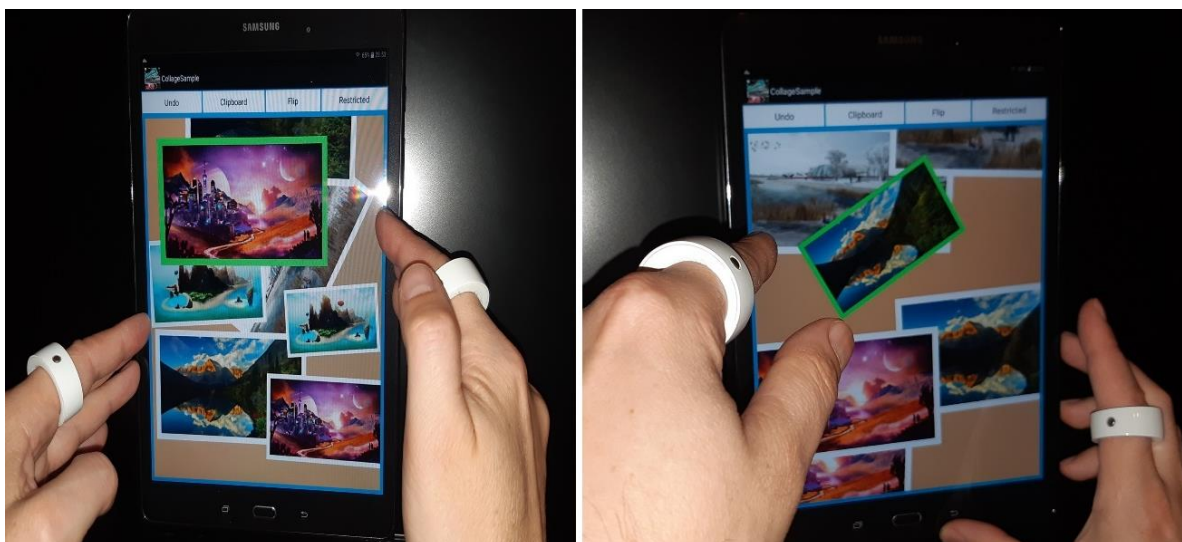


Figura 3.1. Interacțiunea cu aplicația Collage-Gesture folosind gesturi de atingere și inele smart.



## 3.2 Prototipuri hardware pentru dispozitive wearable

Dezavantajul principal al inelelor smart Ring Zero este că raportează un număr foarte redus de date în unitatea de timp (3 fps observat în încercările experimentale). Drept urmare, pentru a obține mai multe valori numerice care să caracterizeze mișcarea gestuală a utilizatorului, am proiectat și realizat prototipuri de inele smart care să compenseze acest neajuns, prototipuri prezentate în cele ce urmează.

### 3.2.1 Inel smart PhiSpatial

În scopul înregistrării cât mai precise a unui gest executat în aer (*en.*: mid-air gesture), am proiectat un prototip de inel smart bazat pe kit-ul de dezvoltare și senzorii compatibili Phidgets (“Phidgets Inc.,” 2020.). Din multitudinea de senzori compatibili cu acest kit, am ales PhidgetSpatial 3/3/3 (“Phidgets - 1042”, n.d.) care combină funcționalitatea unui accelerometru cu cea a unei busole și a unui giroscop electronic, toate având reprezentări ale datelor pe trei axe și fiind implementate în cadrul unui singur circuit. Pentru a putea discrimina între mișcările intenționate ca și gesturi și alte mișcări ale degetelor și mâinii, am inclus în proiectarea hardware un buton implementat cu senzorul Phidgets Force Sensor (“Phidgets - 1106,” n.d.), care va putea fi apăsat în momentul executării gesturilor. Arhitectura întregului sistem este prezentată în Figura 3.2.

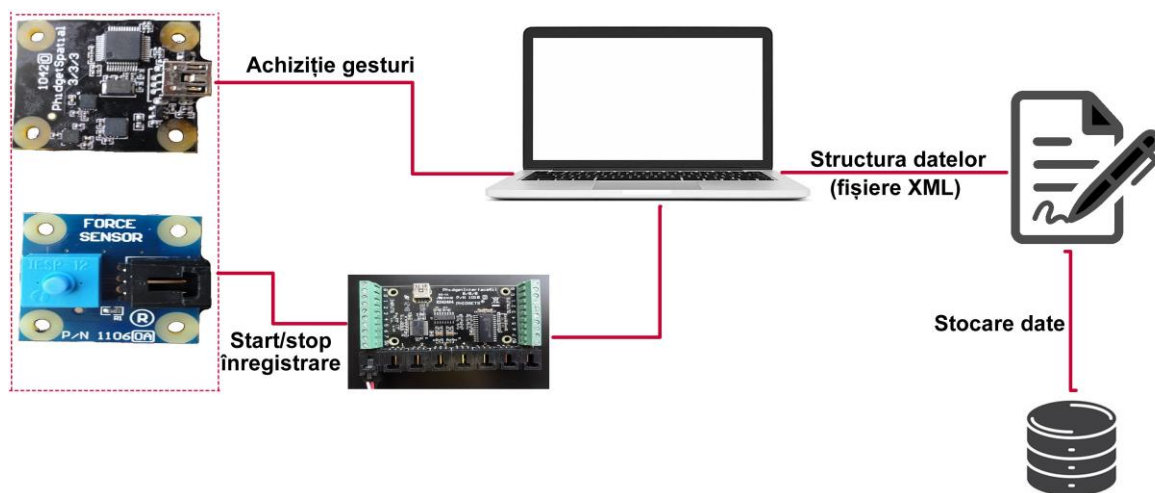


Figura 3.2. Arhitectura sistemului wearable de achiziționare a gesturilor executate cu inelul PhiSpatial.

### 3.2.2 Sistemul wearable PhiAccel de achiziție a mișcărilor întregului corp

Plecând de la prototipul anterior, am pus problema dacă pot fi monitorizate gesturile unei persoane efectuate la nivelul întregului corp folosind dispozitive similare. Această abordare presupune o proiectare diferită a arhitecturii hardware față de prototipul precedent, fapt ce a impus anumite constrângeri ce vizează mărimea fizică a senzorilor, care au fost reproiectați. Am avut în vedere trei zone de pe corpul uman pentru care să monitorizez mișcarea, și anume: capul, mâinile și picioarele. Senzorii de accelerație pentru detecția mișcării în zona capului sunt atașați unei perechi de ochelari, cei pentru mâini au fost implementați sub forma de inele, iar cei pentru picioare au fost proiectați pentru a fi atașați de încălțăminte utilizatorului. Senzorii furnizează informații la un interval de 20 ms, ceea ce conduce la achiziția de date la o frecvență de 50Hz (sau 50fps). Din acest punct de vedere, performanța inelului PhiSpatial este de 16 ori mai bună decât cea a inelului Ring Zero (50fps vs. 3fps).



# 4. SPAȚII CONCEPTUALE PENTRU PROIECTAREA DE INTERFEȚE GESTUALE PENTRU INELE SMART

## 4.1 O taxonomie a gesturilor executate cu inele smart

În contextul interacțiunii gestuale, clasificarea gesturilor reprezintă o etapă importantă. O clasificare bine structurată a gesturilor poate aduce multe beneficii cercetătorilor, precum și proiectanților de comenzi și interfețe gestuale pentru sisteme interactive. Am considerat utilă încadrarea gesturilor din contextul interacțiunii cu inele inteligente într-o taxonomie reprezentată de cinci dimensiuni inspirate de diverse studii anterioare, dar care au vizat alte dispozitive de interacțiune decât inelele smart:

- *Natura* descrie semnificația unui gest. Am identificat trei subcategorii:
  - a) Gesturi cu natură simbolică
  - b) Gesturi cu natură metaforică
  - c) Gesturi cu natură abstractă
- *Structura* caracterizează importanța relativă a posturii mâinii față de mișcarea acesteia în execuția unui gest. Subcategoriile sunt:
  - (a) Gesturi care folosesc butoane pe inel
  - (b) Posturi ale mâinii
  - (c) Mișcarea mâinii
  - (d) Gesturi care presupun folosirea de posturi ale mâinii dar și mișcare
  - (e) Gesturi combinând diverse categorii din cele de mai sus, (a) – (d)
- *Complexitatea* caracterizează un gest ca fiind:
  - (a) Simplu
  - (b) Compus
- *Simetria* caracterizează modul în care cele două mâini concurează pentru a produce gesturi cu ambele inele. În cazul gesturilor pentru inele, am identificat patru categorii:
  - (a) Gesturi unimanuale executate cu mâna dominantă
  - (b) Gesturi unimanuale executate cu mâna non-dominantă
  - (c) Gesturi bimanuale simetrice
  - (d) Gesturi bimanuale asimetrice



- *Localizarea* specifică amplasarea din spațiu unde este executat gestul și include următoarele categorii:
  - (a) Gesturi localizate pe suprafața inelului
  - (b) Gesturi localizate pe altă suprafață
  - (c) Gesturi localizate în aer
  - (d) Gesturi reprezentând combinații ale variantelor de mai sus, (a) – (c).

## 4.2 RepliGES: Un spațiu conceptual pentru reproducerea studiilor de solicitare a preferințelor utilizatorilor pentru comenzi gestuale

RepliGES este un spațiu conceptual pe care îl introduc în continuare pentru a susține reproducerea studiilor de solicitare a gesturilor (*en.*: GES - Gesture Elicitation Studies). Acest spațiu este inspirat din literatura de specialitate privind cercetarea reproductibilă, din recomandările ACM privind reproductibilitatea rezultatelor științifice în domeniul Științei Calculatoarelor și din inițiativa comunității HCI de a încuraja reproducerea rezultatelor.

Pentru a identifica posibilele tipuri de reproduceri relevante pentru studiile GES, am folosit drept punct de plecare următoarele surse:

- Specificarea studiilor de tip GES în ceea ce privește etapele necesare pentru realizarea acestora, de la formularea inițială a temei de cercetare la interpretarea rezultatelor.
- Matricea spațiu-timp (Johansen, 1991) pentru specificarea configurațiilor posibile care implică entități asemănătoare sau diferite, precum și dimensiunile ACM (“Artifact”, 2018).
- Scheme actuale de clasificare pentru cercetarea reproductibilă (Goodman *et al.*, 2016; Tsang și Kwan, 1999) în Știința Calculatoarelor (“Artifact Review and Badging,” 2018; Peng, 2011) și HCI (Hornbæk *et al.*, 2014).

Pe baza descrierii originale a metodei (Wobbrock *et al.*, 2009b; 2005) identificăm:

- a) tema cercetării este formulată pe baza observațiilor inițiale, a lucrărilor științifice anterioare și a specificațiilor unui domeniu de aplicație
- b) experimentul este proiectat prin enunțarea ipotezelor, a contextului de utilizare, aparatura experimentală, sarcinile și procedura
- c) populația potențialilor utilizatori este eșantionată și participanții la studiu sunt solicitați să producă gesturi
- d) datele brute (înregistrări video, note ale cercetătorului, etc.) sunt procesate
- e) analiza datelor pentru identificarea gesturilor echivalente sau similare în conformitate cu specificul domeniului de aplicare și / sau obiectivele studiului
- f) alcătuirea unui set de gesturi pentru care participanții sunt în consens
- g) rezultatele sunt interpretate și se formulează concluziile
- h) interpretarea rezultatelor contribuie la acumularea de cunoștințe în ceea ce privește interacțiunea gestuală.

Enumerarea acestor etape este utilă pentru a identifica mai multe modalități prin care poate fi realizată reproducerea unui studiu de tip GES. De exemplu, reutilizarea datelor (pasul e) pentru a verifica rezultatele studiului original sau prin refolosirea datelor (la pasul d) pentru a aborda un alt obiectiv și astfel, a ajunge la noi descoperiri. Studiul de tip GES poate fi reprodus folosind alți participanți (pasul c) sau alte funcții ale sistemului interactiv (pasul b) pentru a înțelege dacă rezultatele și concluziile studiului original rămân valide.



# 5. STUDII ȘI EXPERIMENTE PENTRU ACHIZIȚIA GESTURILOR ȘI PREFERINȚELOR UTILIZATORILOR PENTRU COMENZI GESTUALE

Plecând de la definiția unui gest executat cu un inel smart (Gheran *et al.*, 2018a) și de la abordarea propusă de către Shilkrot *et al.* (2015b), care au realizat un studiu complex privind dispozitivele de augmentare a degetelor (*en.*: finger augmentation devices), am proiectat și realizat o serie de studii utilizator sub forma de experimente controlate, pentru care interesul a fost centrat pe gesturile ce pot fi executate cu un inel smart.

## 5.1 Experiment nr. 1: Solicitarea preferințelor utilizatorilor privind gesturi ce pot fi realizate cu inele smart

În scopul colectării preferințelor utilizatorilor în ceea ce privește gesturile executate cu inele smart, am proiectat și derulat un experiment științific de achiziție a gesturilor cu respectarea principiilor și metodelor din literatura de specialitate a domeniului (Piumsomboon *et al.*, 2013; Ruiz *et al.*, 2011; Vatavu *et al.*, 2012c; 2015; Wobbrock *et al.*, 2005; 2009b).

### 5.1.1 Participanți

În cadrul experimentului au participat 24 de persoane cu vârste cuprinse între 21 și 45 de ani ( $M=27.5$ ,  $SD=7.9$  ani), dintre care 9 femei și 15 bărbați. Grupul țintă a fost ales astfel încât vârsta medie să fie reprezentativă pentru utilizatorii care adoptă de regulă noi dispozitive mobile și wearable. Toți participanții dețineau telefoane smart și, prin urmare, erau obișnuiți cu interacțiunea cu ecrane tactile.

### 5.1.2 Aparatura experimentului

Am utilizat două inele Ring Zero (2020) ilustrate în figura 5.1, pe care participanții le-au purtat pe degetul arătător de la fiecare mână (figura 5.1). Ring Zero raportează modificările de orientare către un dispozitiv la care este conectat prin Bluetooth 4.0. Ring Zero include și un



buton (figura 5.1, stânga) care poate detecta apăsări scurte (durată mai mică decât 2 secunde) sau lungi (durată mai mare de 2 secunde).



Figura 5.1. Inelele Ring Zero folosite în cadrul experimentului (imaginea din stânga), respectiv dispozitivul de încărcare (imaginea din dreapta).

### 5.1.3 Desfășurarea experimentului

Pentru fiecare etapă a experimentului am aplicat următorul protocol (Wobbrock *et al.*, 2009b): participanților li s-au prezentat sarcinile pentru care trebuiau să propună gesturi pentru controlul unei case inteligente. Gesturile propuse de către participanți trebuiau să fie potrivite pentru acele sarcini, respectiv să fie ușor de realizat și de amintit ulterior. Nu am impus nici un fel de reguli în ceea ce privește restricționarea gesturilor către un anumit context de utilizare (de exemplu, pe inel) sau privind caracteristicile inelelor (de exemplu, doar gesturi de mișcare), deoarece o astfel de abordare ar fi redus concluziile acestui studiu.

### 5.1.4 Sarcina experimentului

În cadrul experimentului au fost două variabile independente:

- FUNCȚIA, variabilă nominală cu 14 categorii, reprezentând acțiuni obișnuite care pot fi executate în interiorul unei case smart. Cele 14 acțiuni au fost:
  - Pornește/oprește TV
  - Pornește player
  - Crește volum audio
  - Diminuează volum audio
  - “Next” (avansează către elementul următor dintr-o listă)
  - “Previous” (revenirea la elementul anterior dintr-o listă)
  - Pornește/oprește AC
  - Aprinde/stinge lumina
  - Crește intensitatea luminoasă
  - Scade intensitatea luminoasă
  - Pornește/oprește încălzirea
  - Activează/dezactivează alarma
  - Răspunde la un apel telefonic
  - Închide un apel telefonic
- NUMĂRUL-DE-INELE, variabilă ordinală cu 2 valori, corespunzând celor două contexte de utilizare: un inel, respectiv două inele smart.



### 5.1.5 Mărimi

Am avut în vedere aspectele cognitive, motrice și preferințele utilizatorilor privind comenzi gestuale, pe care le-am analizat folosind următoarele mărimi:

- Am calculat rata de consens (AR, *en.*: agreement rate) pentru fiecare FUNCȚIE și pentru fiecare NUMĂR\_DE\_INELE folosind formula propusă de către Vatavu și Wobbrock (2015) (p. 1327), astfel:

$$AR(r) = \frac{\sum_{i < j} \delta_{i,j}}{n(n-1)/2}$$

unde  $n$  reprezintă numărul de participanți care au propus gesturi, iar  $\delta_{i,j}$  ia valoarea 1 dacă participanții  $i$  și  $j$  sunt în acord privind funcția  $r$ , respectiv 0 în caz contrar.

- Creativitatea participanților a fost evaluată cu ajutorul unui test generic disponibil online. Testul ales are un interval de notare între 0 și 100 (un scor mai mare indică o creativitate mai ridicată), calculat în urma răspunsurilor participantului la un set de 40 de întrebări specifice.
- Fiecărui participant  $i$  s-a testat motricitatea mâinii cu ajutorul unui test NEPSY (Korkman *et al.*, 1998). Testul a constatat în măsurarea timpului necesar pentru atingerea degetului mare cu fiecare dintre celelalte degete de la aceeași mână de opt ori la rând.
- TIMPUL\_DE\_GÂNDIRE, exprimat în secunde, reprezintă timpul necesar unui participant să propună un gest pentru o anumită funcție.
- GRADUL-DE-POTRIVIRE (*en.*: GOODNESS-OF-FIT) este nota din intervalul [1..10] pe care un participant o acordă gestului propus pentru o anumită funcție.

### 5.1.6 Rezultate

Am obținut un număr de 672 de gesturi propuse de către 24 de participanți la studiu pentru 14 funcții folosind unul, respectiv două inele smart. La următoarea adresă web se află un scurt montaj video, fiind realizat prin folosirea de cadre surprinse de la diverși participanți în timpul experimentului: <https://www.youtube.com/watch?v=FHT-5aFNhsA>. Toate gesturile au fost grupate în mulțimi de gesturi similare considerând următoarele criterii:

1. Mâna utilizată pentru realizarea gestului.
2. Scala mișcării gestuale.
3. Direcția de mișcare.
4. Postura mâinii.
5. Folosirea inelului smart.

În total, am identificat un număr de 81 de gesturi distincte executate cu un singur inel, respectiv un număr de 139 de gesturi executate cu două inele (cu 72% mai multe gesturi).

### 5.1.7 Consensul dintre gesturile propuse de către participanți

În ansamblu, rata de consens este redusă ca amplitudine variind între 0.025 și 0.225 pentru un inel ( $M=0.112$ ,  $SD=0.058$ ) și între 0.004 și 0.145 pentru două inele ( $M=0.058$ ,  $SD=0.043$ ). Cu toate acestea, deși nivelul de consens a fost redus pe ansamblu, din punct de vedere statistic am putut stabili faptul că în cazul gesturilor executate cu un inel a existat un consens cu 93%



mai mare decât în cazul gesturilor realizate cu două inele. Un test  $t$  a scos în evidență efectul semnificativ al numărului de inele asupra ratei de consens ( $t_{(13)}=3.985$ ,  $p=0.002$ ,  $r=0.741$ ).

### 5.1.8 Analiza gradului de potrivire a gesturilor cu funcțiile de executat

Participanții și-au autoevaluat propunerile de comenzi gestuale cu note de la 1 (semnificând o propunere deloc potrivită) la 10 (propunere foarte potrivită pentru a executa funcția corespunzătoare) pentru a arăta gradul de încredere în faptul că gesturile propuse sunt potrivite pentru funcțiile studiate în cadrul experimentului.

### 5.1.9 Efectul timpului de gândire, abilităților motorii și creativității asupra consensului dintre gesturile propuse de participanții la studiu

Un test de tip Repeated-Measures ANOVA a scos în evidență un efect semnificativ al numărului de inele asupra timpului de gândire ( $F_{(1,23)}=13.697$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.373$ ). Participanții la studiu au petrecut cu 48% mai mult timp gândindu-se la gesturi executate cu un inel ( $M=4.60s$ ,  $SD=1.47s$ ) față de condiția experimentală implicând două inele ( $M=3.10s$ ,  $SD=1.00s$ ). Nu am descoperit însă nici o influență a sarcinii de executat ( $p=0.075$ , *n.s.*) asupra timpului de gândire. Ratele de consens descresc pentru un timp de gândire mai mare atât pentru gesturile realizate cu un singur inel (coeficientul Pearson  $r_{(N=14)}=-0.778$ ,  $R^2=0.605$ ,  $p<0.001$ ), cât și pentru cele cu două inele ( $r_{(N=14)}=-0.336$ ,  $p=0.241$ , *n.s.*), deși doar prima corelație este semnificativă din punct de vedere statistic ( $p<0.001$ ).

Rezultatele sugerează faptul că timpul de gândire poate fi un factor important în succesul unui studiu de tip GES. Modul în care participanții se dedică sarcinii experimentale poate afecta atât consensul, cât și setul de gesturi.

### 5.1.10 Efectul criteriilor de clasificare și grupare a gesturilor asupra consensului dintre participanți

Clasificarea gesturilor poate fi rigidă sau relaxată și, prin urmare, poate avea o influență asupra nivelului ratelor de consens care sunt raportate. În această teză, am adoptat un set de cinci criterii de grupare a gesturilor în categorii: mâna care execută gestul, direcția, scala, postura mâinii și folosirea inelului. Unul din motivele obținerii ratelor scăzute de consens ar putea fi criteriile prea rigide de clasificare comparativ cu cele adoptate de alte studii (Ruiz *et al.*, 2011; Vatavu, 2012; Vatavu *et al.*, 2014; Wobbrock *et al.*, 2009b). Prin urmare, am dorit să înțeleg ce s-ar fi întâmplat dacă aceste criterii ar fi fost relaxate. De exemplu, considerând că direcția gestului nu ar fi importantă, 14.8% dintre gesturile executate cu un singur inel, respectiv 6.5% din gesturile cu două inele au fuzionat în aceeași categorie. Ratele medii de consens au crescut astfel de la 0.112 la 0.144 (maximum 0.442) pentru gesturile executate cu un singur inel smart, respectiv de la 0.058 până la 0.074 (maximum 0.210) pentru gesturile executate cu două inele smart, ceea ce a reprezentat o creștere de 28%. Se poate concluziona că alegerea criteriilor de grupare a gesturilor are o influență asupra nivelurilor ratelor de consens raportate de un studiu de solicitare a gesturilor.

### 5.1.11 Influența metodei de clasificare și grupare a gesturilor, precum și a proiectării experimentului asupra ratei de consens dintre participanți

Pe lângă factorii analizați anterior, metoda și designul experimental pot afecta nivelul de consens dintre participanți. De exemplu, am prezentat într-o ordine aleatoare funcțiile din experimentul realizat pentru a evita influențele și posibilele efecte de transfer de la o sarcină





la alta. Dar o astfel de abordare poate fi incomodă pentru participanți în vederea identificării optime a relațiilor existente între sarcini și propunerile de gesturi. De exemplu, creșterea intensității luminii, respectiv diminuarea acesteia sunt acțiuni simetrice, dar această relație nu este prezentată în mod explicit participanților, care o pot identifica sau nu în timpul experimentului. Prezentarea simultană a tuturor acțiunilor sau adoptarea unei abordări hibride în care grupuri de funcții în locul funcțiilor individuale sunt prezentate aleator participanților pot conduce la diferite niveluri de consens. Alte aspecte privesc posibilitatea de a propune mai multe gesturi pentru o funcție (relația N:1) sau de a reutiliza același gest pentru mai multe funcții (1:N). În ambele cazuri, este posibil să se obțină un consens mai mare. În cele din urmă, astfel de alegeri depind de scopul cercetătorului și trebuie considerate atent în etapa de proiectare a experimentului.

## 5.2 Experiment nr. 2: Reproducerea rezultatelor experimentale privind preferințele utilizatorilor pentru comenzi gestuale ce pot fi executate cu inele smart

Pentru a demonstra utilitatea practică a spațiului conceptual RepliGES prezentat în subcapitolul 4.2 al acestei lucrări, am proiectat și realizat două reproduceri ale studiului GES anterior privind gesturi definite de utilizator pentru inele smart. În studiul anterior am luat în considerare atât interacțiunea gestuală cu o singură mână, cât și gesturile bimanuale (prin utilizarea unui inel și respectiv a două inele) pentru controlul diverselor funcții ale unei locuințe inteligente, cum ar fi pornirea/oprirea televizorului, creșterea/scăderea intensității luminoase și pornirea/oprirea aerului condiționat.

### 5.2.1 Participanți

La experiment au luat parte 24 de persoane cu vârste între 22 și 45 de ani ( $M=26.3$ ,  $SD=5.7$  ani), dintre aceștia, 15 au fost bărbați și 9 femei. Grupul țintă a fost ales astfel încât vârsta medie să fie cât mai reprezentativă pentru utilizatorii care adoptă dispozitive mobile și wearable. Toți participanții dețineau telefoane smart și, prin urmare, erau obișnuiți cu interacțiunea cu ecrane tactile.

### 5.2.2 Aparatura experimentului

Am utilizat cele două inele Ring Zero folosite și pentru studiul anterior. Participanților li s-a recomandat purtarea acestora pe degetul arătător de la fiecare mână. Inelele smart Ring Zero raportează modificările de orientare către un dispozitiv smart, de tip tabletă sau telefon, la care sunt conectate prin Bluetooth.

### 5.2.3 Sarcina experimentului

Am folosit următoarele variabile independente:

- FUNCȚIA, variabilă nominală cu 5 categorii reprezentând acțiuni care pot fi executate într-o casă inteligentă cu ajutorul unor inele smart:
  - Pornește/oprește TV
  - Pornește player
  - Crește volum audio
  - Aprinde/stinge lumina
  - “Next” (avansează către elementul următor dintr-o listă)



- NUMĂR-DE-INELE, variabilă ordinală având două valori: un inel și două inele.
- TIPUL-REPRODUCERII, variabilă nominală cu 2 valori: tipul R1 (repetabilitate) sau R6 (fiabilitate).

### 5.2.4 Mărimi

Fac o serie de precizări asupra anumitor condiții pe care le-am avut în vedere în cadrul acestui studiu și pe care le voi detalia în cele ce urmează.

**Condiția de repetabilitate: sarcina și procedura.** Pentru a implementa repetabilitatea, trebuie să fie disponibilă aceeași configurație experimentală (aceiași participanți și aceleași gesturi) și aceeași echipă (care analizează gesturile participanților). Scopul repetabilității este reanalizarea datelor colectate anterior pentru a stabili dacă aceleași rezultate (de exemplu, ratele de acord, tipurile de gesturi după grupare și proprietățile acestora) pot fi reproduse.

**Condiția de fiabilitate: sarcina și procedura.** Pentru a implementa fiabilitatea, aceeași echipă reconduce studiul inițial cu o nouă configurație a experimentului reprezentată de noi participanți și, implicit, sunt colectate noi gesturi pentru aceleași funcții. Studiul GES a fost reluat cu 24 de participanți noi. La fel ca la condiția de repetabilitate, am limitat timpul și efortul de a colecta date doar pentru cele cinci funcții din condiția de repetabilitate. Am avut grijă să selectăm un eșantion de participanți cu același profil de vârstă/sex ca în studiul inițial. Față de experimentul anterior, am folosit trei mărimi noi pentru a compara rezultatele tipurilor de reproducere R1/R6 cu cele ale studiului anterior, după cum urmează:

- GESTURI-UNICE – reprezintă numărul de gesturi unice identificate într-un studiu de tip GES atât în cel original cât și în cele reluate, după aplicarea procedurii de grupare.
- GESTURI-UNICE-COMUNE reprezintă proporția gesturilor unice identificate atât în studiul original cât și în cele reluate. De exemplu, dacă în studiul original au fost identificate 42 de gesturi distincte, iar în cel reluat 49, dintre care 40 se regăsesc și în studiul original, atunci proporția este  $40/49=81.6\%$ .
- GESTURI-COMUNE-TOTAL reprezintă proporția dintre toate gesturile obținute regăsite atât studiul original cât și în cel reluat. Față de mărimea anterioară, acum este luată în considerare frecvența fiecărui gest. De exemplu, dacă 40 de gesturi unice identice între cele două studii apar de 111 ori dintre cele 120 de gesturi găsite în studiul reluat, atunci această proporție este  $111/120=92.5\%$ .

### 5.2.5 Rezultate

În continuare sunt prezentate rezultatele studiilor GES reluate față de studiul original.

**Acordul între propunerile gestuale ale participanților.** Rata medie de acord calculată în cadrul studiului original pentru cele cinci funcții pe care le-am considerat a fost  $AR=0.118$  pentru un inel și  $AR=0.085$  pentru două inele. În reproducerea de tip R1, AR a fost 0.119 pentru un inel și 0.083 pentru două inele. În reproducerea de tip R6, media AR a fost 0.090 pentru un inel și 0.065 pentru două inele. Aceste rezultate arată valori medii foarte apropiate ale ratei de acord AR între studiul de tip R1 și cel original, dar o rată cu 24% mai mică atunci când au fost folosiți participanți noi în studiul de tip R6. Pentru a înțelege aceste rezultate, am analizat numărul de gesturi unice din fiecare studiu, precum și proporția gesturilor partajate între studiile R1 / R6 și cel original. Am identificat un număr de 47 de gesturi unice din cele 120 care au fost înregistrate în cadrul interacțiunii cu un inel și 63 de gesturi unice pentru două inele. Prin reanalizarea înregistrărilor video în cadrul studiului de tip R1, am identificat 42, respectiv 62 de gesturi unice. La repetarea experimentului folosind participanți noi, am



identificat 57 de gesturi unice pentru un inel și 67 pentru două inele. Aceste rezultate arată că numărul de gesturi unice este aproximativ același pentru studiul inițial și cel de tip R1, dar mai multe gesturi (+21% și respectiv +6%) au fost identificate în studiul de tip R6. Cu toate acestea, testele Pearson pentru egalitatea proporțiilor (corecții Bonferroni au fost aplicate) nu au găsit diferențe semnificative între studiile de tip R1/R6 și studiul inițial în această privință.

**Timpul de gândire.** Timpul mediu de gândire necesar participanților la studiul inițial pentru a propune gesturi cu un inel a fost de 4.9 secunde și respectiv de 3.1 secunde pentru două inele. Media notelor acordate gesturilor a fost de 8.0 și respectiv 8.1, ceea ce denotă o încredere ridicată în atribuirea de gesturi pentru funcții. Testele t independente nu au arătat diferențe semnificative între valorile medii ale timpului de gândire (3.4 s și 3.0 s) și valorile notelor de apreciere (8.0 și 8.4) măsurate în studiul de tip R6 în comparație cu studiul inițial.

**Proprietățile gesturilor propuse de către participanți.** La fel ca și în studiul inițial, am clasificat gesturile în funcție de structură, complexitate, simetrie și localizare. De exemplu, în cadrul studiului inițial am raportat un număr de 19 gesturi efectuate pe suprafața inelului în cazul utilizării unui inel, în studiul de tip R1 au fost identificate astfel de 20 de gesturi ( $p > 0.05$ , n.s.), iar în studiul de tip R6 au fost găsite 16 ( $p > 0.05$ , n.s.). Totuși, am detectat și diferențe semnificative între proporțiile anumitor categorii de gesturi. Fac referire aici la categoriile „mișcarea mâinii” și „mișcarea mâini și posturi” din cadrul dimensiunii *structură* în cazurile cu un inel ( $p < 0.001$ ) și categoriile „simplă” și „compusă” ale dimensiunii *complexitate* pentru două inele ( $p < 0.001$ ). Deși orice diferență între R6 și studiul inițial poate fi atribuită diferențelor dintre participanți și preferințele lor pentru comenzi gestuale, rezultatele semnificative obținute pentru studiul R1 sunt atribuite diferențelor în interpretarea gesturilor de către cercetător. În timp ce ambele aspecte afectează reproducerea rezultatelor (Goodman *et al.*, 2016), primul este un produs secundar al proiectării experimentale, în timp ce al doilea este un exemplu de subiectivitate în codificarea gesturilor, grupare și analiză. În ceea ce privește ultimul aspect, Vatavu (2019) a discutat subiectivitatea în analiza gesturilor pentru studiile de tip GES și, pentru a contracara efectele nedorite, a propus o procedură automată.

### 5.3 Experiment nr. 3: Achiziția numerică și analiza gesturilor realizate cu inele smart

Am proiectat și realizat un nou experiment pentru a achiziționa numeric gesturi realizate de către participanți folosind un prototip de inel smart realizat în cadrul acestei teze de doctorat, descris în subcapitolul 3.2.1. Inițial, participanții au executat toate gesturile în scopul familiarizării, iar ulterior a avut loc experimentul propriu-zis și înregistrarea datelor. Pe parcursul primei faze au fost clarificat diverse întrebări ale participanților. De exemplu, participanții au întrebat ce se întâmplă dacă au executat un gest greșit (gestul poate fi repetat) sau dacă trebuie să se grăbească pentru a executa acțiunile (acestea trebuie executate la viteză normală). Ordinea de executare a gesturilor a fost generată aleator pentru fiecare participant în parte. De asemenea, la sfârșitul experimentului, participanții au fost rugați să completeze un chestionar.

#### 5.3.1 Sarcina experimentului

Experimentul presupune executarea a 40 de gesturi repetate de câte 8 ori. Gesturile sunt grupate în patru categorii: anume gesturi care implică manipularea fizică a inelului cu mâna opusă, gesturi care implică mișcarea degetelor mâinii care poartă inelul, gesturi care implică mișcarea în aer cu mâna care poartă inelul și gesturi care fac referire la părți ale corpului.



### 5.3.2 Rezultate experimentale

Rezultatele experimentale analizează timpul de execuție și accelerația măsurate pentru fiecare gest. Timpul de execuție și accelerația pot fi asociate cu efortul necesar realizării fiecărei mișcări gestuale în parte și, prim urmare, din perspectiva acestor criterii de eficiență, sunt interesat de gesturile care pot fi executate rapid și cu efort minim.

## 5.4 Experiment nr. 4: Achiziția gesturilor folosind dispozitive wearable la nivelul întregului corp

Am extins experimentul anterior în vederea achiziționării de gesturi ale întregului corp. Participanților noului experiment li s-a prezentat scopul și funcțiile care se doresc a fi comandate prin gesturi. Inițial, toți cei 20 de participanți la studiu au executat câteva gesturi în scopul familiarizării cu tehnologia prototipului PhiAccel, iar ulterior a avut loc experimentul propriu-zis pentru înregistrarea datelor de mișcare a întregului corp. Pe parcursul fazei de antrenare, s-au lămurit diverse aspecte neclare participanților, referitor la faptul dacă au executat un gest greșit (gestul poate fi repetat), dacă gesturile trebuie executate mai amplu (nu este necesar) sau dacă va conta viteza de executare a acțiunilor (acestea trebuie executate la viteză normală). Aplicația software generează aleatoriu acțiunile de executat, astfel încât ordinea de executare a gesturilor variază de la un participant la altul.

### 5.4.1 Sarcina experimentului

Experimentul a presupus executarea a 8 gesturi folosind mișcări ale capului, mâinilor și picioarelor, repetate fiecare de câte 5 ori. Fiecare participant a executat un număr de 120 de gesturi. Cele 8 funcții au fost:

- Select
- Home menu
- Cancel
- Undo
- Next
- Previous
- Increase
- Decrease

### 5.4.2 Rezultate

Am analizat timpul de execuție pentru gesturile propuse de participanții la experiment pentru fiecare funcție în parte.

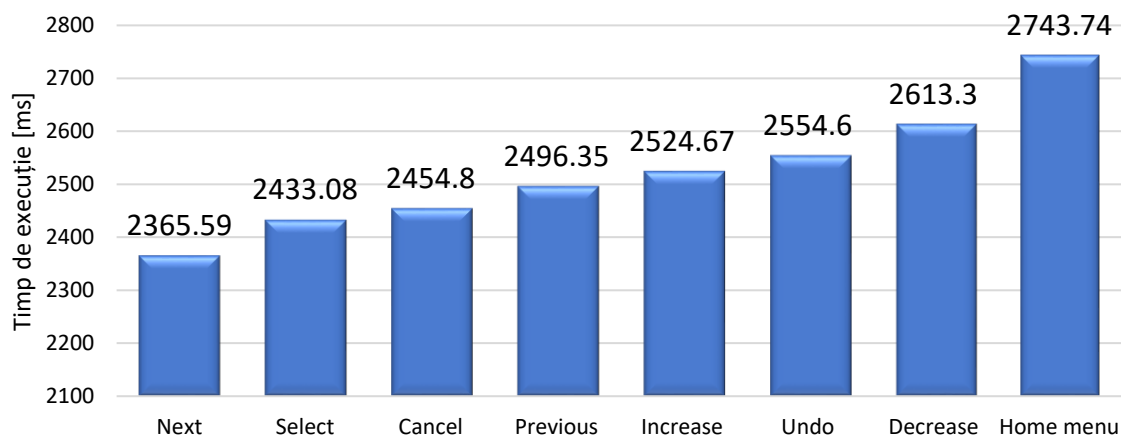


Figura 5.2. Timpul mediu de execuție pentru gesturile care implică mișcarea mâinilor.



# 6. RECOMANDĂRI DE PROIECTARE A COMENZILOR GESTUALE PENTRU INELE SMART

În acest capitol, prezint o serie de recomandări de proiectare pentru gesturile ce pot fi executate cu inele smart în conformitate cu rezultatele experimentale descrise în capitolele anterioare. Precizez faptul că aceste recomandări nu ar trebui interpretate ca un set absolut de linii directe de proiectare, ci mai degrabă ca și propuneri pentru informarea dezvoltărilor ulterioare. De asemenea, aduc în discuție un spațiu de proiectare a interacțiunilor cu două inele smart din perspectiva algebrei temporale și abordez o nouă perspectivă asupra a două variante, una privind folosirea inelelor smart ca dispozitive asistive pentru utilizatorii cu deficiențe motorii și una privind folosirea inelelor smart în contextul interacțiunilor gestuale din interiorul unui autovehicul.

## 6.1 Recomandări de proiectare pentru gesturi și inele smart

**Gesturile care implică mișcarea sunt preferate gesturilor statice reprezentate de posturi ale degetelor sau mâinilor.** Posturile mâinii au avut o pondere de 8,3% în gesturile executate cu un inel și 6,8% în gesturile cu două inele în cadrul studiului de solicitare a preferințelor utilizatorilor (Gheran *et al.*, 2018a). Gesturile care implică mișcare au fost propuse în 64.9%, respectiv 73.0% din cazuri.

**Utilizatorii preferă gesturi simple executate cu mâna dominantă.** Dintre toate gesturile propuse de către participanții la primul studiu prezentat în capitolul anterior, 74.4% dintre gesturi (executate cu un inel) și 81.0% (cu două inele) au fost simple conform taxonomiei introduse în capitolul 4. Participanții au optat pentru simplitate și în cazul gesturilor executate cu două inele, astfel încât 37,2% dintre acestea au fost realizate doar cu o singură mână, iar doar 6.8% cu mâna non-dominantă. De asemenea, rezultatele experimentale au arătat faptul că gesturile compuse din mișcarea celor două inele au fost mai puțin frecvente decât cele realizate doar cu un singur inel (19.0% față de 25.6%), subliniind din nou preferința pentru gesturi simple și ușor de realizat.

**Proiectarea gesturilor în funcție de suprafața și forma inelului.** Literatura din domeniul interacțiunii folosind inele smart cuprinde o serie de gesturi, cum ar fi rotirea inelului în jurul degetului (Ashbrook *et al.*, 2011) sau atingerea simultană a anumitor părți ale inelului (Lim *et al.*, 2016).

Prin analizarea gesturilor propuse de participanții studiului prezentat în subcapitolul 5.1 a rezultat faptul că interacțiunea cu suprafața inelului a fost de 8.9% pentru gesturile executate cu un inel și 16.4% pentru cele cu două inele. Astfel de gesturi includ atingeri simple ale



inelului, atingeri ritmate, deplasarea degetului mare pe suprafața inelului, strângerea inelului în pumn, rotirea inelului pe deget, scoaterea și punerea inelului înapoi pe deget, translația inelului de-a lungul degetului sau punerea celor două inele smart în contact.

**Refolosirea gesturilor standard de pe dispozitive cu ecran tactil datorită familiarității utilizatorilor cu acestea.** Analiza datelor experimentale a scos în evidență faptul că 30,1% dintre gesturile executate cu un inel și 27,3% dintre cele realizate cu două inele erau diverse variante "tap" (executate pe suprafața inelului) și mișcări direcționale (executate în aer sau pe suprafața inelului). Literatura de specialitate numește acest rezultat al studiului meu de solicitare a preferințelor ca un efect al moștenirii experienței utilizatorilor în folosirea altor tipuri de dispozitive și sisteme interactive, *i.e.*, "legacy bias" (Morris *et al.*, 2014). În concluzie, experiența utilizatorilor în folosirea gesturilor de atingere ar trebui exploatată pentru interacțiuni cu inele smart prin atingerea suprafeței acestora.

**Mai multe gesturi pot fi asociate unei singure comenzi, dar și un singur gest poate fi asociat mai multor comenzi.** Studiile anterioare au arătat beneficiile asocierii mai multor gesturi aceleași comenzi (Rekik *et al.*, 2013), precum și faptul că utilizatorii execută același gest în moduri diferite (Anthony *et al.*, 2013; Rekik *et al.*, 2014), cel puțin pentru gesturi multi-touch. În medie, o funcție studiată în cadrul studiului descris în subcapitolul 5.1 a primit un număr de 13.3 gesturi distincte (SD=3.1) pentru gesturile executate cu un inel și 17.0 gesturi (SD=2.9) pentru două inele. Este interesant totuși să privim lucrurile și dintr-o perspectivă diferită, cea a conflictelor. Menționez aici același gest propus pentru acțiuni diferite de către participanți diferiți. Din punct de vedere statistic, media a fost de 2.3 (SD=1.9) pentru un inel și respectiv de 1.7 (SD=1.1) pentru două inele. Asocierile de tip N:1 pot îmbunătăți intuitivitatea interacțiunii (Wobbrock *et al.*, 2005), în timp ce asocierile 1:N pot reduce efortul de a învăța un set mare de gesturi prin oferirea unui context de interacțiune care nu este ambiguu. De exemplu, gesturile utilizate pentru pornirea televizorului și a aparatului de aer condiționat pot fi aceleași dacă respectiva comandă poate fi dedusă din contextul interacțiunii, de exemplu degetul cu inelul indică spre dispozitivul care urmează să execute comanda.

**În execuția gesturilor bimanuale este preferată simetria.** Procentul gesturilor simetrice executate cu două inele este de 42%.

**Folosirea de gesturi pentru interacțiunea cu obiecte imaginare.** O parte dintre participanți au propus gesturi prin care interacționau cu obiecte imaginare. De exemplu, aceștia au apăsat butoane virtuale în aer în diverse moduri (o apăsare, două apăsări, au folosit mâna dominantă, non-dominantă sau ambele mâini simultan), au ținut o telecomandă imaginară în mână de pe care au apăsat un buton sau au rotit butoane în aer. Aceste rezultate recomandă explorarea unor astfel de gesturi în scopul realizării de asocieri intuitive între gesturi și funcțiile de executat.

**Proiectarea gesturilor în concordanță cu mișcărilor naturale ale corpului.** Unele gesturi au fost efectuate în legătură cu diverse părți ale corpului, cum ar fi așezarea mâinii cu inelul aproape de ureche, ridicarea mâinii la ureche și atingerea inelului, plasarea ambelor inele lângă gură sau suflarea ușoară peste inel. Aceste rezultate recomandă investigarea unor gesturi realizate în legătură cu părți ale corpului, care ar putea beneficia de un nivel de consens ridicat datorat propriocepției (Lopes *et al.*, 2015). De asemenea, gesturile cu referire la părțile corpului ar putea implementa o tranziție confortabilă către interacțiunea cu gesturi ale întregului corp (*en.*: whole-body gestures), în care inelele smart sunt combinate cu alți senzori (Morris, 2012; Ruiz și Vogel, 2015; Vatavu, 2012).



**Proiectarea de gesturi ca parte a interacțiunilor multimodale.** Unul dintre participanți a folosit comenzi vocale împreună cu cele gestuale: a ridicat mâna cu inelul la nivelul gurii și a rostit comanda “player”, în timp ce alt participant a ales să sufle peste inel. Aceste exemple sugerează că interacțiuni multimodale implicând inelele smart ar trebui studiate în detaliu pentru a propune comenzi intuitive și eficiente în diverse contexte de utilizare și aplicații.

## 6.2 Ring×2, un spațiu de proiectare a interacțiunii gestuale folosind două inele smart

În continuare, prezint o formalizare a gesturilor ce pot fi executate cu două inele din perspectiva algebrei temporale introduse de Allen (1983). Această formalizare îmi permite realizarea unei analize privind varietatea tipurilor de gesturi în funcție de precedența sau secvențialitatea acțiunilor mâinilor (spre exemplu, gesturi bimanuale pentru care mișcarea mâinilor este diferită), suprapunere temporală (de exemplu, mișcările mâinilor se pot suprapune în timpul execuției gesturilor bimanuale), respectiv de simultaneitate (de exemplu, cele două mâini se mișcă simultan pe întreaga durată a gestului bimanual).

### 6.2.1 Descrierea categoriilor algebrei temporale

Urmând formalismul algebrei temporale (Allen, 1983), am identificat următoarele posibilități pentru gesturile ce pot fi efectuate cu două inele smart:

- **L < R (Left before Right):** Gestul efectuat cu inelul stâng se produce înainte de gestul efectuat cu inelul drept.
- **L m R (Left meets Right):** Gestul efectuat cu inelul stâng este urmat imediat de gestul efectuat cu inelul drept.
- **L o R (Left overlaps Right):** Gesturile efectuate cu inelele stâng și drept se suprapun în timp, mișcarea începând cu inelul stâng.
- **L s R (Left starts Right):** Amândouă mâinile se mișcă în același timp, dar mâna stânga termină mișcarea prima.
- **L f R (Left finishes Right):** Mâna dreaptă începe gestul. Este urmată de mâna stângă și cele două termină acțiunea concomitent.
- **L d R (Left during Right):** Mâna dreaptă execută o acțiune, dar stânga începe și termină gestul.
- **L = R (Left and Right occur simultaneously):** Acțiunea este executată cu ambele mâini simultan.
- **R < L (Right before Left):** Inversul operației **L < R**.
- **R m L (Right meets Left):** Inversul operației **L m R**.
- **R o L (Right overlaps Left):** Inversul operației **L o R**.
- **R s L (Right starts Left):** Inversul operației **L s R**.
- **R f L (Right finishes Left):** Inversul operației **L f R**.
- **R d L (Right during Left):** Inversul operației **L d R**.

Se poate observa faptul că ultimele șase categorii reprezintă inversul în domeniul timp a primelor șase, pentru care gestul inelului drept este urmat de cel efectuat cu inelul smart aflat pe mâna stângă. Fiecare din categoriile de mai sus poate determina noi posibilități de proiectare a gesturilor cu inele smart. Alegând spre exemplu un gest executat doar cu un singur inel (de exemplu, o mișcare către dreapta), putem crea un număr de treisprezece gesturi noi introducând al doilea inel smart, ceea ce conduce la o plajă largă de gesturi pe care proiectantul interfeței utilizator le are la dispoziție. Pentru a înțelege preferințele utilizatorilor pentru gesturi executate cu două inele în domeniul timp, am selectat din datele colectate



anterior (Gheran *et al.*, 2018a) gesturile bimanuale pe care le-am clasificat conform celor treisprezece categorii.

## 6.2.2 Rezultate

Rezultatele reprezintă o analiză asupra setului de date obținut ca rezultat al experimentului (Gheran *et al.*, 2018a) prezentat în subcapitolul 5.1. Setul de date conține preferințele gestuale solicitate de la un număr de 24 de participanți. Dintre acestea, am luat în considerare pentru această analiză doar gesturile executate cu două inele, reprezentând 37,7% din totalul gesturilor propuse de către participanți: 83 din 220 de propuneri. În urma analizei, am constatat faptul că marea majoritate a gesturilor se încadrează în categoria celor executate simultan cu ambele mâini, urmate de 8.4% și, respectiv, de 7.2% de categoriile L s R și L d R. Un test de tip Pearson pentru egalitatea proporțiilor a scos în evidență un efect semnificativ al categoriei asupra proporțiilor observate ( $\chi^2(8)=331.27$ ,  $p<.001$ ). Aceste rezultate arată că mișcările simultane ale mâinilor sunt preferate de utilizatori pentru realizarea de gesturi bimanuale.

## 6.3 O investigație privind folosirea inelelor smart ca dispozitive asistive pentru utilizatori cu deficiențe motorii

În pofida interesului generic din comunitatea științifică pentru astfel de dispozitive wearable, nu există nici un studiu în literatura de specialitate privind folosirea acestora pentru asistarea utilizatorilor cu dizabilități motorii. Prin urmare, am decis să întreprind o explorare a literaturii domeniului, în special cea referitoare la inele smart ca dispozitive de intrare/ieșire pentru implementarea de tehnologie asistivă în scopul de a sublinia direcții de proiectare de tehnici pentru inele smart și utilizatori cu dizabilități motorii.

### 6.3.1 Tehnologii asistive pentru utilizatorii cu dizabilități motorii

În ceea ce privește tehnologiile de asistență pentru utilizatorii cu deficiențe motorii au fost efectuate numeroase cercetări în literatura domeniului. În continuare, mă voi concentra asupra interacțiunilor folosind gesturi de atingere, recunoaștere vocală, detecția privirii și interfețe care folosesc datele EEG.

### 6.3.2 Recomandări privind proiectarea de interfețe și dispozitive wearable pentru utilizatori cu dizabilități motorii

În baza literaturii studiate, a experienței și perspectivei proprii, precum și a rezultatelor prezentate în cadrul acestei lucrări, pot recomanda o serie de direcții interesante și promițătoare pentru explorări viitoare în acest domeniu.

**Proiectarea interacțiunilor de tip “un buton”.** Inelele smart încorporează, de regulă, un senzor pentru intrare binară, cum ar fi un buton. Dispozitivul (Ring Zero, 2020), de exemplu, dispune de un buton care permite apăsări scurte (mai puțin de două secunde) și lungi. Un simplu buton cu doar două stări poate fi puțin expresiv, dar studiile anterioare au arătat cât de multe sarcini complexe pot fi îndeplinite cu un singur buton în cadrul unei proiectări corecte. De asemenea, este posibilă introducerea de secvențe binare, inclusiv bătăi ritmice (Wobbrock, 2009a) cu un singur buton, unde o secvență de  $n$  apăsări poate fi utilizată pentru a executa până la  $2^n$  comenzi distincte. Interacțiunile de tip atingere sunt ușor de realizat cu ajutorul inelelor smart și, prin urmare, această metodă ar trebui investigată în viitor pentru utilizatorii cu dizabilități motorii. De asemenea, interacțiunile cu mai multe butoane devin interesante





pentru cazul utilizării a două inele smart care pot fi purtate pe ambele mâini (Gheran *et al.*, 2018a, 2018b).

**Interacțiuni combinate între inelele smart și dispozitive mobile personale.** Studiile anterioare au raportat numeroase probleme întâmpinate de utilizatorii cu dizabilități motorii atunci când efectuează chiar și sarcini simple pe ecrane tactile, cum ar fi atingerea țințelor (Gajos *et al.*, 2008; Montague *et al.*, 2014; Mott *et al.*, 2016). Utilizarea în comun a inelelor smart (fie în stilul interacțiunilor cu un buton fie prin gesturi în aer) și ecranelor smart ar trebui dezvoltată în continuare pentru a permite utilizatorilor cu dizabilități motorii să efectueze eficient sarcini în conformitate cu abilitățile lor. De aceea, recomand explorarea scenariilor de intrare cu mai multe dispozitive, inclusiv inele smart.

**Gesturi executate în aer.** Cercetările anterioare privind interacțiunea gestuală pentru utilizatorii cu dizabilități motorii au fost limitate la ecrane tactile (Mott *et al.*, 2016; Naftali și Findlater, 2014; Ungurean *et al.*, 2018). Acești autori au arătat că persoanele cu deficiențe motorii în partea superioară a corpului trebuie să folosească o varietate de strategii pentru a putea folosi ecranele tactile. Cu toate acestea, gesturile rezultate corespund criteriilor motorului de calitate reflectat de metrici de performanță cum ar fi raportul semnal-zgomot (Ungurean *et al.*, 2018). Acest rezultat încurajează examinarea altor tipuri de gesturi pentru utilizatori cu dizabilități motorii, cum ar fi gesturile executate în aer.

## 6.4 O investigație privind folosirea inelelor smart în contextul interacțiunilor gestuale din interiorul unui autovehicul

O nouă direcție interesantă, care ar putea fi cu succes abordată și dezvoltată, o constituie interacțiunea gestuală executată în interiorul unei mașini în scopul de a controla anumite funcții ale acesteia. Studiez posibilitatea de a utiliza inelele smart în combinație cu alte modalități de interacțiune disponibile în interiorul vehiculului pentru a proiecta interacțiuni mai eficiente și mai sigure în vehicul. Luând în considerare locația, activitatea și distanța șoferului față de mașină, voi identifica și discuta caracteristicile unice ale inelelor inteligente pentru a controla funcțiile mașinii, în comparație cu comenzile de pe volan sau de la bord, telefoanele inteligente, interacțiunea gestuală și comenzile vocale din interiorul mașinii. Sunt prezentate, de asemenea, oportunități de aplicații pentru interacțiunea cu inele inteligente atât în vehicul, cât și în afara acestuia.



# 7. CONCLUZII ȘI DEZVOLTĂRI VIITOARE

## 7.1 Concluzii

Dispozitivele mobile și wearable joacă un rol important în viața noastră, dar nu întotdeauna se pliază pe cerințele pe care le așteptăm de la această tehnologie. Tendința producătorilor este de a scoate pe piață dispozitive care încorporează tehnologii de ultimă oră, dar acest lucru nu se bazează tot timpul pe o investigație corespunzătoare a modului în care utilizatorii finali pot realiza interacțiuni cu dispozitivele respective. În acest pas intervine cercetarea HCI care stabilește, prin diverse metodologii, recomandări de proiectare în vederea utilizării eficiente.

În elaborarea acestei lucrări am avut în vedere următoarele aspecte: (1) în primul rând, am realizat o analiză critică a stadiului curent în cercetarea științifică privind interacțiunea bazată pe comenzi gestuale folosind inele smart, plecând de la stadiul curent al cunoașterii în ceea ce privește proiectarea interfețelor gestuale destinate ecranelor tactile integrate în telefoane smart și tablete; (2) am proiectat și implementat noi prototipuri hardware de inele smart, precum și aplicații software pentru achiziționarea gesturilor folosind dispozitive mobile (telefoane, tablete) și wearable (inele smart), respectiv pentru interacțiuni folosind gesturi combinate pe aceste dispozitive; (3) am proiectat și derulat studii utilizator sub forma de experimente controlate în vederea colectării preferințelor utilizatorilor privind comenzi gestuale ce pot fi realizate cu inele smart, precum și a asocierilor dintre comenzile gestuale propuse și funcțiile ce pot fi executate în cadrul unui sistem interactiv; (4) am analizat gesturile propuse de către utilizatori folosind inele smart prin clasificarea și gruparea acestora în funcție de dimensiunile și categoriile unei noi taxonomii specific pentru gesturi realizate cu inele smart; (5) ca urmare a analizelor efectuate am elaborat și discutat câteva recomandări de proiectare a interfețelor bazate pe gesturi pentru inele smart.

## 7.2 Articole științifice publicate

- **Bogdan-Florin Gheran**, Radu-Daniel Vatavu. 2020. From Controls on the Steering Wheel to Controls on the Finger: Using Smart Rings for In-Vehicle Interactions. In *Proceedings of DIS' 20 Companion, the Companion Publication of the ACM International Conference on Designing Interactive Systems*. ACM, New York, NY, USA, 299–304. DOI: <https://doi.org/10.1145/3393914.3395851>  
**Conferință de rang ARC CORE B**
- **Bogdan-Florin Gheran**, Jean Vanderdonckt, Radu-Daniel Vatavu. 2018. Gestures for Smart Rings: Empirical Results, Insights, and Design Implications. In *Proceedings of DIS '18, the ACM International Conference on Designing Interactive Systems*. ACM, New York, NY, USA, 623–635. DOI: <https://doi.org/10.1145/3196709.3196741>  
**Conferință de rang ARC CORE B WOS:000478673400054**
- **Bogdan-Florin Gheran**, Radu-Daniel Vatavu, Jean Vanderdonckt. 2018. Ring x2: Designing Gestures for Smart Rings using Temporal Calculus. In *Proceedings of DIS*



'18 Companion, the Companion Publication of the ACM International Conference on Designing Interactive Systems. ACM, New York, NY, USA, 117–122.

DOI: <https://doi.org/10.1145/3197391.3205422>

**Conferință de rang ARC CORE B WOS:000461155200020**

- Radu-Daniel Vatavu, **Bogdan-Florin Gheran**, Maria Doina Schipor. 2018. The Impact of Low Vision on Touch-Gesture Articulation on Mobile Devices. *IEEE Pervasive Computing* 17, 1 (January 2018), 27–37.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/MPRV.2018.011591059>  
**WOS:000427706000005 IF(2018): 3.813 5-YEAR IF (2018): 4.123**
- **Bogdan-Florin Gheran**, Ovidiu-Ciprian Ungurean, Radu-Daniel Vatavu. 2018. Toward Smart Rings as Assistive Devices for People with Motor Impairments: A Position Paper. In *Proceedings of RoCHI '18, the 15th International Conference on Human Computer Interaction*, 99-106. <https://dblp.org/rec/conf/rochi/GheranUV18>
- Ovidiu-Ionuț Gherman, Ovidiu-Andrei Schipor, **Bogdan-Florin Gheran**. 2018. VERGE: A System for Collecting Voice, Eye Gaze, Gesture, and EEG Data for Experimental Studies. In *Proceedings of DAS '18, the 2018 International Conference on Development and Application Systems*, 150-155.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DAAS.2018.8396088>  
**WOS:000467080400028**
- **Bogdan-Florin Gheran**. 2016. Design and Engineering of Software Applications for Touch Input Collection on Mobile Devices. In *Proceedings of ICVL '16, the 11th International Conference on Virtual Learning*, 323-328.  
[http://c3.icvl.eu/papers2016/icvl/documente/pdf/section3/section3\\_paper42.pdf](http://c3.icvl.eu/papers2016/icvl/documente/pdf/section3/section3_paper42.pdf)  
**WOS:000444941400042**
- **Bogdan-Florin Gheran**, Gabriel Cramariuc, Ionela Rusu, Elena Crăciun. 2016. Tools for Collecting Users' Touch and Free-Hand Gestures on Mobile Devices in Experimental Settings. In *Proceedings of DAS '16, the 2016 International Conference on Development and Application Systems*, 248-253.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DAAS.2016.7492581>  
**WOS:000383222200040**

### 7.3 Dezvoltări viitoare

Lucrări viitoare ar putea analiza detaliile de articulare ale gesturilor bimanuale, făcând referire la modul în care mâna dominantă și cea nedominantă se mișcă pentru a efectua un gest, din perspectiva algebrei temporale (Allen, 1983). O examinare detaliată a creativității participanților poate fi de asemenea avută în vedere prin utilizarea altor teste, mai puțin generice, care vizează aspecte specifice ale creativității (Cooper, 1991). Permitearea participanților să sugereze mai mult de un gest pe acțiune poate duce la o rată de consens mai mare pentru noile tehnologii și ar putea constitui o temă de explorare în viitor. De asemenea, interconectarea gesturilor executate cu inele inteligente cu alte tipuri de gesturi, de exemplu, gesturi ale întregului corp, abordând problema din punctul de vedere al segmentării (Vatavu *et al.*, 2017a), este o altă explorare interesantă.

În ceea ce privește reproducerea studiilor GES există mai multe căi pe care acest studiu le deschide pentru lucrările viitoare, de la efectuarea mai multor reproduceri ale studiilor GES pentru verificarea și validarea rezultatelor anterioare, până la consolidarea cunoștințelor de proiectare într-o manieră sistematică și structurată a interacțiunii gestuale. Identific două direcții majore pentru astfel de lucrări viitoare. Una ar fi *replicările pentru alte contexte de*



*utilizare*. Remodelarea și reproductibilitatea pot fi implementate pentru a descoperi mai multe despre preferințele utilizatorilor în ceea ce privește interacțiunea gestuală în alte contexte de utilizare, diferite de cele abordate de studiile inițiale. Coutaz *et al.* (2005) au caracterizat contextul de utilizare de-a lungul a trei dimensiuni: (1) utilizatorii finali și sarcini, (2) platforme și dispozitive și (3) mediul fizic în care au loc interacțiunile. Din păcate, multe studii GES nu specifică contextul de utilizare în configurarea experimentală, ceea ce face dificilă replicarea acestui context. Cu toate acestea, astfel de replicări sunt foarte recomandate, deoarece se știe că spațiul și locul influențează modul în care participanții se simt angajați într-un studiu GES (Akpan *et al.*, 2013) și că locația și audiența influențează acceptabilitatea socială a gesturilor efectuate în spațiile publice (Rico *et al.*, 2010). Mai mult decât atât, diferite categorii de utilizatori pot avea preferințe gestuale diferite influențate direct de mediile lor culturale diferite (Jane *et al.*, 2017; Mauney *et al.*, 2010). Contextul include, de asemenea, părțile corpului care implementează gestul, de la picioare (Felberbaum *et al.*, 2018) și mâini (Bostan *et al.*, 2017) până la gesturile efectuate cu capul și umerii (Vanderdonckt *et al.*, 2019) și gesturi efectuate cu întregul corp (Connell *et al.*, 2013; Vatavu *et al.*, 2019). A doua direcție ar constitui-o platformele centralizate pentru partajarea rezultatelor studiilor GES. De la introducerea metodei în 2005 (Wobbrock *et al.*, 2005), până în prezent au fost efectuate aproximativ 250 de studii GES, care au raportat un număr mare de rezultate privind gesturile definite de utilizator. Din păcate, aceste rezultate sunt dispersate în literatura de specialitate și, astfel, sunt mai greu de pus în practică de către cercetători pentru proiectele și prototipurile bazate pe interacțiunea gestuală. O bază de date prin care toate aceste informații să poată fi ușor localizate, interogate și validate prin replicări reprezintă un pas cheie către consolidarea cunoștințelor în interacțiunea gestuală definită de utilizator.

O altă direcție de explorare viitoare ar putea-o constitui și dezvoltarea inelului PhiSpatial. Raportându-mă în primul rând la partea hardware, dimensiunea acestuia ar putea fi mult redusă prin reproiectarea plăcii PCB, la fel cum s-a făcut în cazul PhiAccel. Pentru transmiterea datelor ar putea fi adăugat un modul Bluetooth, ceea ce ar conduce la o ușurință în utilizare deoarece nu ar mai fi cablurile de date și ar putea fi folosit dincolo de cadrul experimental. Din punct de vedere software aplicația de recepție a datelor ar putea fi portată pe sistemul de operare Android sau iOS, făcând astfel posibilă interconectarea inelului cu telefonul sau tableta. Datele primite, având în vedere că acest tip de dispozitiv wearable dispune de accelerometru, giroscop și magnetometru, pot caracteriza per ansamblu mișcarea degetului care-l poartă, iar prin utilizarea cuaternionilor pot fi reprezentate sub forma unor serii de puncte 2-D sau 3-D, pentru care există o serie de algoritmi generici de recunoaștere a gesturilor, cum ar fi \$1, \$N, \$P, \$P+, Protractor, respectiv \$3 (Anthony *et al.*, 2010; Kratz *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2010; Vatavu *et al.*, 2017b, 2012b; Wobbrock *et al.*, 2007) ce ar putea fi implementați.

Bazat pe acest nou prototip de inel, care are posibilitatea de a recunoaște interacțiunea gestuală, s-ar putea demara studii de solicitare gestuală în condiții reale de utilizare și mai puțin într-un mediu controlat. De asemenea, în ceea ce privește tehnologiile asistive pentru utilizatorii cu dizabilități motorii, recomand explorarea interacțiunii gestuale facilitate de inele smart deoarece nu există deocamdată astfel de studii.



## Referințe

- Akpan *et al.*, 2013 Imeh Akpan, Paul Marshall, Jon Bird, and Daniel Harrison. 2013. Exploring the Effects of Space and Place on Engagement with an Interactive Installation. In *Proceedings of the ACM International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13)*. ACM, New York, NY, USA, 2213–2222. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2470654.2481306>
- Allen, 1983 James F. Allen. 1983. Maintaining knowledge about temporal intervals. *Comm. ACM* 26, 11, 832-843. <http://dx.doi.org/10.1145/182.358434>
- Anthony *et al.*, 2010 Lisa Anthony and Jacob O. Wobbrock. 2010. A Lightweight Multistroke Recognizer for User Interface Prototypes. In *Proc. of Graphics Interface 2010*. 245–252. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1839214.1839258>
- Anthony *et al.*, 2013 Lisa Anthony, Radu-Daniel Vatavu, Jacob O. Wobbrock. “Understanding the consistency of users' pen and finger stroke gesture articulation,” GI'13, the 39th Graphics Interface Conference (Regina, Saskatchewan, Canada, May 2013). Toronto, Ontario: Canadian Information Processing Society, pp. 87-94
- “Artifact”, 2018. Artifact Review and Badging [WWW Document], n.d. URL <https://www.acm.org/publications/policies/artifact-review-badging> Accesat la data 06.07.2020).
- Ashbrook *et al.*, 2010 D. Ashbrook and T. Starner, “MAGIC: A motion gesture design tool,” SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New York, NY, USA, 2010, pp. 2159–2168.
- Ashbrook *et al.*, 2011 Daniel Ashbrook, Patrick Baudisch, Sean White. 2011. NENYA: Subtle and eyes-free mobile input with a magnetically-tracked finger ring. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*, 2043-2046. <https://doi.org/10.1145/1978942.1979238>
- Bostan *et al.*, 2017 İdil Bostan, Oguz Turan Buruk, Mert Canat, Mustafa Ozan Tezcan, Celalettin Yurdakul, Tilbe Göksun, and Oguzhan Özcan. 2017. Hands as a Controller: User Preferences for Hand Specific On-Skin Gestures. In *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems (DIS '17)*. ACM, New York, NY, USA, 1123–1134. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3064663.3064766>
- Cooper, 1991 Eileen Cooper. 1991. A Critique of Six Measures for Assessing Creativity. *The Journal of Creative Behavior* 25, 3 (1991), 194–204. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/j.2162-6057.1991.tb01370.x>
- Connell *et al.*, 2013 Sabrina Connell, Pei-Yi Kuo, Liu Liu, and Anne Marie Piper. 2013. A Wizard-of-Oz elicitation study examining child-defined gestures with a whole-body interface. In *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children (IDC '13)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 277–280. DOI: <https://doi.org/10.1145/2485760.2485823>
- Coutaz *et al.*, 2005 Joëlle Coutaz, James L. Crowley, Simon Dobson, and David Garlan. 2005. Context is Key. *Commun. ACM* 48, 3 (March 2005), 49–53. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1047671.1047703>



- Gajos *et al.*, 2008 Krzysztof Z. Gajos, Jacob O. Wobbrock, and Daniel S. Weld. 2008. Improving the performance of motor-impaired users with automatically-generated, ability-based interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '08)*. ACM, New York, NY, USA, 1257-1266. <https://doi.org/10.1145/1357054.1357250>
- Felberbaum *et al.*, 2018 Yasmin Felberbaum and Joel Lanir. 2018. Better Understanding of Foot Gestures: An Elicitation Study. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. ACM, New York, NY, USA, Article 334, 12 pages. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3173574.3173908>
- Gheran *et al.*, 2018a Bogdan-Florin Gheran, Jean Vanderdonckt, Radu-Daniel Vatavu. 2018a. Gestures for Smart Rings: Empirical Results, Insights, and Design Implications. In *Proc. of the 13rd ACM SIGCHI Conf. on Designing Interactive Systems (DIS'18)*. <https://doi.org/10.1145/3196709.3196741>
- Gheran *et al.*, 2018b Bogdan-Florin Gheran, Radu-Daniel Vatavu, Jean Vanderdonckt. 2018b. Ring x2: Designing Gestures for Smart Rings using Temporal Calculus. In *Proceedings of the 2018 ACM Conference Companion Publication on Designing Interactive Systems (DIS '18 Companion)*. New York, NY, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/3197391.3205422>
- Goodman *et al.*, 2016 Steven N. Goodman, Daniele Fanelli, and John P.A. Ioannidis. 2016. What Does Research Reproducibility Mean? *Science Translational Medicine* 8, 341 (June 2016), 341ps12. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/scitranslmed.aaf5027>
- Hornbæk *et al.*, 2014 Kasper Hornbæk, Søren S. Sander, Javier Andrés Bargas-Avila, and Jakob Grue Simonsen. 2014. Is once enough? on the extent and content of replications in human-computer interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 3523–3532. DOI:<https://doi.org/10.1145/2556288.2557004>
- Jane *et al.*, 2017 Jane L. E, Ilene L. E, James A. Landay, and Jessica R. Cauchard. 2017. Drone & Wo: Cultural Influences on Human-Drone Interaction Techniques. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 6794–6799. DOI:<https://doi.org/10.1145/3025453.3025755>
- Johansen, 1991 Johansen, R., 1991. Groupware: Future directions and wild cards. *J. Organ. Comput.* 1, 219–227. <https://doi.org/10.1080/10919399109540160>
- Korkman, *et al.*, 1998 M. Korkman, U. Kirk, S.K., 1998. NEPSY - Wikipedia [WWW Document]. URL <https://en.wikipedia.org/wiki/NEPSY> Accesat la data de 1 iunie 2020.
- Kratz *et al.*, 2010 Sven Kratz and Michael Rohs. 2010. The \$3 Recognizer: Simple 3D Gesture Recognition on Mobile Devices. In *Proc. of the 15th Int. Conf. on Intelligent User Interfaces (IUI '10)*. 419–420. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1719970.1720051>



- Li *et al.*, 2010 Yang Li. 2010. Protractor: A Fast and Accurate Gesture Recognizer. In *Proc. of the SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems (CHI '10)*. 2169–2172. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1753326.1753654>
- Lim *et al.*, 2016 Hyunchul Lim, Jungmin Chung, Changhoon Oh, SoHyun Park, and Bongwon Suh. 2016. OctaRing: Examining Pressure-Sensitive Multi-Touch Input on a Finger Ring Device. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '16 Adjunct)*. ACM, New York, NY, USA, 223-224. DOI: <https://doi.org/10.1145/2984751.2984780>
- Lopes *et al.*, 2015 Lopes, P., Ion, A., Mueller, W., Hoffmann, D., Jonell, P., Baudisch, P., 2015. Proprioceptive interaction, in: *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. Association for Computing Machinery, New York, New York, USA, pp. 939–948. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702461>
- Mauney *et al.*, 2010 Dan Mauney, Jonathan Howarth, Andrew Wirtanen, and Miranda Capra. 2010. Cultural Similarities and Differences in User-defined Gestures for Touchscreen User Interfaces. In *CHI '10 Extended Abstracts on 13 Human Factors in Computing Systems (CHI EA '10)*. ACM, New York, NY, USA, 4015–4020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1753846.1754095>
- Montague *et al.*, 2014 Kyle Montague, Hugo Nicolau, and Vicki L. Hanson. 2014. Motor-impaired touchscreen interactions in the wild. In *Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility (ASSETS '14)*. ACM, New York, NY, USA, 123-130. <http://dx.doi.org/10.1145/2661334.2661362>
- Morris, 2012 Meredith Ringel Morris. 2012. Web on the Wall: Insights from a Multimodal Interaction Elicitation Study. In *Proc. of the 2012 ACM Int. Conf. on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS '12)*. 95–104. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2396636.2396651>
- Morris *et al.*, 2014 Morris, M.R., Danieleescu, A., Drucker, S., Fisher, D., Lee, B., Schraefel, M.C., Wobbrock, J.O., 2014. Reducing legacy bias in gesture elicitation studies. *Interactions* 21, 40–45. <https://doi.org/10.1145/2591689>
- Mott *et al.*, 2016 Martez E. Mott, Radu-Daniel Vatavu, Shaun K. Kane, and Jacob O. Wobbrock. 2016. Smart Touch: Improving Touch Accuracy for People with Motor Impairments with Template Matching. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*. ACM, New York, NY, USA, 1934-1946. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858390>
- Peng, 2011 Roger D. Peng. 2011. Reproducible Research in Computational Science. *Science* 334, 6060 (2011), 1226–1227. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1213847>
- “Phidgets Inc.,” 2020. Phidgets Inc. - Products for USB Sensing and Control [WWW Document], n.d. URL <https://www.phidgets.com/> Accesat la data de 1 iunie 2020.
- “Phidgets - 1106,” n.d. Phidgets Force Sensor - 1106\_0 at Phidgets [WWW Document], n.d. URL <https://www.phidgets.com/?tier=3&catid=6&pcid=4&prodid=76>



- Accesat la data de 1 iunie 2020.
- “Phidget - 1042,” n.d. PhidgetSpatial 3/3/3 Basic - 1042\_0B at Phidgets [WWW Document], n.d. URL <https://www.phidgets.com/?tier=3&catid=10&pcid=8&prodid=1025>  
Accesat la data de 1 iunie 2020.
- Piumsomboon *et al.*, 2013 Thammathip Piumsomboon, Adrian Clark, Mark Billingham, and Andy Cockburn. 2013. User-defined Gestures for Augmented Reality. In *Proc. of INTERACT '13*. 282–299. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-40480-1\\_18](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-40480-1_18)
- Rekik *et al.*, 2013 Rekik, Y., Grisoni, L., Roussel, N. “Towards many gestures to one command: A user study for tabletops”, *Proceedings of INTERACT '13*, Springer, 2013, 246–263. DOI=10.1007/978-3-642-40480-1\_16
- Rekik *et al.*, 2014 Yosra Rekik, Radu-Daniel Vatavu, Laurent Grisoni, “Understanding Users' Perceived Difficulty of Multi-Touch Gesture Articulation”, *Proceedings of ICMI'14, the 16th ACM International Conference on Multimodal Interaction (Istanbul, Turkey, November 2014)*. ACM Press, 2014, 232-239. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2663204.2663273>
- Rico *et al.*, 2010 Julie Rico and Stephen Brewster. 2010. Usable gestures for mobile interfaces: evaluating social acceptability. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '10)*. ACM, New York, NY, USA, 887-896. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1753326.1753458>
- Ring Zero, 2020 Ring ZERO a fost scos din producție, dar pagina web asociată se poate găsi la adresa <https://web.archive.org/web/20170309191236/http://ringzero.logbar.jp/>, Accesat la data de 1 iunie 2020.
- Rissanen *et al.*, 2013 Mikko J. Rissanen, Samantha Vu, Owen Noel Fernando, Natalie Pang, and Schubert Foo. 2013. Subtle, Natural and Socially Acceptable Interaction Techniques for Ring Interfaces – Finger-Ring Shaped User Interfaces. In *Proc. of the 1st Int. Conf. on Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions*. 52–61. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-39351-8\\_6](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-39351-8_6)
- Ruiz *et al.*, 2011 Jaime Ruiz, Yang Li, and Edward Lank. 2011. “User-defined motion gestures for mobile interaction,” *SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*. ACM, New York, NY, USA, 2011, pp. 197-206. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1978942.1978971>
- Ruiz și Vogel, 2015 Ruiz, J., Vogel, D., 2015. Soft-constraints to reduce legacy and performance bias to elicit whole-body gestures with low arm fatigue, in: *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. Association for Computing Machinery, New York, New York, USA, pp. 3347–3350. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702583>
- Shilkrot *et al.*, 2015b Roy Shilkrot, Jochen Huber, Jürgen Steimle, Suranga Nanayakkara, Pattie Maes. 2015. Digital Digits: A Comprehensive Survey of Finger Augmentation Devices. *ACM Computing Surveys* 48, 2, Article 30 (Nov. 2015), 29 pages. <https://doi.org/10.1145/2828993>





- Tsang și Kwan, 1999 Tsang, E.W.K., Kwan, K.-M., 1999. Replication and Theory Development in Organizational Science: A Critical Realist Perspective. *Acad. Manag. Rev.* 24, 759.  
<https://doi.org/10.2307/259353>
- Ungurean *et al.*, 2018 Ovidiu-Ciprian Ungurean, Radu-Daniel Vatavu, Luis A. Leiva, Réjean Plamondon. 2018. Gesture Input for Users with Motor Impairments on Touchscreens: Empirical Results based on the Kinematic Theory. In *Proc. of CHI EA 2018*, 6 pages  
<https://doi.org/10.1145/3170427.3188619>
- Vanderdonckt *et al.*, 2019 Jean Vanderdonckt, Nathan Magrofuoco, Suzanne Kieffer, Jorge Pérez, Ysabelle Rase, Paolo Roselli, and Santiago Villarreal. 2019. Head and Shoulders Gestures: Exploring User-Defined Gestures with Upper Body. In *Design, User Experience, and Usability. User Experience in Advanced Technological Environments*, Aaron Marcus and Wentao Wang (Eds.). Springer International Publishing, 192–213. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23541-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23541-3_15)
- Vatavu *et al.*, 2012a Radu-Daniel Vatavu, Catalin Marian Chera, Wei-Tek Tsai. “Gesture profile for web services: an event-driven architecture to support gestural interfaces for smart environments,” AmI’12, the International Joint Conference on Ambient Intelligence (Pisa, Italy, Nov. 2012). LNAI 7683, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012, pp. 161-176
- Vatavu *et al.*, 2012b Radu-Daniel Vatavu, Lisa Anthony, and Jacob O. Wobbrock. 2012. Gestures as point clouds: a \$P recognizer for user interface prototypes. In *Proceedings of the 14th ACM international conference on Multimodal interaction (ICMI '12)*. ACM, New York, NY, USA, 273-280. DOI: <https://doi.org/10.1145/2388676.2388732>
- Vatavu *et al.*, 2012c Radu-Daniel Vatavu. “User-defined gestures for free-hand TV control” Proceedings of the 10th European conference on Interactive TV and video (EuroiTV '12). ACM, New York, NY, USA, 45-48, 2012. DOI= <http://dx.doi.org/10.1145/2325616.2325626>
- Vatavu, 2012d Radu-Daniel Vatavu. 2012. Nomadic Gestures: A Technique for Reusing Gesture Commands for Frequent Ambient Interactions. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments* 4(2), 79-93.  
<http://dx.doi.org/10.3233/AIS-2012-0137>
- Vatavu *et al.*, 2014 Radu-Daniel Vatavu and Ionut-Alexandru Zaiti. “Leap gestures for TV: insights from an elicitation study”, Proceedings of the 2014 ACM international conference on Interactive experiences for TV and online video (TVX '14). ACM, New York, NY, USA, 2014, 131-138. DOI= <http://dx.doi.org/10.1145/2602299.2602316>
- Vatavu *et al.*, 2015 Radu-Daniel Vatavu, Jacob O. Wobbrock. 2015. Formalizing Agreement Analysis for Elicitation Studies: New Measures, Significance Test, and Toolkit. In *Proc. of the 33rd Annual ACM Conf. on Human Factors in Comp. Systems (CHI '15)*, 1325-1334.  
<https://doi.org/10.1145/2702123.2702223>
- Vatavu *et al.*, 2017a Radu-Daniel Vatavu. 2017. Smart-Pockets: Body-Deictic Gestures for Fast Access to Personal Data during Ambient Interactions. *Int. J. Hum. -Comput. Stud.* 103, C (July 2017), 1-21.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.01.005>



- Vatavu *et al.*, 2019 Radu-Daniel Vatavu. 2019a. The Dissimilarity-Consensus Approach to Agreement Analysis in Gesture Elicitation Studies. In Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '19). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Paper 224, 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1145/3290605.3300454>
- Wobbrock *et al.*, 2005 Jacob O. Wobbrock, Htet Htet Aung, Brandon Rothrock, and Brad A. Myers. 2005. Maximizing the Guessability of Symbolic Input. In *Proc. of CHI '05 EA on Human Factors in Computing Systems*. 1869–1872. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1056808.1057043>
- Wobbrock *et al.*, 2009a Jacob Otto Wobbrock. 2009. “TapSongs: tapping rhythm-based passwords on a single binary sensor.” In *Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '09)*. ACM, New York, NY, USA, 93-96. DOI= <http://dx.doi.org/10.1145/1622176.1622194>
- Wobbrock *et al.*, 2009b Jacob O. Wobbrock, Meredith Ringel Morris, and Andrew D. Wilson. 2009. User-defined gestures for surface computing. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1083–1092. DOI: <https://doi.org/10.1145/1518701.1518866>

