Universitatea
Transilvania
din Brașov

ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: Inginerie Mecanică

Ing. Adrian-Iulian DUMITRU

Contribuții privind sistemele de asistență a conducătorului auto integrate pe telefoane mobile inteligente prin urmărirea parametrilor fiziologici relevanți și a percepției vizuale la limită

Contributions on integrated driving assistance systems on smartphones by tracking relevant physiological parameters and visual perception at the limit

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător ştiințific

Prof. univ. dr. ing. Gheorghe-Leonte MOGAN

BRAȘOV, 2019

D-lui (D-nei) .....

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov
Nr. ..... din .....

PREŞEDINTE:	Prof. dr. ing. Adrian ȘOICA, Universitatea Transilvania din Brașov
CONDUCĂTOR ŞTIINȚIFIC:	Prof.dr.ing. Gheorghe-Leonte MOGAN, Universitatea Transilvania din Brașov
REFERENȚI:	Prof.dr.ing. Edward RAKOȘI, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi”din Iași
	Prof.dr.ing. Ionel SIMION, Universitatea Politehnica din București
	Prof.dr.ing. Florin SANDU, Universitatea Transilvania din Brașov

Data, ora şi locul susţinerii publice a tezei de doctorat: ....., ora ....., sala .....

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa adrian.dumitru@unitbv.ro.

Totodată, vă invităm să luați parte la şedința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

CUPRINS

	Pg. teza	Pg. rezumat
PREFAȚĂ	11	-
LISTA FIGURILOR	13	-
LISTA TABELELOR	16	-
LISTA ABREVIERILOR	17	-
1. INTRODUCERE	19	11
1.1 Aspecte generale	19	11
1.2 Necesitatea și justificarea temei	19	11
1.3 Obiectivele cercetării	20	11
1.4 Structura și conținutul tezei	21	12
2. SISTEME DE ASISTENȚĂ A CONDUCĂTORULUI AUTO ȘI SIMULATOARE DE CONDUCERE ȘI NAVIGARE AUTO ÎN MEDII VIRTUALE. STADIUL ACTUAL	23	14
2.1 Aspecte generale	23	14
2.2 Interacțiuni dintre conducătorul auto, autovehicul și mediul de navigare	25	14
2.2.1 Interacțiuni conducător auto - autovehicul	27	-
2.2.1 Interacțiuni conducător auto – mediul de navigare	28	-
2.2.1 Interacțiuni conducător autovehicul – mediul de navigare	28	-
2.3 Generalități despre sistemele de asistență a conducătorului auto	29	-
2.4 Evoluția sistemelor de asistență a conducătorului auto	30	-
2.5 Caracteristicile sistemelor de asistență a conducătorului auto	30	15
2.6 Arhitectura generală a sistemelor de asistență avansate	31	15
2.7 Interfețe conducător auto - autovehicul	32	-
2.8 Descrierea și clasificarea ADAS-urilor	33	16
2.8.1 Subsisteme de asistență de informare	34	-
2.8.2 Subsisteme de asistență de avertizare	34	-
2.8.3 Subsisteme de asistență cu control parțial	34	-
2.8.4 Subsisteme de asistență cu control automat	35	-
2.9 Funcțiile și tipurile sistemelor de asistență	35	16
2.9.1 Sisteme de asistență de control lateral al autovehiculului	36	-
2.9.2 Sisteme de asistență de control longitudinal al autovehiculului	37	-
2.9.3 Sisteme de asistență pentru asigurarea stabilității autovehiculului	39	-
2.9.4 Sisteme de asistență pentru parcare	41	-
2.9.5 Sisteme de asistență pentru îmbunătățirea vizibilității	41	-
2.9.6 Sisteme de monitorizare a conducătorului auto	42	17
2.10 Sisteme de asistență pentru telefoane inteligente	43	17
2.11 Simulatoare de conducere și navigare auto în medii virtuale	44	18
2.11.1 Funcțiile și tipurile simulatoarelor de conducere auto	44	18
2.11.2 Structura și funcționarea simulatoarelor de conducere	46	-
2.12 Concluzii	47	19

3. PARAMETRI FIZIOLOGICI ȘI VIZUALI RELEVANȚI LA LIMITĂ AI CONDUCĂTORULUI AUTO 49 21
3.1 Aspecte generale 49 21
3.2 Afecțiuni și stări fiziologice simptomatice pentru capacitatea de conducere auto 50 21
3.2.1 Afecțiuni cu implicații asupra capacității de conducere auto 50 21
3.2.2 Identificarea stărilor fiziologice simptomatice pentru capacitatea de conducere auto 51 21
3.3 Parametri fiziologici relevanți ai conducătorului auto 52 22
3.3.1 Ritmul cardiac 53 -
3.3.2 Temperatura 53 -
3.3.3 Frecvența respirației 54 -
3.3.4 Presiunea sângelui 54 -
3.3.5 Concentrația oxigenului în sânge 55 -
3.4 Măsurarea parametrilor fiziologici în timpul procesului de conducere auto 55 23
3.4.1 Aspecte generale 55 23
3.4.2 Măsurarea ritmului cardiac 56 -
3.4.2.1 Sisteme de măsurare integrate la postul de conducere 56 -
3.4.2.2 Sisteme de măsurare portabile 58 24
3.4.3 Măsurarea temperaturii 59 -
3.4.4 Măsurarea frecvenței respirației 60 -
3.4.5 Măsurarea concentrației oxigenului în sânge 60 -
3.5 Parametri vizuali relevanți 61 24
3.5.1 Generalități despre sistemul optic uman 61 -
3.5.2 Parametrii percepției vizuale relevanți ai conducătorului auto 62 25
3.5.2.1 Parametri limită ai câmpului vizual 62 25
3.5.2.2 Parametri limită ai distragerii privirii 63 26
3.6 Concluzii 64 26
4. DESCRIEREA, ANALIZA ȘI MONITORIZAREA PARAMETRILOR VIZUALI ȘI FIZIOLOGICI RELEVANȚI 65 27
4.1 Aspecte generale despre descrierea și analiza imaginilor video 65 27
4.1.1 Recunoașterea video, estimarea poziției și a orientării capului 66 27
4.1.2 Performanțe de precizie privind detecția și estimarea orientării privirii 67 -
4.1.3 Șabloane de imagini și potrivirea acestora 68 28
4.2 Model și algoritm de recunoaștere, localizare și urmărire a mișcărilor capului și privirii 69 28
4.2.1 Model geometric de descriere a mișcărilor capului și privirii 69 28
4.2.2 Algoritm general de recunoaștere și localizare a privirii 73 29
4.3 Descrierea și analiza parametrilor fiziologici relevanți 74 30
4.3.1 Principiile măsurării parametrilor fiziologici 74 30
4.3.2 Formele semnalelor asociate parametrilor fiziologici 75 31

4.3.3 Algoritmi de procesare a semnalelor asociate parametrilor fiziologici 76 31
4.4 Monitorizarea procesului de conducere auto 77 32
4.4.1 Aspecte generale 77 32
4.4.2 Descrierea monitorizării procesului de conducere auto 78 32
4.4.3 Monitorizarea software a proceselor de conducere auto 79 33
4.5 Concluzii 79 33
5. SISTEM DE ASISTENȚĂ A CONDUCĂTORULUI AUTO PENTRU STĂRI FIZIOLOGICE ȘI VIZUALE LA LIMITĂ 81 34
5.1 Arhitectura sistemului de asistență *DriverLife* 81 34
5.2 Structura hardware a sistemului *DriverLife* 82 35
5.2.1 Schema bloc a structurii hardware 82 35
5.2.2 Subsistemul senzorial al sistemului *DriverLife* 83 35
5.2.2.1 Integrarea senzorilor pentru măsurarea parametrilor fiziologici relevanți 83 35
5.2.2.2 Senzorul CMOS integrat în telefonul inteligent 84 36
5.3 Pachete software utilizate de *DriverLife* 85 37
5.3.1 Mediul de dezvoltare Android Studio 85 37
5.3.2 Dezvoltarea de aplicații în sistemul Android 86 37
5.3.3 Dezvoltarea de aplicații cu biblioteca OpenCV 88 37
5.4 Conceperea, proiectarea și implementarea aplicației de detecție a feței și privirii (Aplicația_video) 88 37
5.4.1 Detecția feței cu clasificatorul Haar 89 38
5.4.2 Antrenamentul și calibrarea aplicației de detecție video 91 39
5.4.3 Subsistemul de urmărire și declanșare a alarmei 92 40
5.5 Conceperea, proiectarea și implementarea aplicației de monitorizare a parametrilor fiziologici relevanți (Aplicația_fizio) 93 41
5.5.1 Concepția aplicației de urmărire a parametrilor fiziologici 94 41
5.5.2 Alegerea conexiunii telefon - senzori 96 42
5.5.3 Inițializare Aplicația_fizio 97 43
5.5.4 Modulul de monitorizare 98 43
5.5.5 Eșantionarea și calibrarea alarmelor pentru Aplicația_fizio 98 44
5.6 Concepția aplicației de monitorizare integrată 100 45
5.7 Concluzii 102 46
6. STUDII EXPERIMENTALE 103 47
6.1 Studii experimentale în medii virtuale 103 47
6.1.1 Structura sistemului experimental 103 47
6.1.1.1 Structura și funcționarea subsistemelor 103 47
6.1.1.2 Instrumente hard - soft 104 -
6.1.1.2.1 Simulatorul de conducere 104 -
6.1.1.2.2 Dispozitivul de urmărire a privirii 105 -
6.1.1.2.3 Camere video 105 -
6.1.2 Descrierea și planificarea experimentelor 106 48

6.1.3 Calibrarea subsistemelor și achiziția datelor 107 49
6.1.3.1 Calibrarea dispozitivului de urmărire a privirii 107 49
6.1.3.2 Achiziția datelor de la dispozitivul de urmărire a privirii 109 49
6.1.3.3 Achiziția de imagini de la camerele video 110 50
6.1.3.4 Achiziția de date de la simulatorul de conducere 110 51
6.1.4 Prelucrarea statistică a datelor 111 -
6.1.5 Analiza și evaluarea rezultatelor 112 51
6.1.5.1 Caracteristici de conducere relevante 112 51
6.1.5.2 Caracteristici ale distragerii privirii 113 52
6.1.5.2.1 Frecvența distragerilor privirii 113 52
6.1.5.2.2 Duratele perioadelor de distragere a privirii 114 53
6.1.5.3 Caracteristici de eficiență a sistemului *DriverLife* 115 54
6.1.6 Comentarii privind rezultatele experimentelor în mediul virtual 116 54
6.2 Studii experimentale în mediul real 117 55
6.2.1 Instalarea sistemului *DriverLife* la postul de conducere 117 55
6.2.2 Calibrarea și testarea sistemului *DriverLife* 117 56
6.2.3 Teste de monitorizare a privirii 120 57
6.2.4 Teste de monitorizare a parametrilor fiziologici 122 58
6.2.5 Comentarii privind rezultatele experimentelor în mediul real 123 59
6.3 Concluzii 123 59
7. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUŢII ORIGINALE, VALORIFICAREA REZULTATELOR ŞI NOI DIRECŢII DE CERCETARE 125 60
7.1 Concluzii finale 125 60
7.2 Contribuții originale 126 61
7.3 Valorificarea rezultatelor cercetării 127 62
7.3.1 Lucrări publicate 127 62
7.3.2 Participări la conferinţe 128 62
7.3.3 Participări la contracte de cercetare - dezvoltare 128 63
7.4 Direcţii viitoare de cercetare 128 63
BIBLIOGRAFIE 131 64
ANEXE 143 -
Anexa 1. Aplicație agregare date Tobii SDK 143 -
Anexa 2. Chestionar evaluare sistem *DriverLife* 146 -
Anexa 3. Aplicație pentru analiza potrivirilor de șabloane OpenCV 149 -
Anexa 4. Aplicație *DriverLife* (secțiunea OpenCV) 151 -
Scurt rezumat (romană /engleză) 169 68
CV română 170 69
CV engleză 171 70

CONTENTS

	Thesis p.	Abstract p.
PREFACE	11	-
LIST OF FIGURES	13	-
LIST OF TABLES	16	-
LIST OF ABBREVIATIONS	17	-
1. INTRODUCTION	19	11
1.1 General aspects	19	11
1.2 Necesity and justification of subject	19	11
1.3 Research objectives	20	11
1.4 Thesis contents and structure	21	12
2. DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS AND DRIVING AND NAVIGATION SIMULATORS IN VIRTUAL ENVIRONMENTS. STATE OF THE ART	23	14
2.1 General aspects	23	14
2.2 Interactions between driver, vehicle and navigation environment	25	14
2.2.1 Driver – vehicle interactions	27	-
2.2.1 Driver – navigation environment interactions	28	-
2.2.1 Vehicle – navigation environment interactions	28	-
2.3 Generalities about driver assistance systems	29	-
2.4 Evolution of driver assistance systems	30	-
2.5 Characteristics of driver assistance systems	30	15
2.6 General architecture of advanced driver assistance systems	31	15
2.7 Driver – vehicle interfaces	32	-
2.8 Description and classification of ADAS	33	16
2.8.1 Information assistance subsystems	34	-
2.8.2 Warning assistance subsystems	34	-
2.8.3 Partial control assistance subsystems	34	-
2.8.4 Automatic control assistance subsystems	35	-
2.9 Functions and types of assistance systems	35	16
2.9.1 Vehicle side control assistance systems	36	-
2.9.2 Vehicle longitudinal control assistance systems	37	-
2.9.3 Assistance systems to ensure vehicle stability	39	-
2.9.4 Parking assistance systems	41	-
2.9.5 Visibility enhancement assistance systems	41	-
2.9.6 Driver monitoring assistance systems	42	17
2.10 Diver assistance systems for smart phones	43	17
2.11 Driving and navigation simulators in virtual environment	44	18
2.11.1 Functions and types of driving simulators	44	18
2.11.2 Structure and operation of driving simulators	46	-
2.12 Conclusions	47	19
3. DRIVER LIMITS OF RELEVANT PHYSIOLOGICAL AND VISUAL PARAMETERS	49	21

3.1 General aspects 49 21
3.2 Symptomatic affections and physiological states for driving ability 50 21
3.2.1 Affecions with implications in driving ability 50 21
3.2.2 Identification of symptomatic physiological states for driving ability 51 21
3.3 Driver's relevant physiological parameters 52 22
3.3.1 Heart rate 53 -
3.3.2 Temperature 53 -
3.3.3 Respiration rate 54 -
3.3.4 Blood pressure 54 -
3.3.5 Blood oxygen concentration 55 -
3.4 Measurement of physiological parameters during the driving process 55 23
3.4.1 General aspects 55 23
3.4.2 Heart rate measurement 56 -
3.4.2.1 Integrated measuring systems at driving cockpit 56 -
3.4.2.2 Portable measuring systems 58 24
3.4.3 Temperature measurement 59 -
3.4.4 Respiration rate measurement 60 -
3.4.5 Blood oxygen concentration measurement 60 -
3.5 Relevant visual parameters 61 24
3.5.1 Generalities about human optical system 61 -
3.5.2 Parameters of the driver's relevant visual perception 62 25
3.5.2.1 The limit parameters of the field of vision 62 25
3.5.2.2 The limit parameters of visual distraction 63 26
3.6 Conclusions 64 26
4. DESCRIPTION, ANALYSIS AND MONITORING OF RELEVANT VISUAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS 65 27
4.1 General aspects of describing and analyzing video images 65 27
4.1.1 Video recognition, head position estimation and orientation 66 27
4.1.2 Precision performance in detection and estimation of gaze direction 67 -
4.1.3 Templates and matching images 68 28
4.2 Model and algorithm for recognizing, locating and tracking head and eye movements 69 28
4.2.1 Geometric model for head and eye movements descriptions 69 28
4.2.2 General algorithm for eye movements recognition and localization 73 29
4.3 Description and analysis of relevant physiological parameters 74 30
4.3.1 Principles of physiological parameters measurement 74 30
4.3.2 Signals forms associated with physiological parameters 75 31
4.3.3 Signal processing algorithms associated with physiological parameters 76 31

4.4 Monitoring the driving process 77 32
4.4.1 General aspects 77 32
4.4.2 Description of monitoring driving process 78 32
4.4.3 Software monitoring of automotive driving processes 79 33
4.5 Conclusions 79 33
5. DRIVER ASSISTANCE SYSTEM FOR PHYSIOLOGICAL AND VISUAL STATES AT THE LIMIT 81 34
5.1 Arhitecture of *DriverLife* assistance system 81 34
5.2 Hardware structure of *DriverLife* assistance system 82 35
5.2.1 Block diagram of the hardware structure 82 35
5.2.2 Sensorial subsystem of *DriverLife* system 83 35
5.2.2.1 Sensors integration for relevant physiological parameters measurement 83 35
5.2.2.2 The integrated CMOS sensor in smart phone 84 36
5.3 Software packages used in *DriverLife* 85 37
5.3.1 Android Studio development environment 85 37
5.3.2 Application development in Android system 86 37
5.3.3 Applications development using OpenCV library 88 37
5.4 Conceiving, designing and implementing the face and eye detection application (Aplicația_video) 88 37
5.4.1 Face detection with Haar classifier 89 38
5.4.2 Training and calibration of the video detection application 91 39
5.4.3 Tracking and trigger alarm subsystem 92 40
5.5 Conceiving, designing and implementing the relevant physiological parameters monitoring application (Aplicația_fizio) 93 41
5.5.1 Designing the physiological parameters monitoring application 94 41
5.5.2 Choosing smart phone – sensors connection 96 42
5.5.3 Initializing Aplicația_fizio application 97 43
5.5.4 Monitoring module 98 43
5.5.5 Sampling and calibrating alarms for Aplicația_fizio application 98 44
5.6 Designing the integration of the monitoring application 100 45
5.7 Conclusions 102 46
6. EXPERIMENTAL STUDIES 103 47
6.1 Experimental studies in virtual environments 103 47
6.1.1 The structure of the experimental system 103 47
6.1.1.1 Structure and operation of the subsistems 103 47
6.1.1.2 Hardware – software instruments 104 -
6.1.1.2.1 Driving simulator 104 -
6.1.1.2.2 Gaze tracking device 105 -
6.1.1.2.3 Video cameras 105 -
6.1.2 Description and planning of experiments 106 48
6.1.3 Calibration of subsystems and data acquisition 107 49

6.1.3.1 Gaze tracking device calibration ... 107 49
6.1.3.2 Data acquisition from gaze tracking device ... 109 49
6.1.3.3 Images acquisition from the video cameras ... 110 50
6.1.3.4 Data acquisition from the driving simulator ... 110 51
6.1.4 Statistical data processing ... 111 -
6.1.5 Results analysis and evaluation ... 112 51
6.1.5.1 Relevant driving characteristics ... 112 51
6.1.5.2 Sight distraction characteristics ... 113 52
6.1.5.2.1 Frequency of sight distraction ... 113 52
6.1.5.2.2 Duration periods of sight distraction ... 114 53
6.1.5.3 *DriverLife* system efficiency features ... 115 54
6.1.6 Comments on experiments results in the virtual environment ... 116 54
6.2 Experimental studies in real environment ... 117 55
6.2.1 Installing *DriverLife* system in the cockpit ... 117 55
6.2.2 Calibration and testing of the *DriverLife* system ... 117 56
6.2.3 Eye monitoring tests ... 120 57
6.2.4 Physiological parameters monitoring tests ... 122 58
6.2.5 Comments on experiments results in the real environment ... 123 59
6.3 Conclusions ... 123 59
7. FINAL CONCLUSIONS, ORIGINAL CONTRIBUTIONS, RESULTS VALORIFICATION AND NEW RESEARCH DIRECTIONS ... 125 60
7.1 Final conclusions ... 125 60
7.2 Original contributions ... 126 61
7.3 Research results ... 127 62
7.3.1 Published pappers ... 127 62
7.3.2 Conference participations ... 128 62
7.3.3 Participation in research and development contracts ... 128 63
7.4 Future research directions ... 128 63
REFERENCES ... 131 64
ANNEXES ... 143 -
Annex 1. Tobii SDK data aggregation application ... 143 -
Annex 2. *DriverLife* system evaluation questionnaire ... 146 -
Annex 3. Application for OpenCV template matching analysis ... 149 -
Annex 4. *DriverLife* application (OpenCV section) ... 151 -
ABSTRACT (romanian/english) 169 68
CV (romanian) 170 69
CV (english) 171 70

1. INTRODUCERE

1.1 ASPECTE GENERALE

Siguranța rutieră, ca importantă și bine cunoscută problemă, implică și în prezent reale preocupări de cercetare. Deși, numărul de autovehicule este într-o continuă creștere, bătălia cea mare se duce pentru micșorarea numărului de accidente și dezvoltarea de autovehicule din ce în ce mai sigure. Aceste preocupări sunt atât de vitale încât multe organizații guvernamentale din țările dezvoltate au emis o serie de cerințe incluse în regulamente referitoare la siguranța rutieră. În ultimele decenii, un număr mare de proiecte și studii au fost efectuate în domeniul siguranței rutiere și a transportului inteligent.

Pentru prevenirea situațiilor primejdioase, au început să se dezvolte sisteme de asistență pentru conducătorii auto din ce în ce mai performante. Aceste tehnologii asigură asistență în timpul procesului de conducere, monitorizează ceea ce se întâmplă la postul de conducere și avertizează conducătorul auto să evite pe cât posibil erorile de navigare. Aceste sisteme au la bază, hardware și software specializate, de înaltă performanţă, fiind, cu precădere, disponibile doar pentru automobilele premium, având încă costuri destul de ridicate. Ca o alternativă pentru aceste sisteme, integrate la postul de conducere, au început să apară și sisteme de asistență implementate pe telefonul inteligent, mult mai flexibile, la prețuri mult reduse.

1.2 NECESITATEA ȘI JUSTIFICAREA TEMEI

Necesitatea dezvoltării studiilor în cadrul acestei teze de doctorat provine din nevoia actuală de a introduce și fundamenta un nou concept de asistență a conducătorului auto implementabil pe dispozitive mobile (telefoane inteligente sau tablete), care spre deosebire de cele clasice, implementate la nivel de autovehicul, sunt caracterizate de flexibilitate mărită privitor la adaptările legate de diversitățile fiziologice și comportamentale ale conducătorului auto, dar și la cele legate de scenele de navigare. Astfel, sistemele de asistență se pot autocalibra, inițial dar și pe parcurs, în funcție, pe de-o parte, de caracteristicile fiziologice și comportamentale ale utilizatorului (conducătorul auto) și/sau pe de altă parte, de caracteristicile mediului de navigare (rutier, pietonal, industrial etc.).

Prin dezvoltarea de sisteme de asistență portabile cu posibilitatea de personalizare individuală se pot îmbunătăți condițiile de muncă ale conducătorilor auto profesioniști, atât în cazul autovehiculelor de transport rutier de mărfuri, cât și pentru transportul intern (de ex. în medii industriale de producție), urmărind și optimizarea ergonomiei postului de conducere.

În prezent, utilizarea sistemelor de asistență implementate pe dispozitive mobile (telefonul inteligent sau tabletă) este în faza incipientă de investigare, deoarece există probleme ce încă nu sunt soluționate total, precum: influența asupra performanțelor de conducere, valorile critice ale parametrilor fiziologici, limitele câmpului vizual, analiza frecvenței distragerii privirii, gradul de oboseală sau somnolență etc. Astfel, s-a considerat oportun realizarea de cercetări privind conceperea de sisteme de asistență, cu precădere, bazate pe monitorizarea parametrilor fiziologici și vizuali la limită ai conducătorului auto în timpul procesului de conducere.

1.3 OBIECTIVELE CERCETĂRII

Obiectivul principal al tezei de doctorat este studiul, concepția, dezvoltarea, implementarea și testarea unui sistem portabil de asistență a conducătorului auto implementabil pe dispozitive mobile (telefoanele inteligente sau tablete), bazat pe urmărirea capacităților fiziologice și vizuale relevante la limită, cu aplicabilitate în domeniul conducerii autovehiculelor în diverse medii de navigare.

Obiective specifice:

- analiza bibliografică exhaustivă asupra cercetărilor teoretice și experimentale în domeniul sistemelor de asistență a conducătorului auto, precum și în domeniul medical privind limitele parametrilor fiziologici relevanți în timpul procesului de conducere;
- concepția, modelarea, proiectarea și dezvoltarea unui subsistem de urmărire a parametrilor fiziologici relevanți;
- concepția, modelarea, proiectarea, dezvoltarea și implementarea unui subsistem de detecție a feței și a ochilor;
- concepția, proiectarea, dezvoltarea și implementarea unui sistem de monitorizare a procesului de conducere auto ținând cont de valorile limită ale parametrilor fiziologici și vizuali relevanți la limită;
- implementarea fuziunii subsistemelor de detecție a feței și ochilor și de monitorizare a parametrilor fiziologici relevanți;
- teste și studii experimentale cu sistemul de asistență dezvoltat în medii virtuale;
- teste și studii experimentale în mediul real de conducere privind performanțele sistemului de asistență dezvoltat;
- modelarea și analiza statistică a rezultatelor experimentale.

1.4 STRUCTURA ȘI CONȚINUTUL TEZEI

În *Capitolul 1*, ***Introducere***, sunt prezentate aspecte generale legate de cercetarea abordată în cadrul acestui studiu. Se prezintă necesitatea și se justifică tema abordată, pornindu-se de la ideea îmbunătățirii siguranței în trafic privind dezvoltarea de noi sisteme de asistență a conducătorului auto. În continuare, este definit obiectivul principal al tezei, precum și opt obiective specifice.

În *Capitolul 2*, ***Sisteme de asistență a conducătorului auto și simulatoare de conducere și navigare auto în medii virtuale. Stadiul actual***, este realizată o trecere în revistă a tuturor interacțiunilor ce au loc între conducătorul auto, mediul de navigare și autovehicul. Este elaborată o amplă prezentare a sistemelor avansate de asistență a conducătorului auto, descriind evoluția, definițiile, arhitecturile, tipurile și clasificarea acestora. În finalul acestui capitol se tratează generalități despre conducerea și navigarea autovehiculului în mediul virtual, unde sunt prezentate structurile și funcționalitatea simulatoarelor virtuale de conducere, continuând cu rolul și clasificarea acestora. În partea de concluzii a acestui capitol se prezintă o analiză sintetică privind delimitarea problematicilor actuale, referitor la sistemele de asistență a conducătorului auto.

În *Capitolul 3*, ***Parametri fiziologici și vizuali relevanți la limită ai conducătorului auto***, se prezintă atât cei mai importanți parametri fiziologici, monitorizați în mod regulat de către specialiștii din domeniul medical: ritmul cardiac, temperatura, frecvența respirației, presiunea sângelui, și/sau concentrația oxigenului în sânge, cât și a caracteristicilor vizuale ale conducătorului auto în procesul de conducere. În plus, se realizează o clasificare a afecțiunilor și stărilor fiziologice care conduc la diminuarea performanțelor de conducere sau chiar la incapacitatea de conducere. În urma analizei cercetărilor științifice și ținând cont de unicitatea și diversitatea naturii umane, s-au sintetizat atât valorile normale, cât și cele anormale (la limită) ale parametrilor fiziologici relevanți în procesul de conducere. Totodată, s-a realizat și o analiză exhaustivă asupra cercetărilor din domeniul măsurării parametrilor fiziologici în timpul procesului de conducere auto.

Prin definirea zonelor și/sau stărilor limită ale câmpului vizual din autovehicul se pot identifica diferite stări limită ale conducătorului auto (oboseală, leșin, somnolență, pierderea cunoștinței etc.) sau, chiar, perioadele și frecvențele distragerii privirii conducătorului auto către alte zone, în afara scenei de trafic. Concluziile sintetizează principalele problematici induse de

abaterile parametrilor fiziologici relevanți și vizuali la limită asupra comportamentului conducătorului auto.

În *Capitolul 4*, ***Descrierea, analiza și monitorizarea parametrilor vizuali și fiziologici relevanți***, se prezintă o generalizare a etapelor de detecție a feței conducătorului auto prin intermediul imaginilor video și se continuă prin descrierea a trei metodologii de recunoaștere, estimare a poziției și orientare a obiectelor. Pe lângă prezentarea performanțelor de precizie ale metodelor utilizate în diverse studii, zona de interes se conturează în jurul potrivirii șabloanelor cu imaginile capturate. De asemenea, se oferă o amplă descriere și analize privind principiile de măsurare a parametrilor fiziologici prin pletismografie. Se pornește de la enumerarea sistemelor de senzori care utilizează această tehnică și se continuă până la corelația formei de undă pletismografică în comparație cu electrocardiograma corespunzătoare. În ceea ce privește monitorizarea procesului de conducere auto au fost sintetizați următorii factori: stabilirea unei proceduri de testare, planificarea experimentelor de testare, testarea aplicației pe mai mulți utilizatori, dezvoltarea de software personalizat, folosirea de echipamente corespunzătoare, și nu în ultimul rând, interpretarea și analiza rezultatelor.

În *Capitolul 5*, ***Sistem de asistență a conducătorului auto pentru stări fiziologice și vizuale la limită***, este prezentată conceperea, proiectarea și implementarea sistemului de asistență *DriverLife*. Aplicația integrează modulul de urmărire a feței, respectiv ochilor, cu modulul de monitorizare a parametrilor fiziologici relevanți. Datele colectate de la senzorii dispozitivului de monitorizare a parametrilor fiziologici relevanți se vor trimite telefonului inteligent prin intermediul unei conexiuni Bluetooth. În același timp, imaginea feței și regiunea ochilor conducătorului auto vor fi capturate de camera frontală a telefonului inteligent. În urma corelării datelor obținute de la cele două module, în cazul sesizării depășirii valorilor limită definite anterior în cap. 3, se vor genera alerte audio pentru avertizarea conducătorului auto. Aplicația completă este instalată în telefonul mobil ce se va poziționa, cu ajutorul unui suport auto, în fața conducătorului auto pentru asigurarea unei bune vizibilități a regiunii feței, implicit a ochilor, dar fără a bloca vizibilitatea mediului de navigare.

În *Capitolul 6*, ***Studii experimentale***, sunt prezentate experimentele efectuate cu sistemul de asistență *DriverLife*, în corespondență cu cercetările teoretice prezentate în capitolele anterioare. Experimentele au fost efectuate în două etape: mai întâi în mediul virtual, iar ulterior, în mediul real. În cadrul experimentelor din mediul virtual, au fost definite de la început schema sistemului de testare, planificarea testelor, procedura de testare, metodele de calibrare și achiziție a datelor, și metoda de analiză statistică a datelor. Inițial, au fost analizate și evaluate următoarele variabile dependente: caracteristicile de conducere, caracteristicile percepției vizuale, duratele perioadelor de distragere a privirii și caracteristicile legate de eficiența sistemului *DiverLife*. Această parte a studiului a avut scopul principal de a investiga modul în care aplicația *DriverLife*, bazată pe telefonul mobil inteligent, influențează comportamentul conducătorului auto în momentul în care acesta are privirea distrasă de diverse sarcini de pe rețelele de socializare.

Pentru realizarea experimentelor în mediul real s-au realizat teste de calibrare, prin care s-au ajustat următorii parametri: dimensiunea feței relevante în raport cu dimensiunea totală a imaginii; distanța dintre ochii conducătorului auto și camera video a telefonului; poziția ochilor relativ la fața observată; rata de eroare de detecție a feței în timpul funcționării aplicației în diferite condiții de luminozitate dependente de vreme și mediul exterior. În concluziile acestui capitol sunt sintetizate performanțele sistemului *DriverLife*, precum și limitările care au fost observate pe parcursul experimentelor.

În *Capitolul 7*, ***Concluzii finale, contribuții originale, valorificarea rezultatelor și noi direcții de cercetare***, sunt prezentate concluziile finale, contribuțiile proprii, diseminarea rezultatelor științifice obținute în urma studiului (lista de lucrări publicate, participarea la conferințe științifice și implicarea în cadrul contractelor de cercetare), precum și viitoarele direcții de cercetare.

2. SISTEME DE ASISTENȚĂ A CONDUCĂTORULUI AUTO ȘI SIMULATOARE DE CONDUCERE ŞI NAVIGARE AUTO ÎN MEDII VIRTUALE. STADIUL ACTUAL

2.1 ASPECTE GENERALE

Un important domeniu de aplicare al tehnologiilor de automatizare și informatizare centrat pe automobile, și care a evoluat exploziv în ultimii 25 de ani, poartă numele de *autovehicule inteligente*. Automobilul a fost unul dintre cele mai importante produse ale secolului XX. Acesta a generat, pe de o parte, o întreagă industrie, iar, pe de altă parte, a fost un factor cheie în dezvoltarea modului în care este structurată societatea urbană.

Un autovehicul inteligent este definit ca un vehicul îmbunătățit cu percepție, raționament și dispozitive de acționare care permit automatizarea parțială, uneori totală, a activităților de conducere. Această provocare a dus la dezvoltarea unui domeniu nou de cercetare cu scopul final de automatizare și informatizare a sarcinilor tipice efectuate de către conducătorii de autovehicule [Broggi, 2016].

Inițiativele actuale de cercetare sunt orientate, cu precădere, spre dezvoltarea autovehiculelor inteligente pentru navigarea cu autonomie. Cu toate acestea, datorită, în principal a problemelor de natură legală, autonomia deplină nu a fost încă atinsă, iar industria auto a decis ca obiectiv principal, în primă fază, echiparea autovehiculelor cu sisteme de supraveghere, denumite, *sisteme avansate de asistență a conducătorului auto* (ADAS - Advanced Driver-Assistance Systems).

2.2 INTERACȚIUNI DINTRE CONDUCĂTORUL AUTO, AUTOVEHICUL ȘI MEDIUL DE NAVIGARE

Siguranța în procesul de conducere a unui autovehicul este influențată de mai mulți factori, dintre care cei mai importanți sunt legați de conducătorul auto, de autovehicul și nu în ultimul

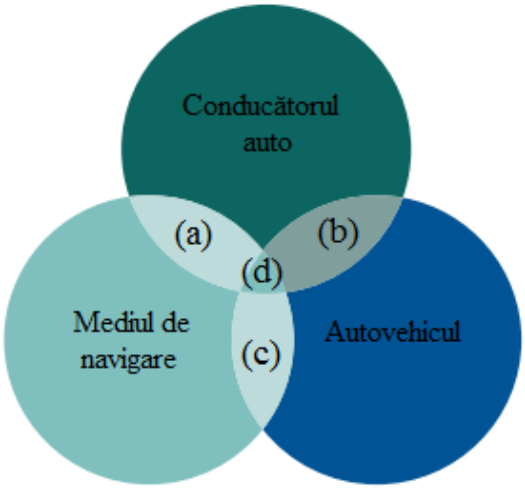


Fig. 0.1 *Interferențele factorilor de influență a interacțiunilor în procesul de conducere*

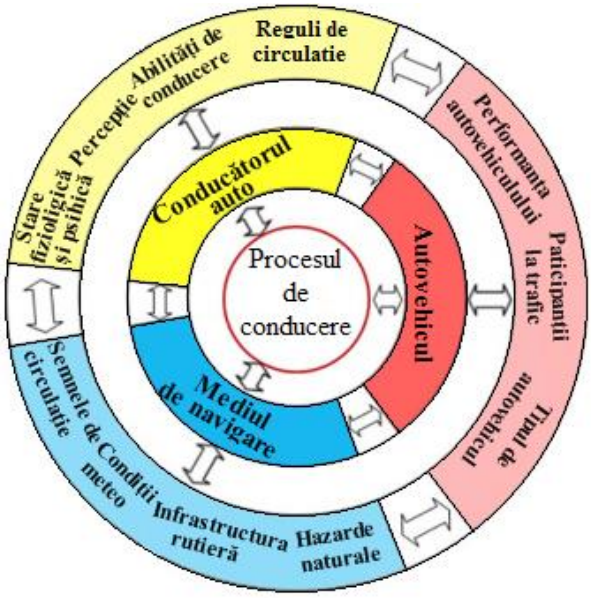


Fig. 0.2 *Factori de influență a interacțiunilor în procesul de conducere*

rând, de mediul de navigare.

Interferențele interacțiunilor în contextul de conducere a unui autovehicul, accentuează influența și suprapunerea factorilor legați de conducătorul auto, mediul de navigare și autovehicul (fig. 2.3 şi 2.4), din punctul de vedere al siguranței și al prevenirii accidentelor. Factorii interacțiunilor contextului de conducere pot fi sintetizați în următoarele grupe (zonele de intersecție (a), (b), (c), (d) din fig. 2.3) [Coughlin, 2011]:

(a) Infrastructura de navigare prin care se poate mări lizibilitatea mediului de navigare de către conducătorul auto.
(b) Sistemele de siguranță pasivă care vizează interfața conducător auto - autovehicul.
(c) Tehnologia sistemelor de asistență pentru a sprijini modurile de conducere sigură.
(d) Sistemele inteligente de navigare reprezintă tendinţele de îmbunătățire a siguranței traficului, actual subdezvoltate, deoarece conducătorul auto nu este luat în considerare ca participant activ în majoritatea deciziilor ce implică, mai ales, mediul de navigare.

În această zonă, în viitor, se dorește dezvoltarea de autovehicule și medii de navigare care să implice cât mai puțin deciziile aleatoare ale conducătorului auto.

2.5 CARACTERISTICILE SISTEMELOR DE ASISTENȚĂ A CONDUCĂTORULUI AUTO

Pentru a asigura funcționalitate sigură și eficace, sistemele de asistență a conducătorului auto trebuie să fie robuste, adaptabile, sigure, redundante, intuitive și cât se poate de inteligente.

Robustețea, ca şi capacitate a unui sistem de a-şi conserva performanţele la modificarea parametrilor în limite admisibile este de importanță primordială pentru sistemele de asistență implementate în autovehicule. Complementaritatea senzorilor și algoritmilor pot reduce probabilitatea unor situații de eșec, dar luând în calcul toate acestea, un sistem robust trebuie să includă atât metode de evaluare deterministe cât și probabilistice.

Adaptabilitatea sistemelor de asistență actuale impune posibilitatea de personalizare pentru diverse medii de navigare (urban, rural, autostradă) și pentru diverse profiluri ale conducătorilor auto. Mediile urbane s-au dovedit a fi dificile din cauza exploziei în diversitate a scenariilor rutiere, cu precădere, în zonele aglomerate.

În cazul scenariilor de navigare, conducătorii auto se bazează pe *intuirea comportamentului* celorlalți participanți la trafic, inclusiv al pietonilor. Astfel, *competențele de raționament* care implică adesea urmărirea celorlalți participanți la trafic, nu sunt ușor de modelat și de implementat în sistemele de inteligență artificială. Potrivit cercetărilor realizate în lucrarea [Fletcher, 2003], sistemele de asistență a conducătorilor auto trebuie să fie: intuitive, cu sens imediat în contextul sarcinii de conducere, non-intrusive, să nu distragă sau perturbe atenția conducătorul auto decât dacă este necesar, și cu rol de suprascriere, prin care conducătorul auto are controlul final și poate refuza asistența.

2.6 ARHITECTURA GENERALĂ A SISTEMELOR DE ASISTENȚĂ AVANSATE

Ceea ce în ziua de azi se numește ADAS poate fi considerat ca un ansamblul de subsisteme care au ca țintă îmbunătățirea siguranței rutiere și a confortului conducătorului auto.

În fig. 2.6 se prezintă schema principială a ADAS-urilor. Aceste sisteme conțin dispozitive electronice și informatice care au rolul de a ajuta conducătorii auto în efectuarea diverselor sarcini de conducere. Datele referitoare la comportamentul autovehiculului, conducătorului auto și mediului de navigare sunt colectate prin intermediul semnalelor/datelor primite de la senzori care în urma procesărilor și analizei vor activa funcții de asistență.

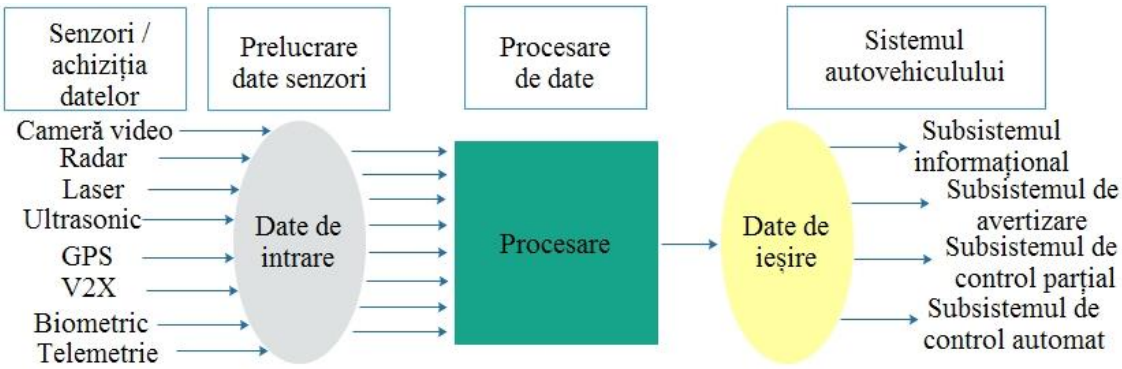


Fig. 0.3 *Schema de principiu a unui ADAS*

Sistemele de asistență a conducătorului auto reprezintă un domeniu activ de inovație care, în ultimul timp, s-a consacrat prin implementarea de numeroase funcții în variantele standard comerciale.

2.8 DESCRIEREA ȘI CLASIFICAREA ADAS-URILOR

ADAS-urile pot fi clasificate şi în funcție de nivelul de interacțiune cu conducătorul auto sau de intervenție asupra procesului de conducere.

Spre deosebire de sistemele de asistență de control automat, care sunt caracterizate de feedback-uri de corecție la nivelul subsistemelor autovehiculului, sistemele de asistență de control parțial realizează corecțiile ca urmare a deciziei conducătorului auto, după informări și/sau avertizări prealabile. De exemplu, unele sisteme se activează automat, precum controlul electronic al tracțiunii (ETC - Electronic Traction Control), iar altele furnizează doar informații sau avertizări pentru conducătorii auto. La o extremă sunt funcțiile de control automat, legate de dinamica autovehiculului, care nu sunt transparente pentru conducătorul auto (de exemplu, conducerea unui autovehicul cu transmisie automată). La cealaltă extremă sunt sistemele de informare, care oferă informații utile conducătorului auto care conduc la sporirea gradului de conștientizare asupra diverselor situații care ar putea apărea în timpul procesului de conducere.

Aceste sisteme pot avertiza sau informa conducătorul auto cu privire la acțiuni ce țin de corectarea unor devieri, sau chiar de preluare parțială a controlului autovehiculului. De exemplu, sistemul de avertizare la schimbarea benzii de circulație informează conducătorul auto cu privire la o situație de schimbare de bandă neobservată.

2.9 FUNCȚIILE ȘI TIPURILE SISTEMELOR DE ASISTENȚĂ

Există o serie de motive pentru care, în ultimii ani, sistemele electronice și informatice de asistență a conducătorului auto sunt dezvoltate și implementate cu rate și viteze mărite. Motivul

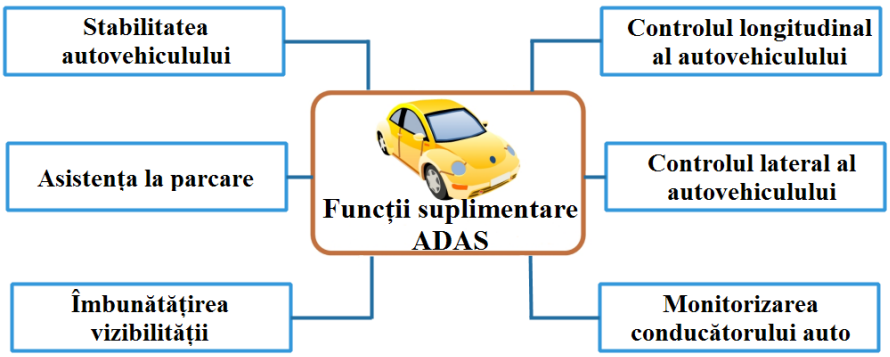


Fig. 0.4 *Funcții suplimentare ale ADAS-urilor*

principal îl constituie siguranța rutieră, deoarece numărul accidentelor este într-o continuă creștere. Un alt factor convingător, care contribuie în dezvoltarea acestor sisteme, îl reprezintă și creșterea nivelului de confort al conducătorului auto în cadrul postului de conducere. Nu în ultimul rând, argumentele privind mediul înconjurător, material și informațional, joacă un rol de o importanță la fel de mare precum cele menționate mai sus [Brookhuis, 2001].

Suplimentar, față de funcția principală a sistemelor de asistență a conducătorului auto, aceste sisteme pot avea și funcții suplimentare care aduc plusuri semnificative în vederea optimizării procesului de conducere prin controlul unuia sau mai multor parametrii de navigare a autovehiculului. În fig. 2.8 sunt ilustrate funcții suplimentare asigurate de sistemele ADAS.

2.9.6 SISTEME DE MONITORIZARE A CONDUCĂTORULUI AUTO

Sistemele de monitorizare a conducătorului auto (fig. 2.13) urmăresc identificarea și evaluarea comportărilor conducătorului privind stările de neatenție și de oboseală anormale care se manifestă ca urmare a stărilor de stres, de amețeală, de pierdere a cunoștinței, de somnolență etc., precum și ca urmare a atingerii limitelor câmpului vizual, de distragere a privirii, frecvenței clipirilor, stările fiziologice legate de ritmul cardiac, temperatura corpului, oxigenului din sânge etc. Situațiile în care vigilența conducătorului auto este slăbită și sarcina de conducere nu poate fi menținută la un nivel acceptabil de performanță conduc la *deficiențe în procesul de conducere* [Dumitru, 2014a].

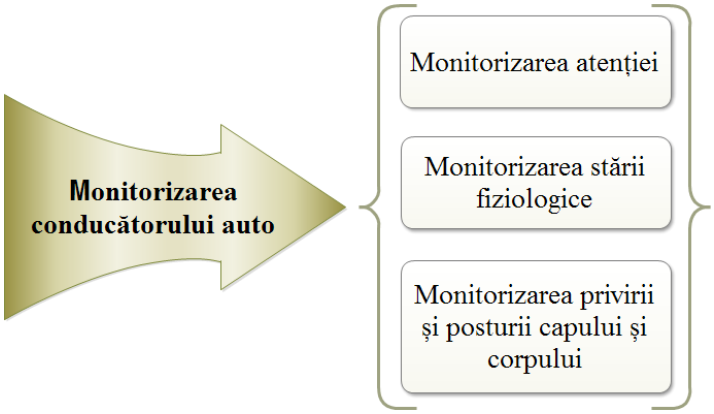


Fig. 0.5 *Funcții de monitorizare a conducătorului auto*

A. Monitorizarea atenției. Sistemul de monitorizare a atenției conducătorului auto utilizează senzori care oferă informații despre poziția la volan, orientarea privirii sau comportamentul de conducere.

B. Monitorizarea stării fiziologice. Funcțiile legate de starea fiziologică încorporate în sistemele de asistență ale autovehiculelor sunt concepute pentru a evidenția situațiile în care conducătorul auto devine inapt temporar din diverse cauze: amețeală, stări de rău, pierderea cunoștinței, crize diabetice sau de epilepsie, stop-cardiac etc.

C. Monitorizarea privirii, posturii capului și corpului. Prin integrarea acestor funcții sunt furnizate informații importante despre nivelul de atenție a conducătorului auto în timpul procesului de conducere. Prin urmărirea numărului și duratei clipirilor se pot evidenția situațiile de conducere în stare de somnolență (DD – Drowsy Driving) sau de conducere a în stare de neatenție (ID - Inattentive Driving).

2.10 SISTEME DE ASISTENȚĂ PENTRU TELEFOANE INTELIGENTE

În general, sistemele de asistență a conducătorului auto pot fi, cu precădere, hardware și soft, integrate în autovehicule de către producători sau ca aplicații software pentru telefoanele inteligente ce se pot instala din magazinele online Google Play [www6] pentru utilizatorii sistemului de operare Android, sau Apple App Store [www7] pentru cei ce folosesc iOS. Cele mai de interes aplicații implementate pe telefoanele mobile sunt prezentate în tab. 2.3 [Smirnov, 2015].

Tab. 0.1 *Aplicații de asistență a conducătorului auto pentru telefoanele inteligente*

Aplicația	Sistemul de operare		Funcția îndeplinită								
	iOS	Android	LDW	FCW	LCA	LW	HMW	DD	ID	TSR	PCW
DriveSafe	+		+		+			+		+	+
iOnRoad	+	+	+	+	+	+	+				
AXA Driver AS	+	+	+		+		+				
MOVON FCW		+	+		+						
WalkSafe		+	+	+	+	+					
Augmented Driving	+		+	+				+	+		
LdwscHUD		+	+	+	+						
CarSafe			+	+	+	+	+				

Deși sunt recunoscute beneficiile sistemelor de asistență a conducătorului auto bazate pe telefoanele inteligente pentru îmbunătățirea performanțelor de conducere și creșterea siguranței, există puține studii recente care investighează teoretic și experimental aceste sisteme. Astfel, s-au dezvoltat aplicații de asistență pentru telefoane mobile care pot estima comportamentul conducătorului auto [Eren, 2012] și/sau gradul de oboseală al acestuia prin monitorizarea caracteristicilor privirii, în special, prin analizarea frecvenței clipirilor [Li, 2016; Qiao, 2016]. Prin utilizarea unui telefon inteligent cu două camere video pot fi monitorizate atât privirea conducătorului auto, cât și obstacolele în mișcare situate în fața autovehiculului [Xiao, 2016; Duguleană, 2015a]. Sistemele de asistență implementate pe telefoane inteligente pot fi folosite pentru a detecta distragerile privirii conducătorilor auto în timp comunică cu acestea, de exemplu ce își fac fotografii *selfie* [Girbacia, 2016]. Aplicațiile de asistență pentru telefoanele inteligente pot fi foarte utile și pentru instruirea conducătorilor auto pentru dezvoltarea unui stil de conducere preventiv, în special, pentru tinerii conducători auto [Musicant, 2016; Dumitru, 2018].

2.11 SIMULATOARE DE CONDUCERE ȘI NAVIGARE AUTO ÎN MEDII VIRTUALE

Simularea procesului de conducere în medii virtuale a fost dezvoltată, inițial, pentru a diminua costurile studiilor experimentale care implică o mai mare acuratețe asupra circumstanțelor și măsurătorilor în mediile reale, precum și, mai ales, pentru timpii și costurile mult reduse. Simulatorul de conducere reprezintă un mediu experimental controlat pentru studierea efectelor informațiilor despre procesul de conducere, comportamentul conducătorului auto, dar și pentru studiul modelelor dinamice ale autovehiculelor și geometrico-fizice ale infrastructurii rutiere.

2.11.1 FUNCȚIILE ȘI TIPURILE SIMULATOARELOR DE CONDUCERE AUTO

Simulatoarele de conducere se diferențiază, în general, prin caracteristicile componentelor utilizate care definesc fidelitatea acestuia, ca nivel de acuratețe prin care acestea pot reproduce în mediul virtual procesul de conducere din mediul real.

Pentru alegerea unui simulator de conducere este important să se ia în considerare relația cost-performanțe în funcție de scopul utilizării, precum și de nivelul de detalii pentru reprezentarea mediului real (fig. 2.15) [Smith, 2008]. Simulatoarele de conducere auto dezvoltate pentru diferite utilizări sunt grupate după cum urmează:

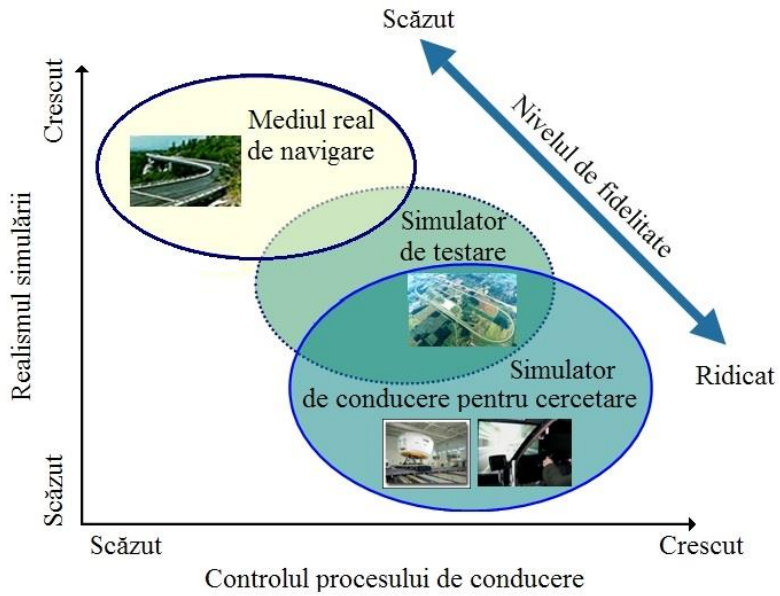


Fig. 0.6 *Alegerea simulatoarelor de conducere auto [Smith, 2008]*

A. Simulatoare de conducere auto pentru cercetări ştiinţifice. Simulatoarele de conducere folosite în cercetare sunt orientate, în principal, pentru analiza comportamentului conducătorului auto în diverse scenarii de conducere. Aici se pot include situațiile de pericol care pot apărea în urma nerespectării regulilor de circulație, dar și alți factori specifici care ar putea afecta comportamentul conducătorului auto, precum: utilizarea telefoanelor mobile (apeluri, mesaje, aplicații etc.), utilizarea substanțelor psihoactive, conducerea sub influența alcoolului etc. Tot cu ajutorul simulatoarelor de conducere, în ultima perioadă de timp, au început să se dezvolte cercetări de evaluare a performanțelor sistemelor de asistență a conducătorului auto [Duguleană, 2015b]; [Dumitru, 2018].

În consecință, simulatoarele de conducere utilizate în cercetare au un nivel ridicat de fidelitate deoarece natura experimentelor este întotdeauna dinamică, iar performanțele rezultatelor așteptate trebuie să fie cât mai aproape de realitate.

B. Simulatoare de conducere auto pentru testare la producător. Producătorii de automobile folosesc simulatoarele de conducere pentru a testa sistemele dezvoltate și implementate pe autovehicule, dar și pentru a analiza modul în care aceste sisteme ar putea influența procesul de conducere auto [Gomez, 2018].

C. Simulatoare de conducere auto pentru divertisment. Există numeroase simulatoare de conducere în industria divertismentului, acestea fiind de cele mai multe ori cu nivel de fidelitate inferior. Beneficiul simulatoarelor cu nivel de fidelitate inferior nu trebuie subestimat, deoarece dezvoltările tehnice ulterioare, susținute de industriile de divertisment, vor asigura progresul continuu către sisteme cu fidelitate mărită [Parkes, 2004].

D. Simulatoare de conducere auto pentru instruire. Cercetările au arătat că simulatoarele de conducere pentru instruire s-au dovedit a fi eficiente pentru dezvoltarea abilităților de conducere, în condiții de siguranță, a viitorilor conducători auto. Acestea sunt caracterizate și de eficiența economică, aspect destul de important, deoarece învățarea conducerii auto în mediul real este una mult mai costisitoare. Un alt avantaj îl constituie reducerea riscului de accidente [Slob, 2008].

2.12 CONCLUZII

Sistemele de asistență a conducătorului auto au drept scop final ajutarea acestuia pentru îndeplinirea sarcinii principale, cea de conducere sigură a autovehiculului, precum și a unor sarcini secundare care împreună îndeplinite conduc la sporirea siguranței, confortului și eficienței de rulare în diverse condiții de trafic.

Sistemele de asistență pot fi clasificate în funcție de nivelul de intervenție a conducătorului auto, de autovehicul și implicit, de mediul de navigare. Sistemele de asistență de informare și de avertizare lasă sarcinile de control a autovehiculului în grija conducătorului auto, iar cele cu controlul parțial automat sau chiar automat au un rol activ, deseori, independent de conducătorul auto, în controlarea diverselor situaţii de navigare a autovehiculului. Nivelurile de intervenție necesită sisteme de detectare și acționare robuste, fiabile și precise, precum și un grad ridicat de inteligență în luarea deciziilor.

Prin prezentarea celor două grupe de sisteme de asistență disponibile pe piață, au fost puse în valoare atât soluțiile integrate în autovehicule cât şi aplicațiile pentru telefoanele mobile inteligente cu diverse capabilităţi de detectare și alertare a situaţiilor anormale, deseori periculoase, care pot apărea aleatoriu în procesul de conducere.

Concepţia, proiectarea sistemelor de asistență trebuie să aibă o abordare centrată pe factorul uman, prin care să se pună în valoare capacitățile de percepție-reacție ale conducătorului auto în timpul procesului de conducere. Totodată trebuie să se ia în considerare și diferitele principii ale interacțiunii conducător auto, autovehicul și mediul de navigare.

Dezvoltarea de sisteme ADAS personalizate, ce au ca țintă adaptabilitatea la trăsăturile individuale ale conducătorului auto sunt mult mai dificil de dezvoltat. Principiul fundamental în dezvoltarea unor astfel de sisteme trebuie să țină cont de variabilitatea raportului percepție-reacție al conducătorului auto, precum și de comportamentul de conducere al acestuia. De exemplu, stările umane limită de oboseală, somnolență, stări fiziologice sau distragere a privirii, îngreunează și mai mult proiectarea sistemelor de siguranță. Astfel, pierderea controlului autovehiculului, care în majoritatea cazurilor rezultă accidente grave, este asociată și cu unele dintre aceste situații.

Viitorul simulatoarelor de conducere şi navigare auto în medii virtuale este, în general, determinat de o combinație de îmbunătățiri între sistemele de simulare și capacitățile de calcul, împreună cu o mai bună integrare a modului în care conducătorul auto interacționează cu autovehiculul şi totodată cu mediul de navigare.

Simulatoarele de conducere auto actuale se pot extinde prin dezvoltări software pentru diverse scenarii de conducere și de măsurare a performanțelor conducătorilor auto, pentru mărirea varietăţii programelor de instruire precum și a aplicațiilor de evaluare. Astfel, pentru dezvoltarea de noi aplicații, se dezvoltă noi interfețe cu utilizatorul, fapt care asigură o utilizare mai ușoară a simulatorului de conducere auto.

Pentru diminuarea dezavantajului simulatoarelor auto de conducere privind reprezentarea situațiilor rutiere reale complexe, acestea s-au dezvoltat prin integrarea de modele complexe implementate pe sisteme de calcul performante. Astfel, validitatea şi fiabilitatea acestor sisteme a crescut substanţial, fapt care a condus adesea la integrarea acestora ca echipamente de cercetare ştiinţifică. Centrele de cercetare și producătorii de automobile dispun de simulatoare de conducere evoluate, care pe baza avantajelor semnificative, conduc la facilităţi de proiectare, dezvoltare și testare eficientă, atât privind performanţele obţinute cât şi din punct de vedere economic.

În concluzie, în acest capitol s-au prezentat sintetic, pe de o parte, aspecte privind fundamentarea sistemelor de asistenţă a conducătorului auto luând în considerare interacțiunile dintre conducătorul auto, autovehicul și mediul de navigare, cât și, pe de altă parte, importanța utilizării simulatoarelor virtuale în proiectarea, dezvoltarea şi testarea de noi sisteme de siguranță rutieră.

3. PARAMETRI FIZIOLOGICI ȘI VIZUALI RELEVANȚI LA LIMITĂ AI CONDUCĂTORULUI AUTO

3.1 ASPECTE GENERALE

Conducătorul auto este partea cea mai importantă și mai complexă a relației om - autovehicul - mediu de navigare, iar din această privință este important să se monitorizeze și stările fiziologice ale acestuia pentru a îmbunătăți atât performanța de conducere cât și siguranța rutieră [www8].

Starea de somnolență este una din cauzele des întâlnite în producerea accidentelor rutiere și este determinată, în principal, de oboseala conducătorului auto. Aceasta se poate defini ca o perioadă de tranziție dintre trezire și adormire, care dacă nu este întreruptă, poate duce la somn [Lal, 2001]. În studiul din lucrarea [Rodriguez-Ibanez, 2011] a rezultat că 20% din numărul total de accidente au avut drept punct de plecare starea de somnolență a conducătorului auto. Conducerea cu viteze neadecvate în combinație cu timpul de reacție întârziat (consecință a somnolenței), poate fi o explicație a raportului ridicat al mortalității asociate accidentelor rutiere.

Ritmul cardiac al conducătorului auto în studiile realizate în lucrările [Apparies, 1998] și [Wildervanck, 1978] s-a dovedit a fi un parametru sensibil, ce este în strânsă legătura cu nivelul *stării de oboseală*. Măsurătorile ritmului cardiac referitoare la persoanele în mișcare (inclusiv, conducătorul auto la volan) pot fi relativ robuste și se pot obține și prin dispozitive portabile. Oboseala cauzează modificări ale ritmului cardiac, respirației, activității cardiovasculare, frecvenței clipirilor etc. [Sun, 2011]. Aceste caracteristici sugerează că monitorizarea ritmului cardiac al conducătorului auto oferă un indicator relevant privitor la starea fiziologică a acestuia [Solovey, 2014].

Moartea bruscă în timpul procesului de conducere a fost considerată în trecut o cauză relativ rară a deceselor în trafic. Studiile anterioare au indicat un procent de numai 3% a deceselor cauzate ca urmare a unui atac de cord a conducătorului auto [Copeland, 1987; Halinen, 1994]. În schimb, două studii recente [Rainio, 2007; Tervo, 2013], au arătat că aproximativ 10% din numărul de decese în trafic, au avut drept cauză atacul de cord al conducătorului auto.

3.2 AFECȚIUNI ȘI STĂRI FIZIOLOGICE SIMPTOMATICE PENTRU CAPACITATEA DE CONDUCERE AUTO

3.2.1 AFECȚIUNI CU IMPLICAȚII ASUPRA CAPACITĂȚII DE CONDUCERE AUTO

În timpul procesului de conducere a unui autovehicul, conducătorul auto este dependent de starile fiziologice dar și de influențele numeroșilor factori asociați acestui proces (fig. 3.1). Conducătorul auto se poate afla în stări fiziologice care conduc la diminuarea performanțelor de conducere sau chiar la incapacitatea de conducere [Kibayashi, 2014].

3.2.2 IDENTIFICAREA STĂRILOR FIZIOLOGICE SIMPTOMTICE PENTRU CAPACITATEA DE CONDUCERE AUTO

Conducerea unui autovehicul este un proces care necesită anumite stări fizice, cognitive, psihologice și comportamentale care împreună determină capacitatea de conducere [Marshall, 2011]. Cele mai frecvente stări fiziologice cunoscute pentru deteriorarea parțială, uneori, aproape

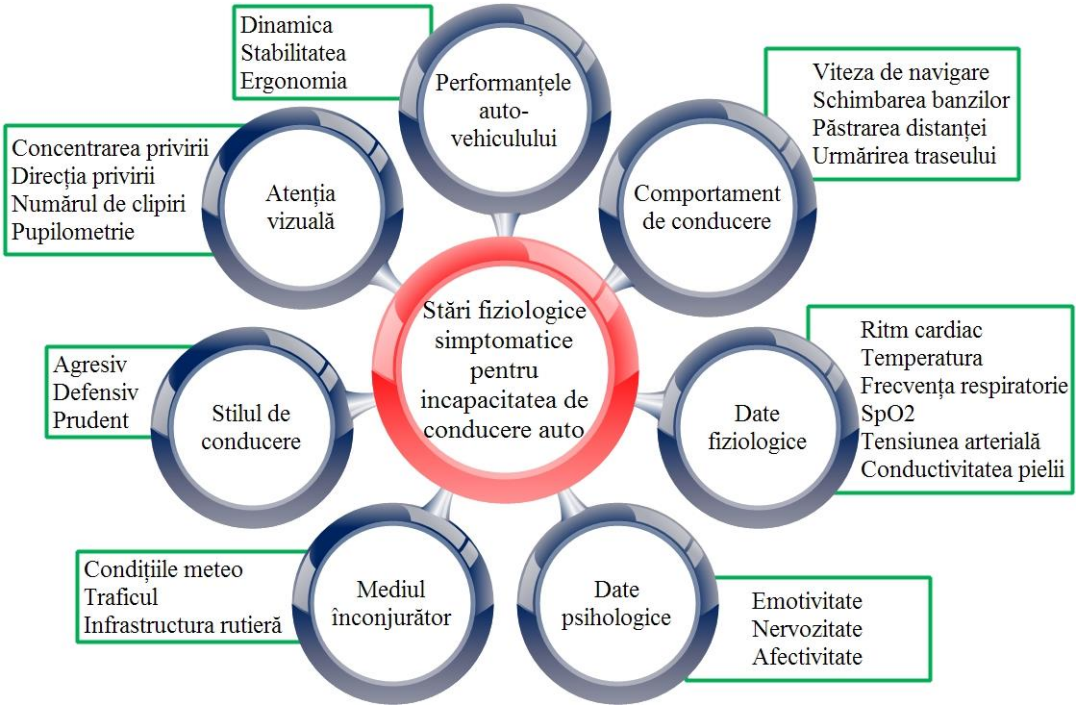


Fig. 0.1 *Interdependențele dintre stările fiziologice simptomatice pentru procesul de conducere și caracteristicile conducătorului auto și ale mediului [Coughlin, 2011]*

totală a capacității de conducere sunt: somnolența, oboseala, tulburările vizuale, pierderea cunoștinței, convulsiile, sincopele, nevrozele, amețeli, leșin etc. [Charlton, 2010; Bener, 1996; Fisher, 2011; Dobbs, 2005; McGwin, 2000; Olshansky, 2005; Sorajja, 2009].

Stările fiziologice ale conducătorului auto determină direct caracteristicile fizice și psihice ale acestuia, cu influențe privitor la nivelele de atenție, capacitatea de concentrare, de cogniție etc. Identificarea stărilor fiziologice simptomatice privind capacitatea de conducere auto, având în vedere multiplele forme de manifestare, este dificil de realizat prin măsurări directe şi, frecvent, în practica sistemelor de asistenţă a conducătorului auto, se realizează prin măsurarea unor parametri indirecţi care au influenţe relevante asupra acestor stări.

În fig. 3.1 se evidențiază că, în principal, stările fiziologice simptomatice pentru incapacitatea de conducere auto depind direct de conducătorul auto, acestea fiind influențate și de mediul înconjurător și de autovehicul. Astfel, pentru oferirea unor măsurători personalizate a stării generale a conducătorului auto, datele privind stările fiziologice şi psihice ale acestuia, pot fi combinate cu datele referitoare la caracteristicile de performanţă ale autovehiculului (ergonomia postului de conducere, sistemele de asistență și de siguranță etc.), precum și cu cele legate de mediul înconjurător (infrastructură, condiții meteo etc.).

3.3 PARAMETRI FIZIOLOGICI RELEVANȚI AI CONDUCĂTORULUI AUTO

Numeroase studii din literatura de specialitate ([Brookhuis, 2010], [Emarose, 2012], [Healey, 2000], [Lin, 2011], [Parekh, 2010], [Schneider, 2012], [Sun, 2011]) propun pentru monitorizarea stării fiziologice a conducătorului auto patru parametri fiziologici relevanți: ritmul cardiac, temperatura, frecvența respirației și presiunea sângelui. În studiile descrise în lucrările [Singh, 2013] și [Shafique, 2012] s-a demonstrat că în anumite situații, cunoscând concentraţia oxigenului în sânge se pot evidenţia deteriorări ale unor funcţii fiziologice, care în alte cazuri, ar putea trece neobservate. Pe această bază, se recomandă, ca alături de cei patru parametri tradiționali, să se ia în considerare și concentrația oxigenului în sânge.

Tab. 0.1 *Valorile parametrilor fiziologici relevanți pentru conducătorul auto*

Parametri fiziologici	Valori normale	Valori limită	Valori anormale
Ritmul cardiac	60 – 1000 bătăi/min	50 – 60 bătăi/min 90 – 100 bătăi/min	< 50 bătăi/min (bradiaritmi) > 100 bătăi/min (tahiaritmi)
Temperatura	37 ± 0,5°C	36,5 – 36°C 38,5 – 39°C	< 36°C > 39,5°C
Frecvența respirației	15 – 20 respirații/min	12 – 15 respirații/min 20 – 25 respirații/min	< 12 respirații/min > 25 respirații/min
Presiunea sângelui	PA_S: 100 – 140 mmHg PA_D: 60 – 90 mmHg	PA_S: > 160mmHg PA_D: > 100mmHg	PA_S: >180mmHg PA_D: > 110mmHg
Concentrația oxigenului în sânge	94 – 100%	< 90%	< 88%

În tab. 3.2 se prezintă parametrii fiziologici relevanți pentru conducătorul auto, cu menționarea valorilor normale, anormale și la limită, care și în prezent sunt încă nedeterminați precis. Acest fapt este cauzat în primul rând de unicitatea și, mai ales, de diversitatea naturii umane. Astfel, în urma analizei cercetărilor științifice, sunt sintetizate atât valorile normale, cât și cele anormale ale parametrilor fiziologici cu relevanță pentru procesul de conducere.

3.4 MĂSURAREA PARAMETRILOR FIZIOLOGICI ÎN TIMPUL PROCESULUI DE CONDUCERE AUTO

3.4.1 ASPECTE GENERALE

Pentru industria auto, dezvoltarea de sisteme de măsurare a parametrilor fiziologici ai conducătorului auto în timpul procesului de conducere reprezintă un subiect de interes important.

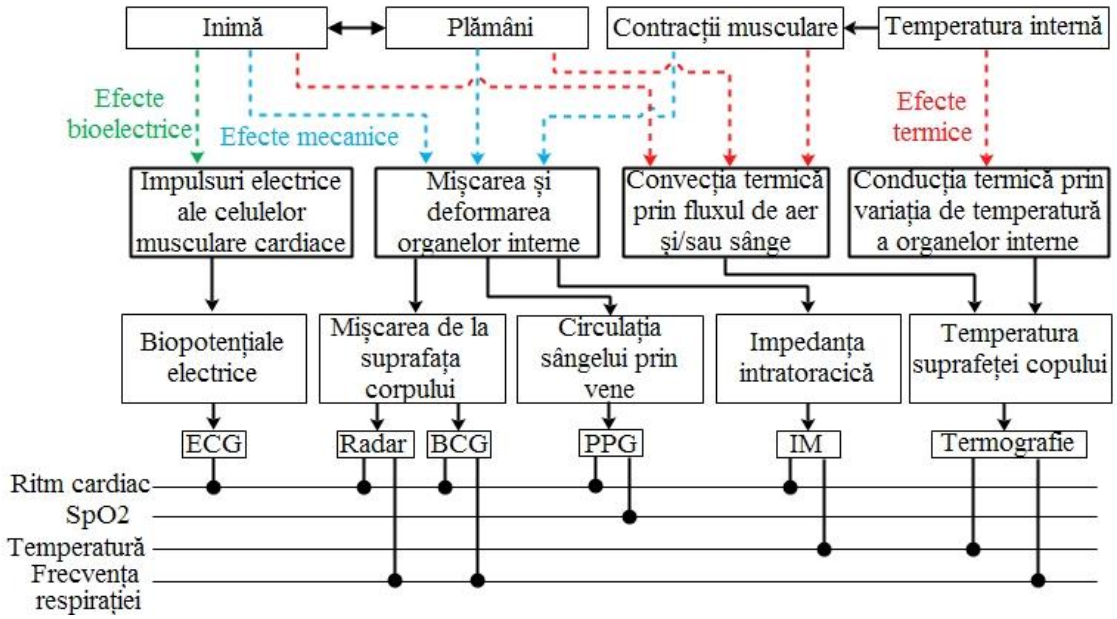


Fig. 0.2 *Schemă generală a metodelor de măsurare a parametrilor fiziologici*

Monitorizarea stării fiziologice, pentru asigurarea asistenţei conducătorului auto cu scopul evidenţierii situaţiilor de scădere a performanţelor de conducere sau chiar a incapacităţii de conducere implică concepţia şi dezvoltarea de dispozitive de măsurare a parametrilor fiziologici relevanţi, dezvoltarea de aplicaţii software de integrare a acestor dispozitive precum şi crearea unor noi interfețe om-mașină, de comunicare a informațiilor de alertare și/sau chiar de intervenție [Emarose, 2012].

Din punct de vedere practic, se dorește folosirea de metode non-invazive (fără contact) pentru măsurarea parametrilor fiziologici ai conducătorului auto. În fig. 3.2 se prezintă o schemă generală a metodelor de măsurare a parametrilor fiziologici relevanți (electrocardiogramă (ECG), balistocardiogramă (BCG), radar, IM (inducție magnetică), fotopletismografie (PPG - Photo-Plethysmography) sau termografie) în procesul de conducere ca rezultat al celor mai importante efecte ce au loc la nivelul corpului uman.

3.4.2.2 SISTEME DE MĂSURARE PORTABILE

Fig. 0.3 *Dispozitive de măsurare a parametrilor fiziologici:* ***a*** *- brățară Angel Sensor,* ***b*** *- brățară CUBOT V2,* ***c*** *- pulsoximetru Berrymed*

Sistemele portabile de monitorizare a parametrilor fiziologici pot cuprinde diferiți senzori în miniatură, ușor de purtat, sau chiar implantabili. Acești biosenzori sunt capabili să măsoare parametrii fiziologici relevanți, cum ar fi ritmul cardiac, tensiunea arterială, temperatura corpului și a pielii, saturația de oxigen, frecvența de respirație etc. [Pantelopoulos, 2010].

În fig. 3.8 se prezintă dispozitive de măsurare parametrii fiziologici (inclusiv, a ritmului cardiac) de tip brățară pentru încheietura mâinii (Angel Sensor și CUBOT V2, fig. 3.8a, b), sau de tip balama pentru deget (SpO2 Berrymed, fig.3.8c). Brățara Angel Sensor (fig. 3.8a) a fost special construită ca „dispozitiv de măsurare ușor de purtat cu adevărat deschis” [www26], proiectată în așa manieră încât datele brute să fie accesibile dezvoltatorilor, cercetărilor și/sau medicilor. Angel Sensor este o brățară ușoară și discretă care poate fi purtată 24/7. Brățara are patru senzori diferiți (de mișcare, temperatură, optic și acustic) care pot procesa mai multe valori în timp real. În aplicația dezvoltată se folosesc doi senzori, cel de temperatură și cel optic.

Pentru realizarea de studii comparative privind aspecte legate de parametrii fiziologici, în sistemul dezvoltat în această lucrare (v. cap. 5) s-a implementat și o brățară CUBOT V2 (fig. 3.8b) [www28], care spre deosebire de Angel Sensor, nu este open-source. Cu toate că aceasta dispune de mai multe funcții precum: monitorizarea somnului, GPS, notificări/mesaje pe telefonul mobil inteligent, alarme, în aplicația Driver Life s-a utilizat doar funcția de măsurare a ritmului cardiac. În plus, sistemul de măsurare CUBOT V2 nu este sensibil la poziționarea pe încheietura mâinii, conducând la date precise și atunci când brățara este purtată cu un centimetru deasupra acesteia.

3.5 PARAMETRI VIZUALI RELEVANȚI

Multe din stările fiziologice limită_ale conducătorului auto, precum: oboseala, leşinul, atacul cardiac, pierderea cunoștinței, somnolență etc., pot fi sesizate și prin monitorizarea unor parametri relevanți asociați sistemului vizual. În cadrul acestui subcapitol se vor defini parametrii vizuali relevanți pentru stările fiziologice care afectează capacitatea instantanee de conducere auto.

3.5.2 PARAMETRII PERCEPȚIEI VIZUALE RELEVANȚI AI CONDUCĂTORULUI AUTO

3.5.2.1 PARAMETRI LIMITĂ AI CÂMPULUI VIZUAL

Câmpul vizual reprezintă ansamblul punctelor din spațiu pe care ochiul le poate percepe, fiind alcătuit din vederea centrală și vederea periferică. Regiunea de aproximativ ±3°, în care informația vizuală prezintă cea mai mare acuratețe în claritate, poartă denumirea de vedere centrală (foveală, fig. 3.14). În schimb, în regiunea periferică vederea are o rezoluție scăzută comparativ cu cea din regiunea foveală și servește în principal pentru recunoașterea obiectelor tridimensionale și mișcărilor acestora.

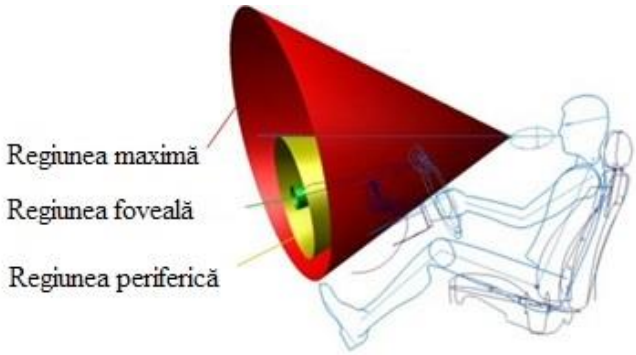


Fig. 0.4 *Regiunile limită ale câmpului vizual*

Limitele percepției în câmpul vizual se pot identifica în următoarele trei situații:

- *Conducătorul auto nu mișcă capul și nici ochii*, direcția privirii fixată pe un obiect, unde cea mai clară imagine se află în regiunea foveală, conul cel mai din interior de culoare verde, fig. 3.14, limitele acesteia fiind, aproximativ 3°. În afara zonei de vedere centrală, așa-numita zonă periferică, capacitatea de percepție a ochiului este parțial limitată, fiind afectată de cele mai multe ori de contrastul dintre lumină și întuneric, aici putând să apără evenimente pe care conducătorul auto nu le poate sesiza.

- *Conducătorul auto nu mișcă capul, dar își mișcă ochii*, conduce la câmpul maxim vizual, (conul de culoare roșie, fig. 3.14) definit de regiunea maximă care poate fi acoperită numai din mișcările oculare fără a implica rotația capului. Conul de culoare galbenă din fig. 3.14, ce are o deschidere de aproximativ 15° este considerat câmpul optim de vedere. Această zonă reprezintă aproximativ jumătate din câmpul maxim vizual de aproximativ ±35° în plan orizontal și -20° până la +40° în cel vertical. Pentru acoperirea câmpului vizual maxim, mișcările de orientare a ochilor se realizează automat în cazul în care privirea este direcționată cu viteză mărită spre un obiect.

- *Conducătorul auto mișcă atât capul cât și ochii*, câmpul de vedere se extinde mult, deoarece se însumează unghiurile de rotire ale privirii cu cele de rotire ale capului care au valori mult mărite.

Diferitele studii realizate în lucrările [Murphy-Chutorian, 2009; Zhu, 2004; Arcoverde Neto, 2014; Fernández, 2016] au evidențiat statistici prin care se prezintă o plajă destul de largă a valorilor mișcărilor capului (fig. 3.15): -60° și +70° pentru rotirea spate - față; -80° și +75° pentru răsucirea stânga - dreapta; -41° și +36 pentru rotirea laterală stânga – dreapta.

Având în vedere că informațiile legate de urmărirea vizuală a scenei de conducere auto, în ultimul timp, ținând cont de introducerea la nivelul postului de conducere a multor dispozitive auxiliare (media, telefoane mobile, tablete etc.) studiile din cadrul acestei teze de doctorat s-au concentrat asupra sistemului optic uman care în acest context este supus unor noi situații funcționale.

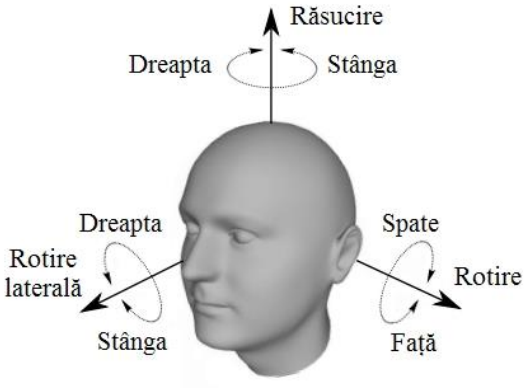


Fig. 0.5 *Mișcările capului*

3.5.2.2 PARAMETRI LIMITĂ AI DISTRAGERII PRIVIRII

Distragerea privirii conducătorului auto este o manifestare a neatenției vizuale asupra procesul de conducere și care se produce prin tranziția ochilor către o zonă țintă, de obicei, în afara scenei de trafic, prin una sau mai multe fixații a acesteia, până când ochii sunt repoziționați la scena de trafic sau către o altă zonă de interes. Distragerea privirii se poate identifica indirect printr-un număr mare de măsurători posibile legate de mișcările pupilei, capului, pleoapelor și feței.

Evaluarea proceselor de distragere a privirii se poate face bazat pe doi factori, frecvența distragerilor și durata (timpul) menținerii distragerii, care pot avea valori instantanee legate de secvențe scurte de distragere sau valori medii care se raportează la perioade lungi de timp.

Similar, cu cazul proceselor de clipire [Victor, 2008], se poate defini un factor global de distragere a privirii cuantificabil cu relația,

$$DP = \sum_i^N g_i^k \; E(\alpha), \tag{3.3}$$

unde, N reprezintă numărul total de distrageri de la scena de trafic, g_i – durata medie a distragerii i (măsurată în secunde), k - constantă prin care se reflectă ponderea unei singure distrageri, E – funcție de fixație excentrică, iar α - unghiul de vizibilitate (dintre centrul scenei de trafic și direcția zonei țintă de distragere). În studiile din literatura de specialitate [Lee, 2008], timpul mediu de distragere în procesul de conducere, nu trebuie să depășească valoarea de 750 ms.

3.6 CONCLUZII

În urma analizei datelor statistice referitoare la siguranța rutieră și la implicarea stărilor fiziologice ale conducătorilor auto, au fost identificate cel mai des întâlnite cauze în producerea accidentelor rutiere: oboseala, somnolența, distragerea atenției și afecțiunile de sănătate. Dacă se ține cont de tendința crescătoare a numărului de decese cauzate de bolile cardiovasculare la nivel mondial, precum și a afecțiunilor pe bază de stres, în viitor se preconizează o creștere semnificativă a procentului numărului de accidente rutiere.

Pe baza caracteristicilor fizice și psihice ale conducătorului auto au fost identificate stările fiziologice simptomatice privind capacitatea de conducere auto. Astfel, în funcție de starea fiziologică a conducătorului auto s-a realizat o clasificare a afecțiunilor relevante care conduc la diminuarea performanțelor sau chiar la incapacitatea de conducere.

Totodată, acest capitol răspunde obiectivelor specifice tezei privind analiza bibliografică exhaustivă asupra cercetărilor teoretice și experimentale în domeniul medical, referitor atât la limitele parametrilor vizuali, cât și a celor fiziologici relevanți (ritmul cardiac, temperatura, frecvența respirației, presiunea sângelui și concentrația oxigenului în sânge) în timpul procesului de conducere auto.

În finalul acestui capitol au fost puse în valoare cele mai relevante studii privind măsurarea parametrilor fiziologici în timpul procesului de conducere auto, atât prin utilizarea de hardware și software specializat, cât și prin evidențierea de noi metode portabile, integrate în aplicații pentru telefoanele mobile inteligente.

4. DESCRIEREA, ANALIZA ȘI MONITORIZAREA PARAMETRILOR VIZUALI ȘI FIZIOLOGICI RELEVANȚI

4.1 ASPECTE GENERALE DESPRE DESCRIEREA ȘI ANALIZA IMAGINILOR VIDEO

Informații despre poziția capului și a ochilor se pot obține prin intermediul capturii și procesării de imagini video. În fig. 4.1 se prezintă etapele principale ale metodologiei de urmărire video a privirii și capului conducătorului auto care implică procese de achiziție, prelucrare, recunoaștere, urmărire, localizare și estimare de imagini. Pentru derularea acestor etape în cadrul unui sistem vision dedicat se impune integrarea unor cunoștințe teoretico-aplicative legate de:

Fig. 0.1 *Etapele principale ale procesului de urmărire a privirii și capului cu sisteme vision*

- imaginile video, formele specifice de reprezentare și stocare;
- preprocesarea imaginilor prin eliminarea datelor perturbatoare (zgomotelor) care ar putea afecta datele de intrare, precum și extragerea datelor relevante în vederea reducerii volumului de calcule precum și de stocare;
- modelarea matematică a proceselor pentru evidențierea parametrilor independenți și a funcțiilor asociate;
- clasificarea/învățarea și conceperea unui model de clasificator prin care se realizează gruparea unei mulțimi de imagini în clase;
- analize și decizii prin care se stabilește clasa din care face parte o imagine, care inițial era necunoscută;
- -validarea prin testare a deciziilor luate, având ca suport o bază de date/cunoștințe.

Modelul de reprezentare a privirii și capului prin imagini este caracterizat, în egală măsură, printr-un conținut bogat de informații prin care să se asigure o precizie ridicată a clasificării, cât și printr-o condensare sintetică necesară pentru reducerea timpilor de calcul (în cazul unei eventuale procesări online). Baza de date asociată poate fi constituită dintr-un set de forme de învățare a căror clasificare este cunoscută.

4.1.1 RECUNOAŞTEREA VIDEO, ESTIMAREA POZIȚIEI ȘI A ORIENTĂRII CAPULUI

Metodele folosite pentru recunoaşterea, estimarea poziției şi orientarea capului pot fi grupate în trei grupe: locale, globale și hibride.

A. *Metodele locale* sunt bazate pe extragerea anumitor caracteristici din modelele formei geometrice a feței (ochi, gură, urechi, conturul feței sau capului) și maparea (aranjarea) acestora, prin folosirea tehnicilor de proiecție în perspectivă, într-un model 3D.

B. *Metodele globale* au la bază abordări statistice prin care imaginile se convertesc în valori numerice, care apoi sunt comparate cu șabloane (templates) de referință, pentru eliminarea celor diferite.

C. *Metodele hibride* au la bază combinarea celor două metode prezentate mai sus cu scopul evitării limitărilor impuse de una dintre ele, sau chiar de ambele. Cea mai frecventă abordare presupune utilizarea unei tehnici de urmărire suprapusă peste o tehnică statică de estimare a poziției feței. Avantajul metodelor hibride este dat de faptul că utilizează în cele mai multe cazuri doi algoritmi de clasificare și identificare a feței.

4.1.3 ȘABLOANE DE IMAGINI ȘI POTRIVIREA ACESTORA

Potrivirea unui șablon peste o imagine (template matching) este o tehnică prin care se caută să se găsească locația unei imagini șablon într-o imagine mai largă, numită sursă. Pentru acest scop, biblioteca OpenCV pune la dispoziție funcția *cv2.matchTemplate* [www21]. Această funcție glisează și compară imaginea șablonului peste imaginea sursă, returnând o imagine în tonuri de gri, în care fiecare pixel arată cât de mult se potrivește, în vecinătatea din jurul acestuia, cu șablonul. Pentru fiecare locație se calculează o matrice care are rolul de a detalia cât de „bun" sau de „rău" a fost șablonul în zona respectivă. Astfel, pentru fiecare locație a șablonului (S) ce s-a glisat peste imaginea sursă (I), rezultatele se vor salva într-o matrice R(x, y).

4.2 MODEL ȘI ALGORITM DE RECUNOAȘTERE, LOCALIZARE ȘI URMĂRIRE A MIȘCĂRILOR CAPULUI ȘI PRIVIRII

4.2.1 MODEL GEOMETRIC DE DESCRIERE A MIȘCĂRILOR CAPULUI ȘI PRIVIRII

În fig. 4.2a se prezintă un model geometric general al posturii capului. Pentru aceasta, s-au luat în considerare următoarele ipoteze simplificatoare:

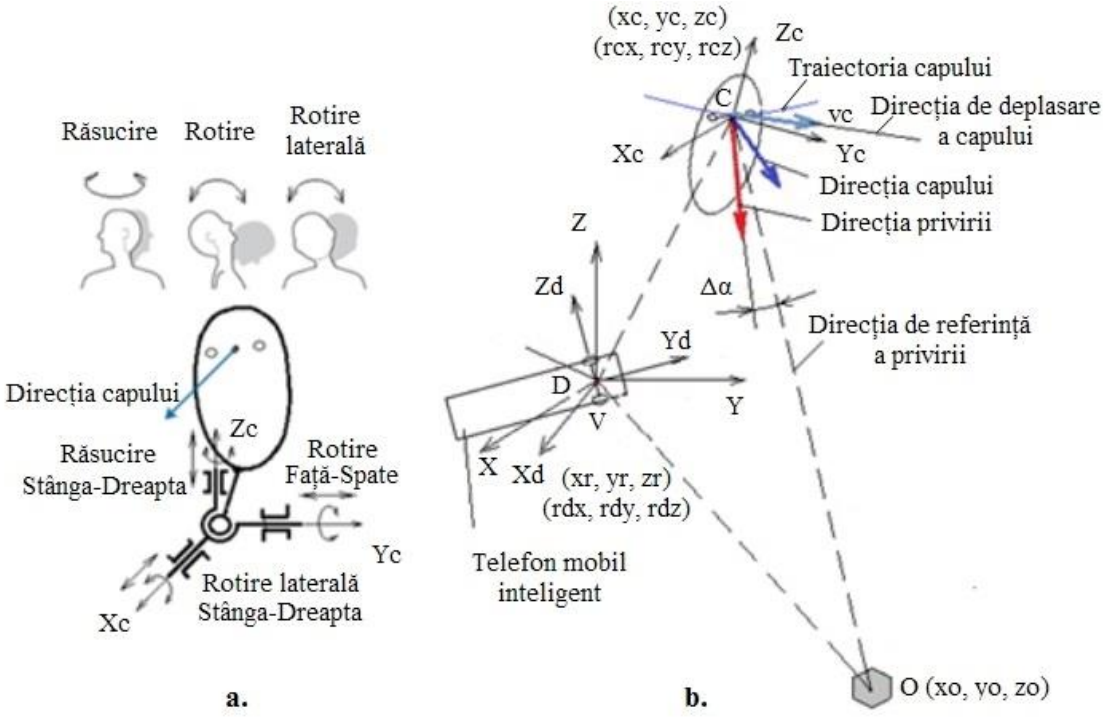


Fig. 0.2 *Model geometric de descriere a mișcărilor capului și privirii:* ***a*** *- mișcările capului;* ***b*** *- mișcările capului și privirii*

- caracteristicile de deformare și mișcare ale feței nu se iau în considerare, deoarece acestea au o influență redusă asupra direcției privirii;
- se impune definirea unor caracteristici particulare pentru determinarea mișcărilor de rigid ale capului: forma spațială (elipsoid), caracteristici de suprafață (ale feței), dimensiunile și poziția unor părți (ochi, nas, gură, urechi).
- în vederea apropierii cât mai mult de realitate, capul conducătorului auto, considerat ca fiind rigid, este legat de o articulație sferică (cu trei rotații spațiale, asociate gâtului) ce este solidară cu o cuplă spațială de translație (cu trei translații, asociate mișcărilor corpului). Astfel se definesc mișcările de translație sus-jos; stânga-dreapta; față-spate și de rotație: rotire față-spate; răsucire stânga-dreapta; rotire laterală stânga-dreapta.

În fig. 4.2b se prezintă modelul general de descriere al mișcărilor capului și ochilor în raport cu camera video (D) a telefonului mobil inteligent și mediul de rulare în condițiile următoarelor ipoteze simplificatoare: ochiul se modelează ca o sferă perfectă și nedeformabilă; irisul și pupila sunt aproximate cu plane ce intersectează sfera; mișcările ochilor se aproximează ca rotații pure în raport cu centrul sferei; axa vizuală a ochiului se aproximează cu axa optică.

Semnificațiile parametrilor din fig. 4.2:

D	- centrul sistemelor de coordonate asociate autovehiculului și telefonului;
C	- centrul sistemului de coordonate asociat punctului care aparține capului (mijlocul segmentului determinat de punctele asociate ochilor);
O	- punctul asociat unui reper de pe calea de rulare;
XYZ	- sistemul de coordonate asociat autovehiculului;
XdYdZd	- sistemul de coordonate asociat camerelor video ale telefonului mobil inteligent fixat în autovehicul;
XcYcZc	- sistemul de coordonate asociat capului conducătorului auto;
xr, yr, zr	- coordonatele absolute ale autovehiculului (GPS, valori variabile);
xc, yc, zc	- coordonatele relative ale capului în raport cu sistemul camerelor video XdYdZd (localizare vision, valori variabile);
xo, yo, zo	- coordonatele relative ale punctului de referință, în raport cu sistemul XdYdZd (localizare vision, valori variabile/nulă);
rdx, rdy, rdz	- rotirile relative ale telefonului mobil inteligent în raport cu sistemul autovehiculului XYZ (localizare prin calibrare, valori constante);
rcx, rcy, rcz	- rotirile relative ale capului în raport cu sistemul camerelor videro XdYdZd (localizare vision, valori variabile);
vc	- viteza instantanee a capului (valori variabile);
$\Delta\alpha$	- unghiul de deviație a direcției privirii de la direcția de referință (spre obiect/reper);
CO	- direcția de referință a privirii.

4.2.2 ALGORITM GENERAL DE RECUNOAȘTERE ȘI LOCALIZARE A PRIVIRII

În fig. 4.3 este prezentat algoritmul general de recunoaștere și localizare cu precizie a poziției și orientării a capului și ochilor conducătorului auto, bazat pe un set de puncte 3D. Acest set achiziționat, preliminar, prin urmărire este folosit pentru estimarea poziției și orientărilor necesare pentru modelarea orientării și mișcărilor capului.

Recunoașterea formei capului presupune etapele:

- Detectarea (estimarea) grosieră a poziției feței din: față, stânga, dreapta, sus, jos, stânga-sus, stânga-jos, dreapta-sus; dreapta-jos; pentru aceste situații se formează clase.
- Extragerea caracteristicilor faciale distinctive din imaginea detectată; se dezvoltă un detector al caracteristicilor capului (vârful nasului, ochi, urechi) bazat pe algoritmul de antrenare AdaBoost folosind caracteristicile Haar.

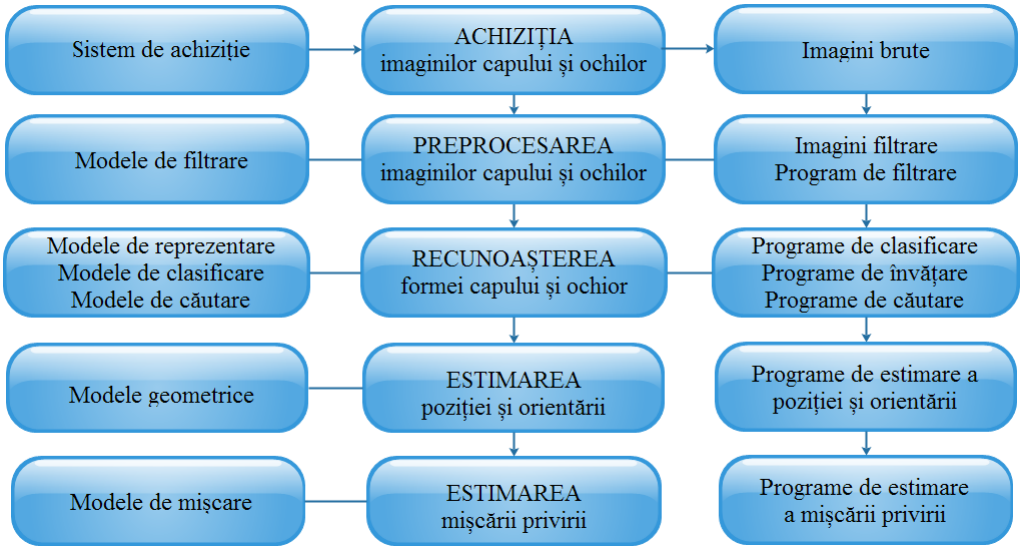


Fig. 0.3 *Algoritm general de recunoaștere și localizare a capului și privirii*

- Estimarea cu precizie a posturii capului (3 rotații şi trei translații) bazat pe caracteristicile faciale; se vor învăța corelațiile dintre pozițiile caracteristicilor faciale și posturile capului prin instruire.

4.3 DESCRIEREA ȘI ANALIZA PARAMETRILOR FIZIOLOGICI RELEVANȚI

4.3.1 PRINCIPIILE MĂSURĂRII PARAMETRILOR FIZIOLOGICI

Pletismografia *reprezintă o tehnică de înregistrare grafică* a variațiilor de volum dintr-un segment al corpului (de exemplu deget, încheietura mâinii) în funcție de volumul total de sânge din corp.

Pulsoximetrele, ca dispozitive care se conectează la unul din degetele de la mână, de preferat cel arătător (v. fig. 3.8c), de obicei, se folosesc pentru determinarea concentrației oxigenului în sânge (SpO2) și a ritmului cardiac [www25]. Aceste dispozitive măsoară absorbția de lumină roșie (R) și infraroșie (IR) ce trece prin deget și receptate de o fotodiodă (fig. 4.4). Această metodă se numește oximetrie transmisivă. Diodele emițătoare generează flux de lumină roșie cu și infraroșie cu lungimea de undă între 600-700 nm, respectiv,între 800-940 nm.

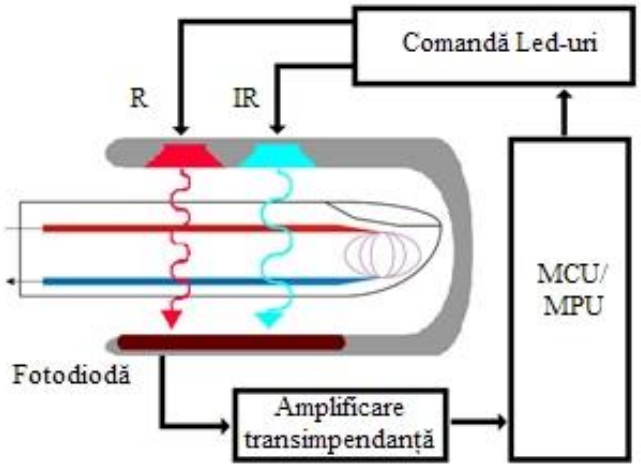


Fig. 0.4 *Principiul de funcționare a pulsoximetrului bazat pe oximetrie transmisivă*

Pentru a determina saturația oxigenului în sânge, se utilizează legea Beer-Lambert, care are la bază relația de calcul a intensității luminii la receptor [Lambert, 1760],

$$I = I_0 \cdot e^{\varepsilon(\lambda) c\, d}, \qquad (4.1)$$

în care, I_0 reprezintă intensitatea inițială a luminii, $\varepsilon(\lambda)$ - coeficientul de absorbție dependent de lungimea de undă λ, c – concentrația atomilor liberi din substanța care absoarbe

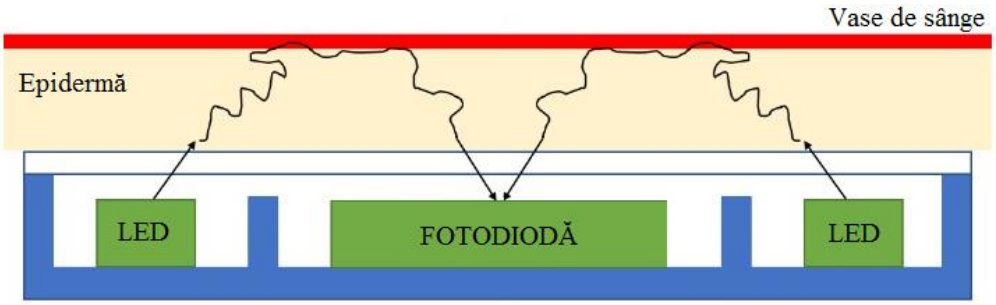


Fig. 0.5 *Principiul de funcționare a pulsoximetrului bazat pe reflexie*

lumina și d - lungimea stratului absorbant.

Diferitele lungimi de undă ale acestor emițătoare optice interacționează diferit cu sângele care curge prin venele din încheietura mâinii. Atunci când această lumină este reflectată (sau refractată), un alt senzor din dispozitiv înregistrează aceste informații. Aceste date pot fi apoi procesate cu ajutorul unor algoritmi pentru a putea fi decodate și interpretate mai ușor [www23]. Principiul de funcționare în cazul senzorilor optici de tip brățară (Angel și CUBOT V2, v. fig.3.8) are la bază fotopletismografia (PPG). În anumite regiuni ale corpului, cum ar fi încheietura mâinii, măsurătorile transmisive ale ritmului cardiac sunt dificil de realizat, iar din acest motiv se utilizează măsurătorile reflexive. Această metodă folosește două surse de lumină (led-uri de culoare verde cu lungimea de undă de 530nm) și un detector (fotodiodă) dispuse în același plan (fig. 4.5). Lumina emisă penetrează pielea, țesutul și vasele de sânge unde este absorbită și reflectată. Deoarece volumul sângelui din artere se schimbă cu fiecare bătaie a inimii, fracția de lumină absorbită și, ulterior, intensitatea semnalului detectorului se schimbă. În final, doar o mică parte a luminii emise ajunge în cele din urmă la foto-detector.

4.3.2 FORMELE SEMNALELOR ASOCIATE PARAMETRILOR FIZIOLOGICI

Componenta pulsatilă din forma de undă pletismografică, numită adesea și componenta AC (AC – alternating component), are în mod obișnuit frecvența fundamentală în jurul valorii de 1Hz (fig. 4.6). Această componentă se suprapune peste o alta, denumită DC (DC – direct component), cu amplitudine mult mai mare care face referire la țesuturi și la volumul mediu al sângelui. În termeni științifici, aceasta reprezintă atenuarea crescută a luminii senzorului asociată cu creșterea volumului de sânge micro-vascular la fiecare bătaie a inimii. Prin utilizarea de dispozitive hardware adecvate, prin filtrare și amplificare, ambele componente AC și DC pot fi extrase pentru prelucrarea ulterioară.

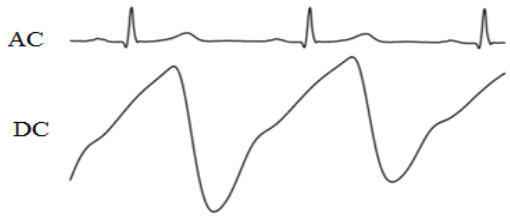


Fig. 0.6 *Componenta pulsatilă (AC) a semnalului pletismografic și electrocardiograma asociată (DC)*

4.3.3 ALGORITMI DE PROCESARE A SEMNALELOR ASOCIATE PARAMETRILOR FIZIOLOGICI

În fig. 4.7 se prezintă schema bloc a algoritmului general de procesare a semnalului asociat ritmului cardiac prin intermediul pletismografiei și de transmitere a datelor către aplicația client care este prezentată în detaliu în cap. 5. Acest algoritmul implică parcurgerea succesiv a

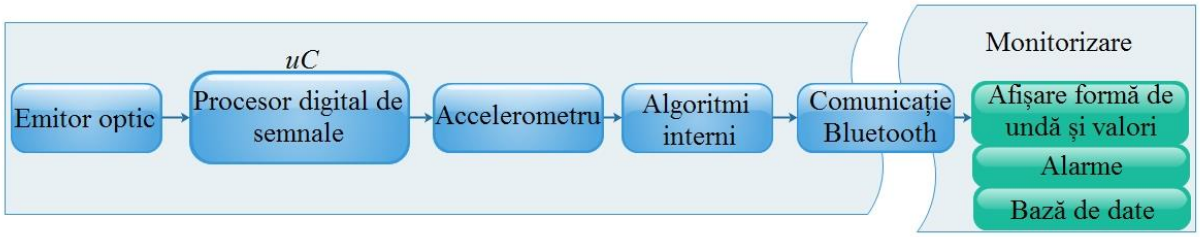


Fig. 0.7 *Schema bloc a algoritmului de procesare a semnalului ritmului cardiac*

următoarelor componente: emitorul optic, procesorul digital de semnale (DSP – Digital Signal Processing), accelerometrul, algoritmii interni, comunicația bluetooth, monitorizarea.

4.4 MONITORIZAREA PROCESULUI DE CONDUCERE AUTO

4.4.1 ASPECTE GENERALE

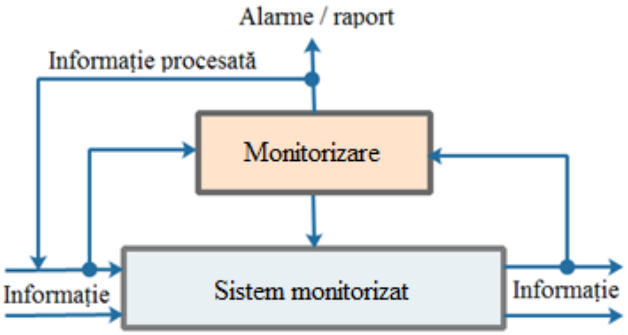


Fig. 0.8 *Schema generală a procesul de monitorizare*

În prezent, monitorizarea este văzută ca un proces în care un sistem specializat numit *monitor* observă (urmărește) evoluția unui alt sistem, numit sistem monitorizat (fig. 4.9), și elaborează un raport prin compararea observațiilor făcute cu setul de cerințe impuse [Peters, 2002]. *Procesul de monitorizare* presupune inițial planificarea, urmată de achiziția, stocarea, prelucrarea și validarea de date/semnale provenite de la sistemul monitorizat. Informațiile rezultate sunt folosite, de obicei, pentru a interpreta modul de funcționare și comportarea curentă și/sau viitoare (prognoza) a sistemului/procesului vizat, precum și, în unele cazuri, pentru a genera informații pentru mecanismul de control al acestuia.

4.4.2 DESCRIEREA MONITORIZĂRII PROCESULUI DE CONDUCERE AUTO

Sistemul de monitorizare a procesului de conducere auto are rolul de a observa permanent comportamentul conducătorului auto și de a alarma/raporta în cazurile în care acesta nu se încadrează în cerințele impuse.

În general, sistemele de monitorizat, inclusiv cel asociat proceselor de conducere auto sunt compuse din dispozitive specializate de intrare/ieșire și subsisteme hardware și software specifice acestui proces. Sistemele de monitorizare, corespondente acestui caz general, preiau informați (date/semnale) de intrare/ieșire și/sau de stare – de obicei, dependente de timp – și după ce le procesează, returnează date despre comportarea acestuia.

Dezvoltarea unui sistem de monitorizare robust în cadrul procesului de conducere auto, inclusiv a

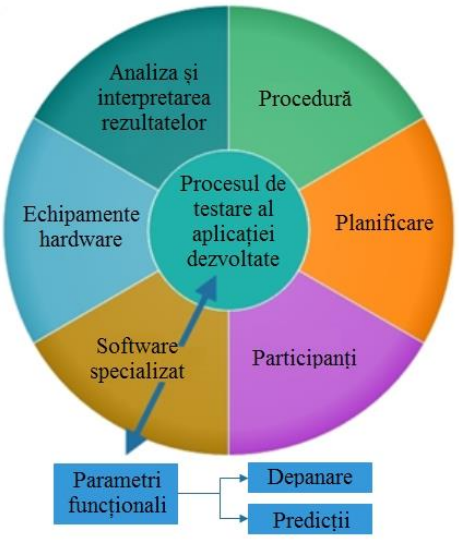


Fig. 0.9 *Schema de monitorizare a proceselor de conducere auto*

sistemului de asistență dezvoltat în această lucrare, presupune, calibrarea, verificarea și testarea tuturor informațiilor și procedurilor, prin considerarea următoarelor etape: stabilirea unei proceduri de testare; planificarea experimentelor; testarea aplicației pe mai mulți utilizatori; dezvoltarea de pachete software personalizate pentru depanare sau predicție; calibrarea echipamentelor și instrumentelor hardware; interpretarea și analizarea rezultatelor (fig. 4.11).

4.4.3 MONITORIZARE SOFTWARE A PROCESELOR DE CONDUCERE AUTO

Pentru cazul monitorizării procesului de conducere cu un sistem de asistență implementat pe telefonul mobil inteligent, ținând cont că structura hardware realizează, cu precădere, măsurarea valorilor parametrilor, iar deciziile se iau la nivel software, se adoptă un sistem de monitorizare software (fig. 4.12).

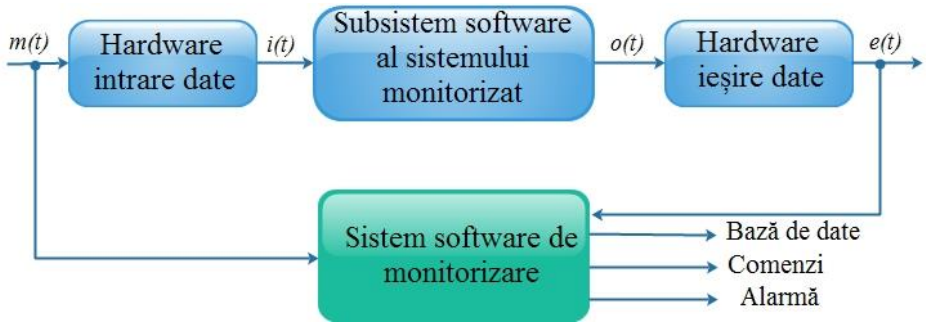


Fig. 0.10 *Schema generală a sistemelor de monitorizare software*

Sistemele de monitorizare implementate software sunt cele mai răspândite datorită flexibilității mărite precum și a costurilor reduse. În capitolul 5 s-a conceput, dezvoltat și implementat un sistem de monitorizare a procesului de conducere auto bazat pe informații despre parametri vizuali și fiziologici relevanți la limită.

4.5 CONCLUZII

Plecând de la modelul de reprezentare prin imagini video, în prima parte a acestui capitol s-a realizat descrierea procesului de generalizare a etapelor de detecție a fețelor, prin sintetizarea celor mai actuale și evoluate tehnici. Tot în această secțiune s-au pus în valoare metodologiile de recunoaștere, estimare a poziției și orientare a capului folosite în dezvoltarea de aplicații software. Din metodologiile caracterizate, precum și din analiza algoritmului general de descriere a posturii capului, în aplicația dezvoltată s-a ales implementarea metodei globale, prin care se utilizează tehnici de potrivire a șabloanelor și clasificatori Haar.

Pentru descrierea și analiza principiilor de măsurare a parametrilor fiziologici relevanți s-a ales metoda de înregistrare grafică a variațiilor de volum, denumită pletismografie. Aceasta reprezintă o metodă ne-invazivă de măsurare a schimbărilor de volum din corpul uman. Prin descrierea și analiza formei de undă folosită în pletismografie, s-a putut crea și verifica analogia cu forma de undă măsurată prin electrocardiogramă. Totodată, a fost prezentată și schema bloc a algoritmului de procesare a semnalelor parametrilor fiziologici monitorizați.

În finalul capitolului s-a realizat descrierea monitorizării procesului de conducere auto, ca și proces de observare a comportamentului conducătorului auto în urmărirea informațiilor parametrilor fiziologici ai acestuia. S-au trecut în revistă principalele categorii de procese de monitorizare, precum și implicațiile acestora în descrierea sistemului dezvoltat.

5. SISTEM DE ASISTENȚĂ A CONDUCĂTORULUI AUTO PENTRU STĂRI FIZIOLOGICE ȘI VIZUALE LA LIMITĂ

În cadrul acestui capitol se prezintă concepția, proiectarea și implementarea unui sistem de asistență a conducătorului auto la stări fiziologice și ale percepției vizuale la limită, dezvoltat atât pentru a fi testat pe simulator de conducere cât și pentru a fi verificat în condiții reale de trafic.

Sistemul de asistență a conducătorului auto dezvoltat, în continuare, numit *DriverLife*, include două subsisteme de monitorizare care interacționează: subsistemul de monitorizare a parametrilor vizuali relevanți prin urmărirea privirii (detectare față și ochi) și subsistemul de monitorizare a parametrilor fiziologici relevanți (ritm cardiac, temperatură, sau SpO2).

5.1 ARHITECTURA SISTEMULUI DE ASISTENȚĂ *DriverLife*

În sinteză, sistemul integrat *DiverLife* dezvoltat, poate fi definit ca o unitate compusă din mai multe module care sunt legate între ele prin interfețe specifice și care formează un întreg funcțional.

În fig. 5.1 se prezintă schema bloc a sistemului integrat de asistență a conducătorului auto, *DriverLife.* Acesta integrează modulul de monitorizare a feței și ochilor cu modulul de monitorizare a parametrilor fiziologici relevanți.

Semnalele colectate de la senzorii de măsurare a parametrilor fiziologici relevanți, fixați pe încheietura mâinii, după ce sunt procesate și monitorizate, se transmit prin intermediul unei conexiuni Bluetooth, ca date de intrare, *Sistemului de comandă și control*, implementat în telefonul mobil inteligent.

În același timp, imaginile feței și regiunii ochilor conducătorului auto capturate de camera video frontală a telefonului mobil inteligent, după ce sunt procesate și monitorizate, se livrează, de asemenea ca date de intrare, *Sistemului de comandă și control,* care în cazul sesizării depășirii valorilor limită definite anterior, va genera alerte audio și/sau vizuale pentru avertizarea conducătorului auto sau va trimite comenzi la alte subsisteme. Altfel spus, sistemul de comandă și control are rolul de sincronizare a informațiilor obținute prin monitorizarea privirii cu informațiile obținute prin monitorizarea parametrilor fiziologici relevanți, iar, prin procesarea acestora, va lua decizii care vor fi transmise sub formă de alerte și/sau comenzi.

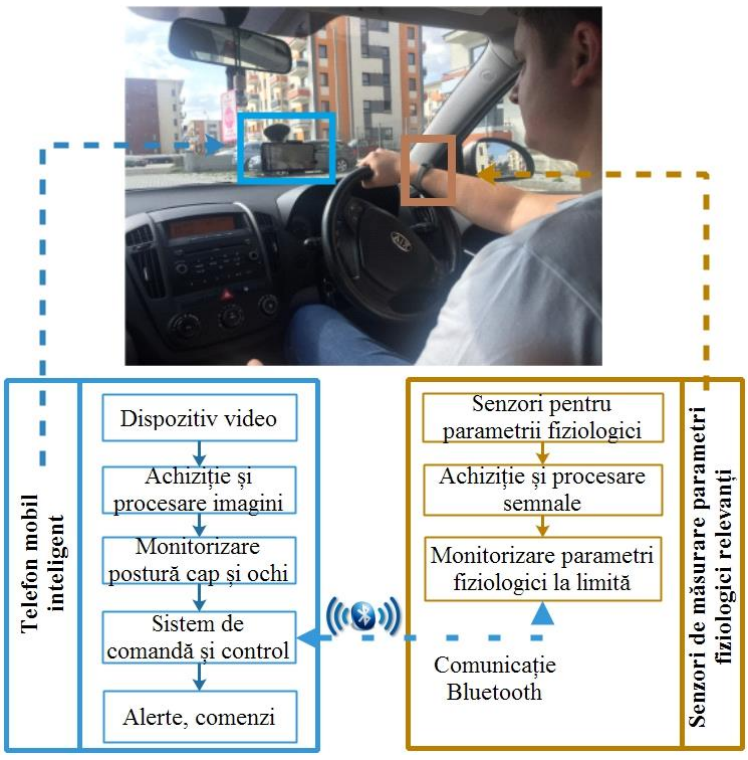


Fig. 0.1 *Schema bloc a sistemului DriverLife*

Aplicația completă va fi instalată pe telefonul mobil inteligent, care se va fixa pe un suport ce se va poziționa în fața conducătorului auto pentru asigurarea unei bune

vizibilități a regiunii feței, dar care nu va împiedica vizibilitatea conducătorului auto asupra mediului de navigare.

5.2 STRUCTURA HARDWARE A SISTEMULUI *DriverLife*

5.2.1 SCHEMA BLOC A STRUCTURII HARDWARE

În fig. 5.2 se prezentă structura hardware a sistemului dezvoltat care, pe de-o parte, are la bază componente hardware din telefonul mobil inteligent (fig. 5.2a): senzorul CMOS din camera video (prin care se face achiziția fluxului video), dispozitive de stocare (cu rol de memorare fotografii și fișiere de date), modulul Bluetooth (pentru interconectarea cu senzorii de măsurare a parametrilor fiziologici), display-ul și ecranul tactil (pentru vizualizare și interacțiune cu sistemul), difuzorul (pentru redare audio), procesorul de uz general și procesorul grafic (pentru calcule și procesare imagini) și, pe de altă parte, dispozitivele de măsurare a parametrilor fiziologici care au un nucleu principal de calcul reprezentat de microcontroler/microprocesor (MCU/MPU) sau SoC (System on a Chip), senzori specializați pentru măsurarea parametrilor fiziologici și, nu în ultimul rând, modulul Bluetooth utilizat pentru conectarea cu telefonul mobil inteligent (fig. 5.2b).

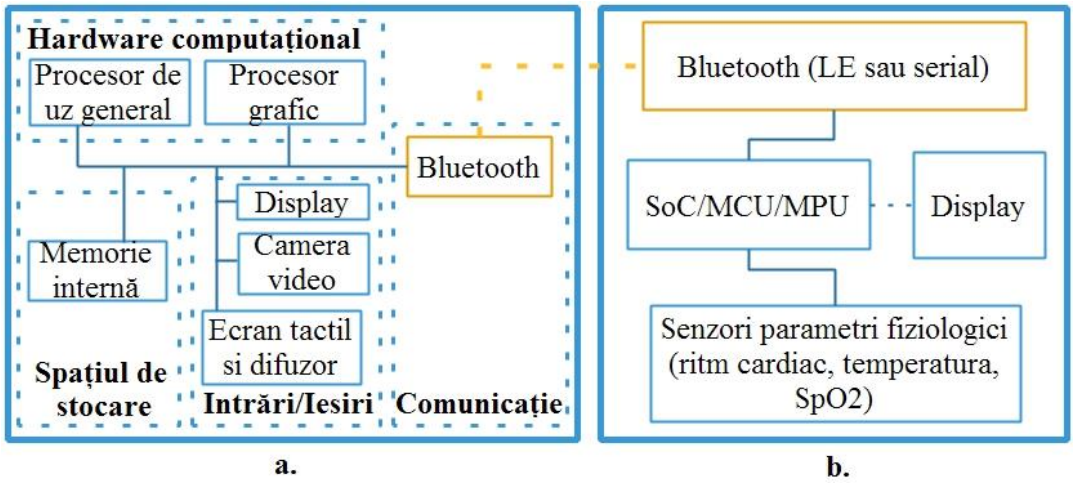


Fig. 0.2 *Structura hardware a sistemului DriverLife:* ***a*** *- telefonul mobil inteligent;* ***b*** *– dispozitivul de măsurare*

Pentru dispozitivul de măsurare, datorită evoluției senzorilor miniaturizați, s-au ales pentru măsurarea parametrilor fiziologici, pentru început, pulsoximetrul Berrymed, iar mai apoi, pentru verificări și/sau teste, două tipuri de brățări fitness Angel Sensor și CUBOT V2 care sunt des folosite pentru măsurări în vederea evaluărilor activităților fizice.

5.2.2 SUBSISTEMUL SENZORIAL AL SISTEMULUI *DriverLife*

5.2.2.1 INTEGRAREA SENZORILOR PENTRU MĂSURAREA PARAMETRILOR FIZIOLOGICI RELEVANȚI

În fig. 5.3 este prezentată schema conexiunii dintre dispozitivele medicale de măsurare a parametrilor fiziologici și telefonul mobil inteligent. Valorile parametrilor fiziologici sunt transmise prin protocolul de comunicație Bluetooth către telefonul mobil inteligent, iar în urma procesării datelor, aplicația *DriverLife* va genera în funcție de context date de ieșire (alarme auditive/vizuale, grafic cu valori în timp real a parametrilor măsurați, jurnale al valorilor măsurate și de stare cu evidențierea perioadei de timp și duratei declanșate).

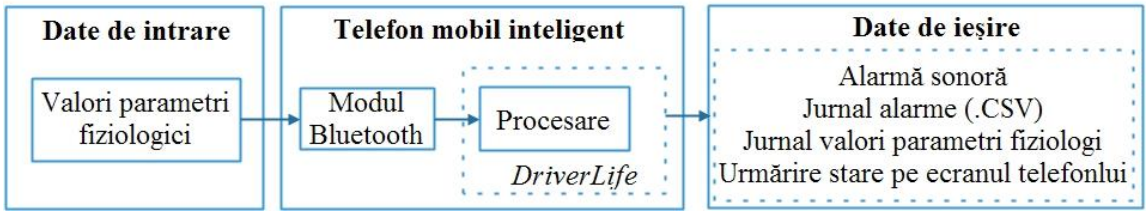


Fig. 0.4 *Schema de conexiuni a blocului senzorial la telefonul mobil inteligent*

S	S	S	S	CB	CP	A	1
L	L	L	L	L	L	L	0
G	G	G	G	Z	V	P	0
P	P	P	P	P	P	P	0
O	O	O	O	O	O	O	0

Fig. 0.3 *Pachet de date transmis cu respectarea protocolului BCI*

Conexiunea cu telefonul inteligent s-a realizat prin intermediul standardului Bluetooth, iar decriptarea pachetelor trimise de la blocul senzorial se va face prin protocolul de comunicație BCI (Brain Computer Interface). După stabilirea conexiunii Bluetooth, valorile măsurate sunt transmise periodic sub forma unui flux serial de date grupate în pachete (fig. 5.4). Aceste pachete conțin atât informații de la senzori, cât și informații de stare ale conexiunii și ale modulelor incluse (probă, senzor, semnal).

Detecția pachetului de date se face cu ajutorul biților de sincronizare – primul octet are bitul de sincronizare întotdeauna setat cu valoarea 1. Pe durata conexiunii, bitul de indicare a semnalului are valoarea 1, iar puterea semnalului este inclusă în primul octet (biții S). Atunci când pulsoximetrul este conectat la deget, bitul CP își schimbă valoarea din 0 în 1, iar bitul de verificare ritm cardiac (V) este transformat în 1, până când se reușește să se sincronizeze cu ritmul cardiac. Începând cu acest moment, valorile pentru pletismografie (L), grafic (G), ritm cardiac (P) și SpO2 (O) sunt valide și pot fi citite din octeții corespunzători.

5.2.2.2 SENZORUL CMOS INTEGRAT ÎN TELEFONUL INTELIGENT

În prezent marea majoritate a telefoanelor mobile inteligente folosesc tehnologia senzorilor CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) pentru camerele video digitale. Acesta este un senzor de imagine format dintr-un circuit integrat ce conține o matrice de pixeli, iar fiecare pixel conține un fotodetector și un amplificator activ.

Aplicația sistemului *DriverLife* a fost concepută să permită accesarea și comandarea senzorului CMOS (fig. 5.6). În această lucrare s-au folosit pentru studii experimentale două modele de telefoane inteligente: Samsung Galaxy S4 mini și Samsung Galaxy A8. Senzorul

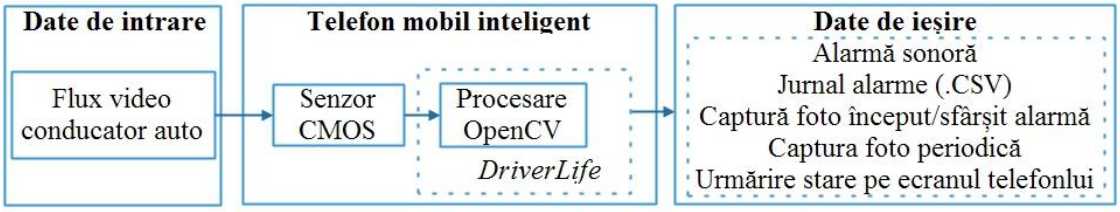


Fig. 0.5 *Schema de conexiuni a subsistemului video*

CMOS este programat pentru recunoașterea facială și a elementelor distinctive ale feței, detecția ochilor și implicit a capului conducătorului auto, având ca scop principal monitorizarea proceselor de distragere a privirii acestuia în timpul conducerii autovehiculului.

5.3 PACHETE SOFTWARE UTILIZATE DE *DriverLife*

În cadrul aplicației de monitorizare dezvoltată în această lucrare s-au conceput și dezvoltat algoritmi care au fost implementați folosind medii de programare *standard software*, care constau în definirea de termeni, concepte, tipuri de documente, formate de date sau tehnici, astfel încât programele dezvoltate să poată fi înțelese și de utilizatori din alte domenii [www29].

5.3.1 MEDIUL DE DEZVOLTARE ANDROID STUDIO

Mediul de dezvoltare Android Studio, ales pentru aplicațiile *DriverLife*, este mediul oficial de dezvoltare integrat al platformei Android [www30]. Pentru lansarea și testarea aplicațiilor, software-ul Android Studio dispune de un emulator ca suport pentru o largă varietate de configurații ale dispozitivelor exterioare. În acest mod, se pot testa performanțele aplicației nou create sau vizualiza interfața cu utilizatorul fără a instala aplicația pe dispozitivul mobil fizic.

5.3.2 DEZVOLTAREA DE APLICAȚII ÎN SISTEMUL ANDROID

În cadrul aplicațiilor *DriverLife* s-au respectat standardele de dezvoltare în mediul Android, iar metodele principale referitoare la ciclul de viață al unei aplicații, conțin doar inițializări de bază pentru obiectele folosite, procesarea fiind executată de subprograme callback sau handler.

5.3.3 DEZVOLTAREA DE APLICAȚII CU BIBLIOTECA OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) este o bibliotecă de funcții de programare ce are ca scop principal procesarea imaginilor video în timp real. Aplicația *DriverLife*, deoarece a fost dezvoltată in limbajul Java, a fost necesară utilizarea unei biblioteci care să facă legătura între implementarea OpenCV (C++, nativ) și mașina virtuală Java (managed code). Această bibliotecă este oferită de pachetul OpenCV. Componentele folosite sunt cele de detecție a feței și de potrivire cu un șablon de imagine. Biblioteca OpenCV folosită pentru aplicația *DriverLife* este instalată și rulează cu succes pe sistemele de operare de ultima generație și Android.

5.4 CONCEPEREA, PROIECTAREA ȘI IMPLEMENTAREA APLICAȚIEI DE DETECȚIE A FEȚEI ȘI PRIVIRII (Aplicația_video)

Sistemele video de detecție a fețelor se ocupă cu determinarea locației și dimensiunilor fețelor umane modelate în imagini digitale. Detecția fețelor are la bază algoritmul Viola-Jones, detaliat într-un studiu publicat în anul 2001, ca fiind primul algoritm de detecție în timp real și considerat cel mai eficient din punctul de vedere al preciziei [Viola, 2001].

În cadrul bibliotecii OpenCV detectarea obiectelor, în general, se face cu ajutorul clasificatorului în cascadă Haar, predefinit pentru principalele părți ale corpului, inclusiv pentru față. Clasificatorul în cascadă Haar se definește ca un ansamblu de învățare, care se implementează în etape prin însumarea unor clasificatoare mai slabe [Viola, 2001].

5.4.1 DETECȚIA FEȚEI CU CLASIFICATORUL HAAR

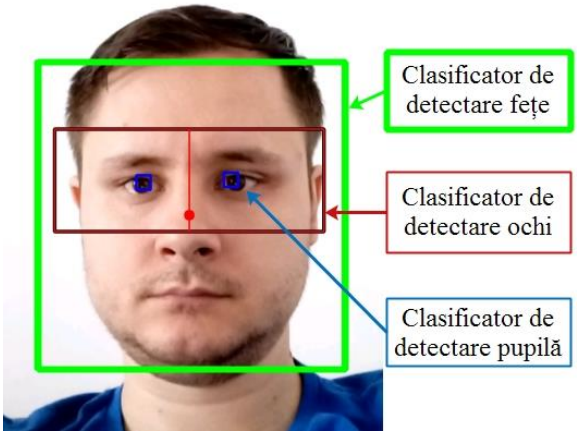


Fig. 0.6 *Clasificatoare utilizate în aplicația DriverLife*

Aplicația dezvoltată în cadrul acestei lucrări presupune analiza prezenței feței și ochilor conducătorului auto folosind clasificatoare Haar pentru fiecare cadru procesat cu scopul de a detecta „din aproape în aproape" ținta urmărită/punctul de interes (pupila, în cazul de față). Clasificatoarele pentru detecția ochilor au dimensiuni mari și nu sunt suficient de precise pentru a detecta ochii cu diferite grade de deschidere a pleoapelor, așadar, pentru cazul de urmărire a privirii conducătorului auto, nu este îndeajuns să se folosească aceste clasificatoare. Prin urmare, este necesar și pasul de detecție a pupilei (cu antrenare), pentru a ne asigura că pupila este vizibilă, astfel fiind posibile evaluări precise legate de distragerea privirii în timpul procesului de conducere auto.

În primă fază se folosește clasificatorul haarcascade_frontalface_default sau lbpcascade_frontalface pentru detectarea feței, chenarul verde (fig. 5.10). În continuare, se utilizează următoarele două clasificatoare pentru fiecare ochi în parte: „haarcascade_lefteye_2splits" și „haarcascade_righteye_2splits" marcate cu chenare roșii (fig. 5.10). Odată ce ochii au fost corect detectați, se caută și se extrage zona pupilei, ca având cele mai întunecate puncte din imagine, chenarele albastre (fig. 5.10).

Clasificatoarele sunt proiectate astfel încât să poată fi ușor de redimensionat pentru a putea găsi zonele de interes cu diferite dimensiuni. Deci, pentru a găsi o zonă din imagine cu o dimensiune necunoscută, procedura de scanare ar trebui făcută de mai multe ori la diferite scări. Acest proces se desfășoară în trei etape care presupun activarea următoarelor clasificatoare:

- *Clasificatorul de detecție a feței* este limitat la regiuni cu dimensiuni între 24% și 88% din mărimea cadrului original (v subcap .6.2.2). În acest context există loc de îmbunătățiri deoarece limitele alese sunt foarte permisive și, ca urmare, se pot detecta cu succes două sau

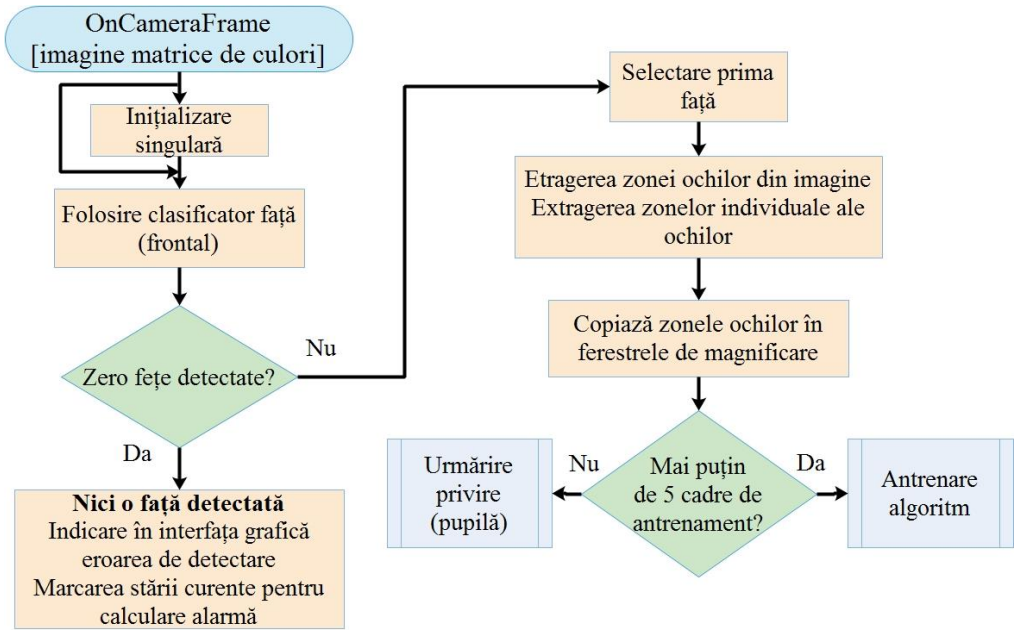


Fig. 0.7 *Algoritmul general de detecție a feței, ochilor și pupilelor*

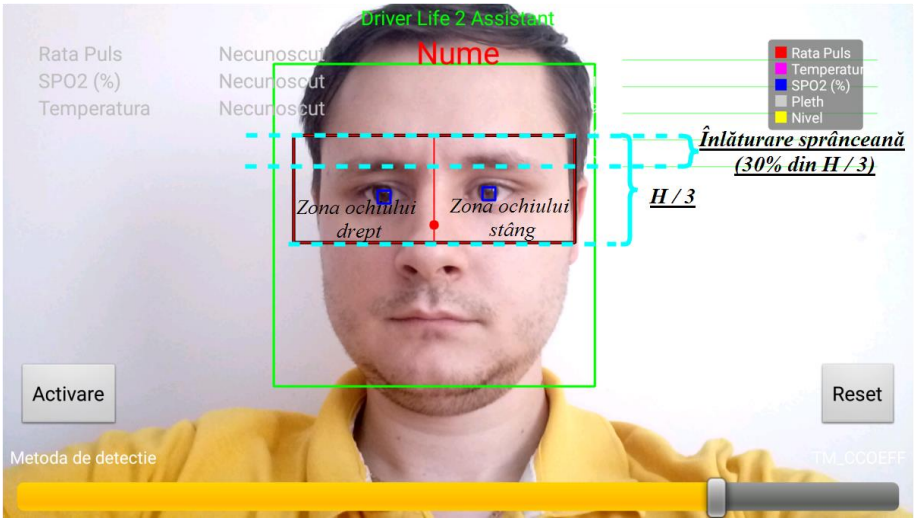


Fig. 0.8 *Eliminarea zonelor sprâncenelor din imaginea originală*

mai multe fețe în același cadru (provocând confuzie). Valorile alese sunt potrivite pentru experimente în medii de testare (o singură persoană în cadru) (fig. 5.12).

- *Clasificatorul de detecție a ochilor*, aplicate pe zone asociate ochiului stâng și drept sunt alese empiric, urmând ca acestea să fie fixate după testarea aplicației cu un număr mai mare de utilizatori.
- *Clasificatorul de detecție a pupilelor*, ca pas final de potrivire a șablonului pe zona unui ochi se aplică după eliminarea sprâncenei din imaginea originară (fig. 5.13).

5.4.2 ANTRENAMENTUL ȘI CALIBRAREA APLICAȚIEI DE DETECȚIE VIDEO

Faza de antrenament are nevoie de cel puțin 5 cadre detectate corect pentru a începe urmărirea (fig. 5.14 și 5.15). Pentru o cameră video cu caracteristici medii (24 cadre pe secundă), acest proces durează aproximativ 200 ms. Detecția poate eșua în orice moment, caz în care aceasta trebuie reluată de la început. Rezultatele obținute în timpul detecției inițiale (imediat după pornirea aplicației) nu sunt transmise sistemului de monitorizare.

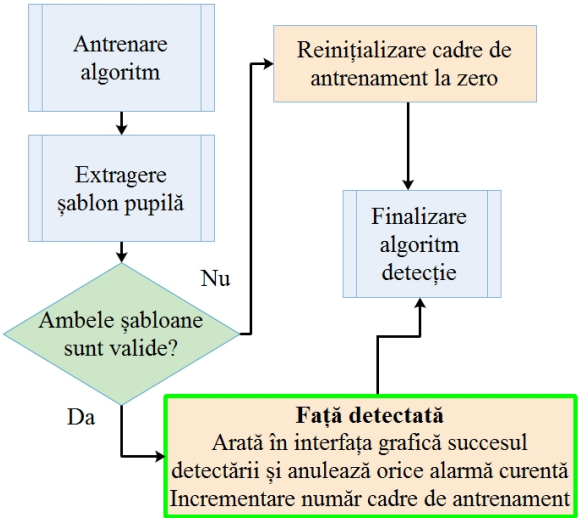


Fig. 0.9 *Algoritmul de extragere șablon pupilă*

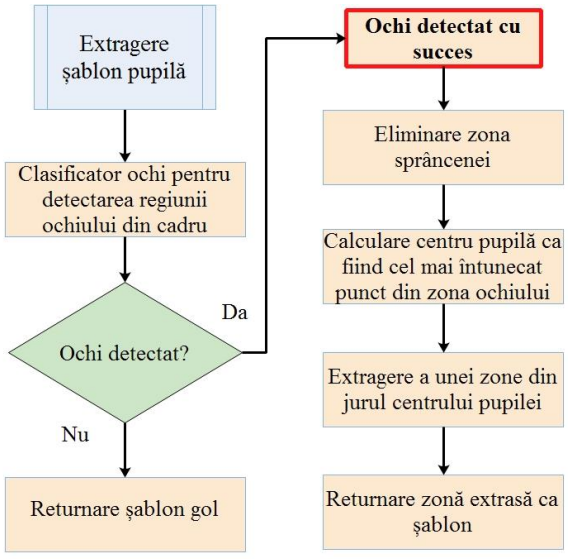


Fig. 0.10 *Algoritmul de extragere șablon ochi*

5.4.2 SUBSISTEMUL DE URMĂRIRE ȘI DECLANȘARE A ALARMEI

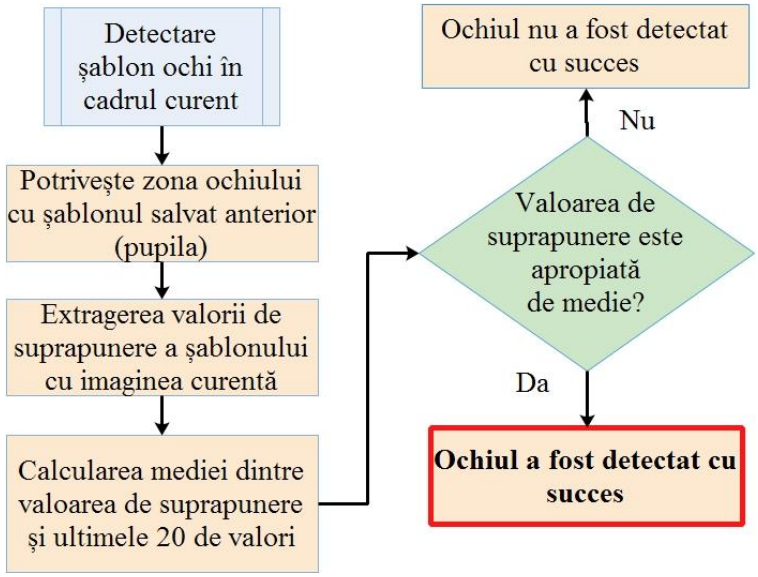


Fig. 0.11 *Algoritmul de detectare șablon ochi în cadrul curent*

După finalizarea fazei de antrenament, aplicația poate urmări continuu șablonul detectat inițial (fig. 5.16 și 5.17), urmând să comande declanșarea alarmei dacă acesta nu mai este detectat pentru o perioadă de timp de 800 ms. Această valoare introduce și o oarecare „rezistență" la erori pentru că în această perioadă pot exista până la 4 cadre incorect detectate. Astfel, conducătorului auto i se permite, fără să fie avertizat, distrageri foarte scurte ale privirii, de exemplu, pentru a urmări mediul de navigare în oglinzile retrovizoare prin geamurile laterale în cazul unei eventuale părăsiri a benzii de circulație sau de schimbare a direcției de mers.

Principala provocare în cazul potrivirii șablonului de imagine este indusă de baleiajele de luminozitate care produc modificări de mărime ale zonei urmărite. Astfel, din acest motiv aplicația păstrează o medie a ultimelor „probabilități de potrivire" (inclusiv cea curentă), iar rezultatul trebuie să fie cel puțin la fel de bun ca o fracțiune din medie. În cadrul aplicației dezvoltată în această lucrare, toleranța valorii tonului de negru din zona pupilei, se fixează la 87%, valoare determinată empiric în cadrul studiilor experimentele.

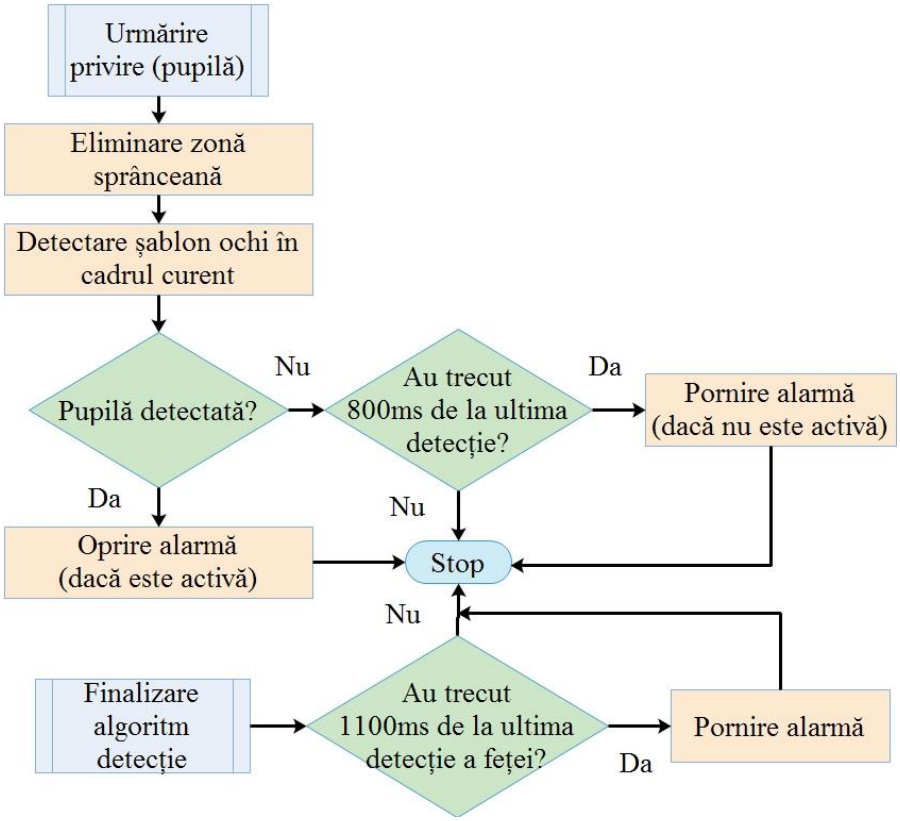


Fig. 0.12 *Algoritmul de declanșare alarme*

5.5 CONCEPEREA, PROIECTAREA ȘI IMPLEMENTAREA APLICAȚIEI DE MONITORIZARE A PAREMETRILOR FIZIOLOGICI RELEVANȚI (APLICAȚIA_FIZIO)

Aplicația dezvoltată în această lucrare, bazată pe sistemul de operare Android, monitorizează în timp real semnalele fiziologice ale conducător auto (ritm cardiac, SpO2 sau temperatură), iar atunci când acesta ating valori limită îl avertizează pentru a evita un potențial risc de diminuare a capacității de conducere.

5.5.1 CONCEPȚIA APLICAȚIEI DE URMĂRIRE A PARAMETRILOR FIZIOLOGICI

În fig. 5.18 se prezintă algoritmul de inițializare a achiziției datelor asociate parametrilor fiziologici. Prin activarea butonului *Start* se verifică dacă aplicația este pornită prima dată, sau este o repornire, de exemplu, pentru a conecta un alt dispozitiv sau pentru a relua rularea după apariția unei erori. În cazul repornirii (*Restart*) când fluxul de execuție de achiziție a datelor este în curs de rulare, acesta trebuie oprit. De asemenea, conexiunea la soclul de comunicare Bluetooth, precum și fișierul în care se vor salva datele trebuie să fie închise [Dumitru, 2014b].

Pentru a porni un flux de execuție pentru achiziția datelor sunt necesare mai multe informații, cea mai importantă este numele dispozitivului de la care se vor recepționa datele. Acesta este selectat de utilizator din lista de dispozitive Bluetooth asociate. Având la dispoziție numele dispozitivului, se poate porni achiziția datelor.

În fig. 5.19 se prezintă schema bloc a fazelor de achiziție a datelor. Operațiile descrise vor rula continuu cât timp se primesc cu succes date prin soclul de comunicare Bluetooth. În cazul în care acesta se oprește din lipsa de date, sau la apariția unei erori, se va relansa automat după un interval de timp predefinit. De aceea este important ca la apariția unei erori să se marcheze faptul că soclul de comunicare Bluetooth este într-o stare de eroare, iar intervențiile asupra acestuia sunt blocate. Datele citite prin soclul Bluetooth sunt grupate, scanate și verificate periodic până la întâlnirea unui pachet valid BCI, conform cu specificațiile dispozitivului (v. subcap. 5.2.2.1). Acest pachet va fi decodat, iar datele extrase vor fi trimise împreună cu un indicator de timp, către interfața grafică. În cadrul acestui proces poate apărea eroare de citire din soclul Bluetooth și se va reseta interfața grafica prin trimiterea către aceasta a unui pachet de date nul.

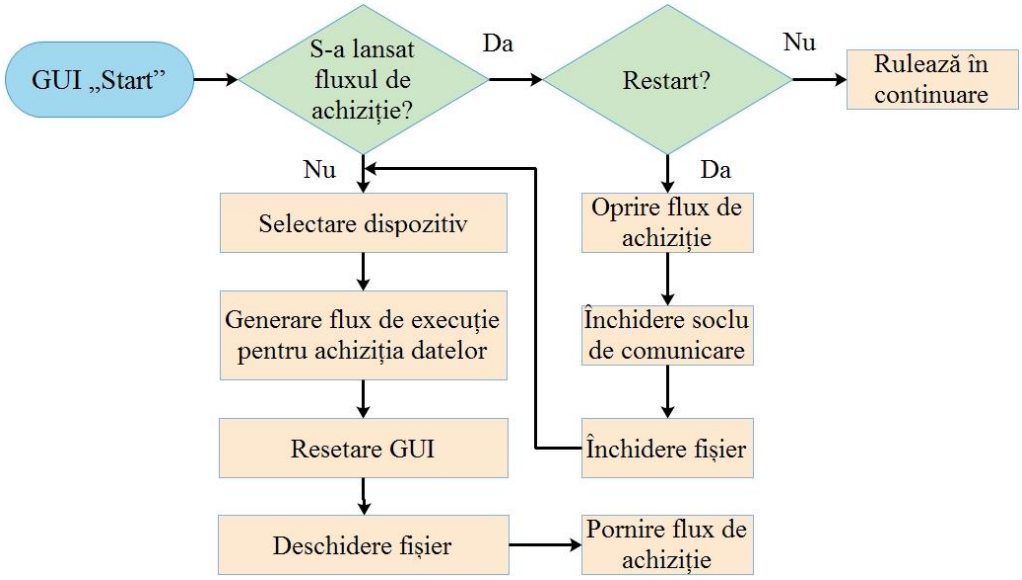


Fig. 0.13 *Algoritmul de inițializare a achiziției datelor asociate parametrilor fiziologici relevanți*

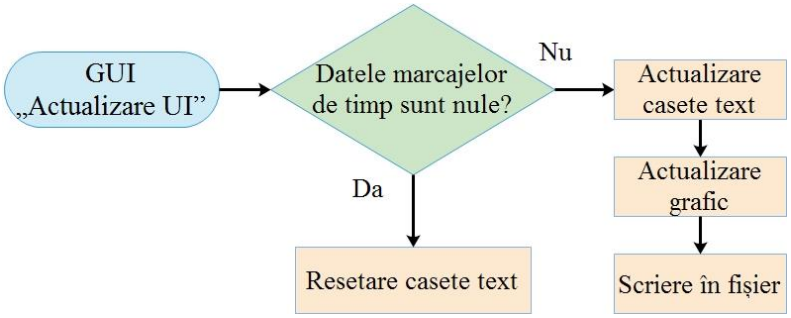


Fig. 0.14 *Algoritmul de achiziție a datelor*

În fig. 5.20 se prezintă schema algoritmului de actualizare a datelor în interfața grafică (*Activity*) din sistemul de operare Android. Aceasta dispune de o structura de tip *coadă*, în care alte faze de execuție pot plasa diferite activități (*Runnable*) care să o actualizeze, dar fără a o bloca.

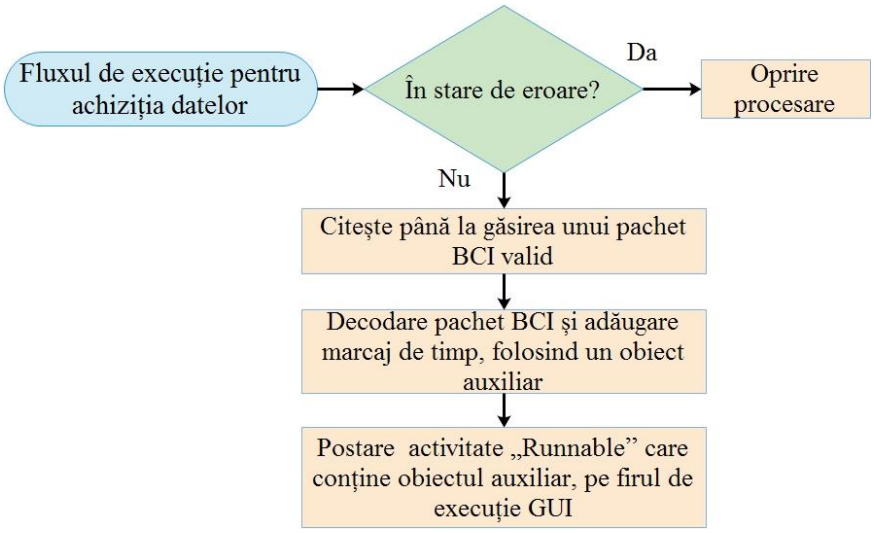


Fig. 0.15 *Algoritmul de actualizare a datelor*

5.5.2 ALEGEREA CONEXIUNII TELEFON - SENZORI

Aplicația *DriverLife* a fost concepută și dezvoltată să poată conecta mai multe tipuri de senzori de măsurare a parametrilor fiziologici la dispozitivele mobile inteligente (telefoane mobile, tablete etc.). În fig. 5.21 se prezintă algoritmul de alegere a dispozitivului de măsurare a parametrilor fiziologici relevanți.

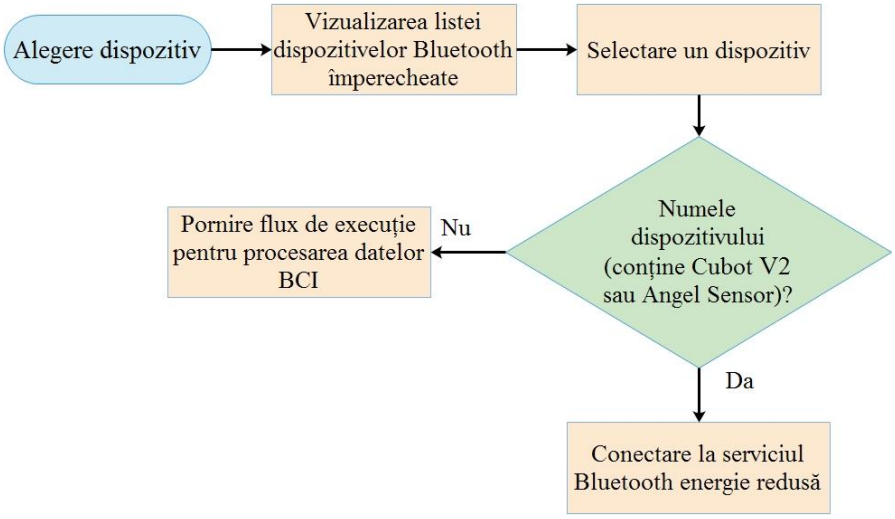


Fig. 0.16 *Algoritmul de alegere a dispozitivului de măsurare a parametrilor fiziologici relevanți*

5.5.3 INIȚIALIZARE Aplicația_fizio

Deoarece, aplicația *DriverLife* se personalizează în funcție de caracteristicile fiecărui conducător auto este necesară crearea unui profilul de utilizator în care se completează numele și vârsta și valori limită ale parametrilor fiziologici, uneori în funcție de vârstă (de ex. ritmul cardiac maxim se poate calcula conform rel. 5.3 din subcap.5.5.5) sau de recomandări ale medicului.

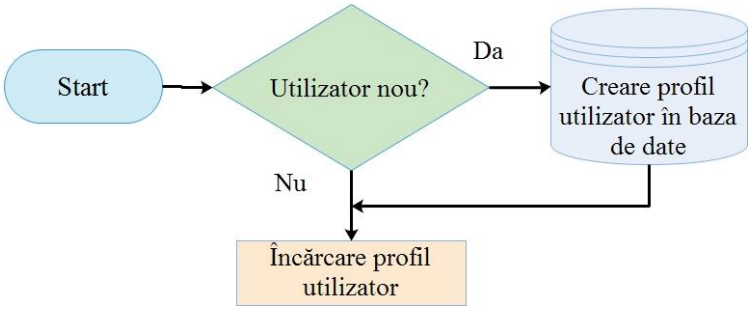


Fig. 0.17 *Algoritmul de inițializare, Aplicația_fizio*

Datele asociate profilului utilizator se încărcă în baza de date (fig. 5.23), care la final returnează un identificator unic de utilizator (ID) ce va fi utilizat mai târziu în procesul de monitorizare și comandă a sistemului de alarmare.

Secvența de pornire interoghează baza de date a aplicației și încarcă toate numele utilizatorilor existenți. Acestea vor fi afișate împreună cu o opțiune pentru a crea un nou profil de utilizator (fig. 5.23). Dacă nu există nici un utilizator în baza de date, se trece direct la faza de creare a profilului utilizatorului care, la început, implică introducerea numelui și vârstei.

5.5.4 MODULUL DE MONITORIZARE

Aplicația_fizio are două faze de execuție: prima, extragerea de date de măsurare prin modulul Bluetooth și, a doua, monitorizarea parametrilor fiziologici și transmiterea de date la subsistemul de alertare.

Faza de monitorizare se realizează cu algoritmul din fig. 5.24 care include accesul la baza de date și activarea alarmelor. Astfel, la pornirea aplicației, se efectuează o interogare a bazei de date, iar activarea alarmelor se face simultan, de îndată ce sunt suficiente date disponibile, 60 de pachete primite. Acestea vor fi inserate simultan prin apelarea unei operații, „in bulk", care este mult mai rapidă, minimizează uzura dispozitivului de stocare și consumă mai puțină energie.

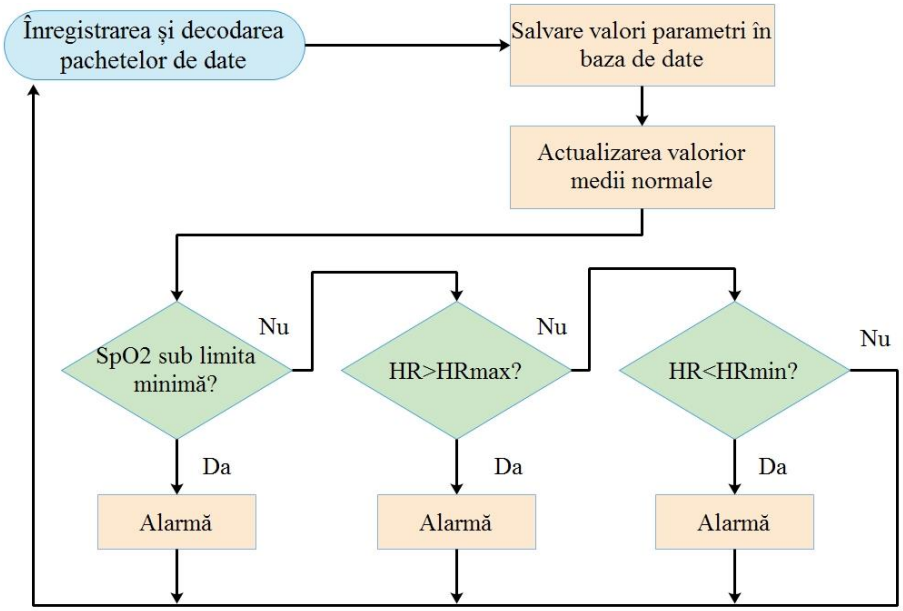


Fig. 0.18 *Algoritmul de monitorizare a parametrilor fiziologici*

5.5.5 EȘANTIONAREA ȘI CALIBRAREA ALARMELOR PENTRU Aplicația_fizio

Aplicația_fizio generează alarme în urma comparației unei medii a ritmului cardiac, determinată de sistemul de monitorizare, cu un set de praguri limită configurabile pentru

Tab. 0.1 *Evoluția valorilor medii ale ritmului cardiac [Dumitru, 2015]*

Starea	Media (M)	Nr. de eșantioane
Prima rulare (crearea profilului)	0	0
După primul eșantion	s	1
După eșantionul, n	$\frac{M_{prev} \cdot (n-1) + s}{n}$	n
Rulări ulterioare	$\frac{M_{DB} \cdot N_{DB} + M_{CDB} \cdot N_{CDB}}{N_{DB} + N_{CDB}}$	$N_{DB} + N_{CDB}$

fiecare conducător auto. Pentru parametrul SpO2, se generează alarme folosind valori constante preluate din literatura de specialitate (v. subcap. 3.2.5).

În scopul de a minimiza volumul datelor de stocare, baza de date este compactată prin stocarea ultimei medii și a unui număr reprezentativ de eșantioane, iar toate eșantioanele nereprezentative (cu abateri mari față de medie) care au fost utilizate anterior se vor șterge, împreună cu media anterioară (tab. 5.2).

Parametrii din tab. 5.2 au următoarele semnificații: M_{DB} – media actuală stocată în baza de date, (M_{DB} >1); N_{DB} – numărul de eșantioane; M_{CDB} – media tuturor eșantioanelor nereprezentative din baza de date; N_{CDB} – numărul eșantioanelor reprezentative din baza de date; M_{prev} – media anterioară; s – media primului eșantion.

Valorile limită care conduc la declanșarea alarmelor sunt fixate la inițializarea profilului conducătorului auto și se pot modifica prin noi date introduse de utilizator.

Valorile mediei și ale pragurilor de avertizare (W) și de alarmare (T), inferioare (low) și superioare (high), sunt prezentate fig. 5.25, unde HR_{max} reprezintă frecvența cardiacă maximă.

Relațiile de calcul a valorilor pragurilor de avertizare și alarmare ale ritmul cardiac sunt [Tanaka, 2001]:

$$HR_{max} = 208 - 0{,}7 \cdot \text{Vârsta}, \tag{5.3}$$

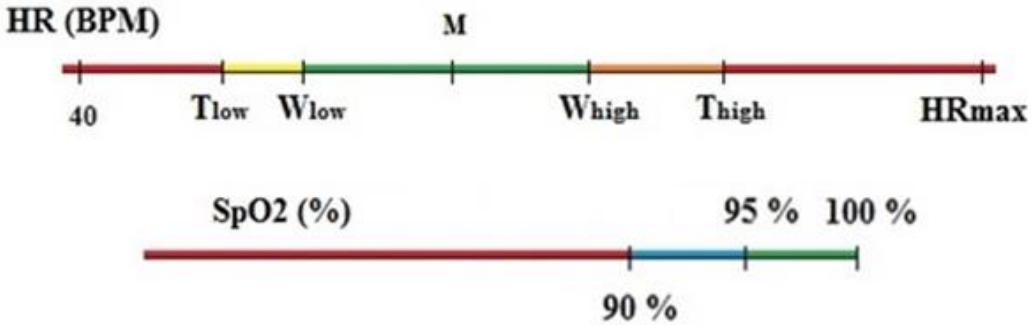


Fig. 0.19 *Valorile pragurilor ritmului cardiac și SpO2*

$$T_{low} = M - p_{low} \cdot (M - 40), \quad (5.4)$$

$$T_{high} = M + p_{high} \cdot (HR_{max} - M), \quad (5.5)$$

$$W_{low} = M - 0.8 \cdot (M - T_{low}), \quad (5.6)$$

$$W_{high} = M + 0.8 \cdot (T_{high} - M). \quad (5.7)$$

în care: T_{low} și T_{high} reprezintă pragurile inferior și, respectiv, superior ale frecvenței de alarmare; W_{low} - frecvență de avertizare inferioară; W_{high} – frecvență de avertizare superioară.

Pragurile de oxigenare sunt valori constante stabilite la 95% pentru avertismente și la 90% pentru alarme [Dumitru, 2015], având în vedere că acestea nu sunt dependente de vârsta conducătorului auto sau de starea fiziologică.

5.6 CONCEPȚIA APLICAȚIEI DE MONITORIZARE INTEGRATĂ

Integrarea celor două aplicații prezentate anterior (*Aplicația_fizio* și *Aplicația_video*) în sistemul *DriverLife* s-a realizat prin crearea unei interfețe grafice ușor de utilizat. Datele de intrare ale celor două aplicații cuprind fluxul video pentru percepția vizuală și valorile parametrilor fiziologici relevanți ai conducătorului auto, valorile limită, precum și valorile de calibrare. Prin monitorizarea procesului de conducere cu sistemul *DriverLife* se vor genera semnale de declanșare avertismente și/sau alerte sonore care după ce vor fi procesate statistic vor fi stocate în memoria telefonului inteligent ca jurnale care conțin timpul când au fost declanșate, precum și valorile măsurate ale parametrilor vizuali și fiziologici (fig. 5.26). Aceste date pot fi utilizate ulterior pentru dezvoltarea de studii de prognoză.

Interfață aplicației *DriverLife* cu utilizatorul este compusă dintr-un ecran *aspect-complet* în care se prezintă valorile instantanee, o diagramă grafică reprezentând evoluția parametrilor monitorizați, precum și fluxul video de la camera frontală a telefonului inteligent (fig. 5.27c.). La începerea folosirii sistemului *DriverLife* pentru monitorizarea procesului de conducere, utilizatorul trebuie să încarce un profil existent sau poate crea unul nou (fig. 5.27a, b). În versiunea inițială, se prezintă comenzile implicite și operațiile posibile, furnizând și informații video (fig. 5.27c).

Alarmele legate de limitele parametrilor fiziologici sunt asociate cu mesaje care indică posibilitatea de respingere a alarmei sau cea de recalibrare a sistemului de detectare.

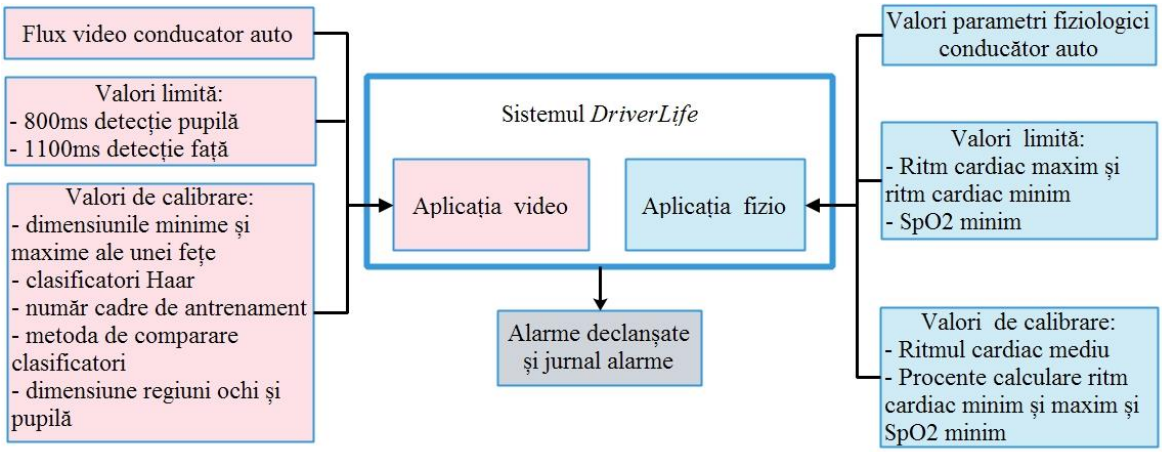


Fig. 0.20 *Monitorizarea procesului de conducere cu sistemul DriverLife*

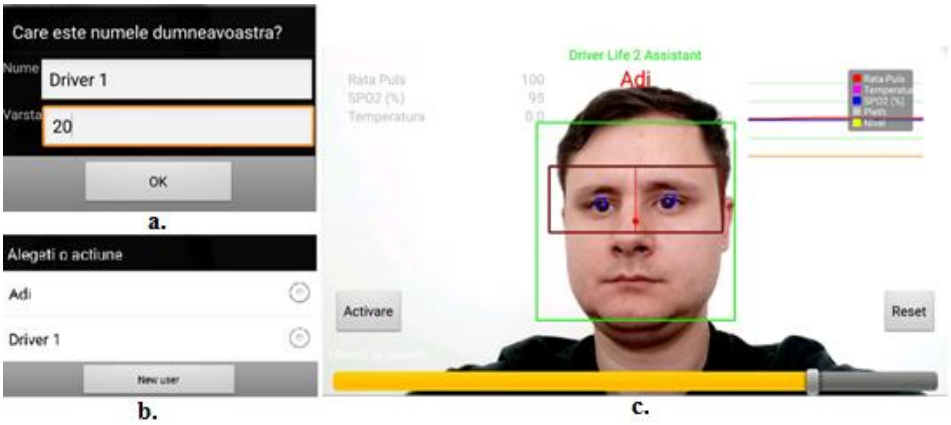


Fig. 0.21 *Zonele interfeței cu utilizatorul:* ***a*** *– de autentificare;* ***b*** *– de selectare profil;* ***c*** *– de vizualizare*

5.7 CONCLUZII

Structura sistemului *DriveLife* este modulară, atât din punct de vedere hardware cât și software, fiind caracterizată printr-o integrare ușoară la postul de conducere. În ceea ce privește hardware-ul sistemului *DriverLife* au fost prezentate arhitectura, schemele de conexiuni dintre module, precum și protocoalele de comunicație utilizate în dezvoltarea acestuia. Prin utilizarea de medii de programare *standard software* au fost concepuți și implementați algoritmi care permit interoperabilitatea între diferite programe având dezvoltatori diferiți. Astfel, s-a ales utilizarea mediului de dezvoltare Android Studio și a bibliotecii de funcții OpenCV.

Algoritmul Viola-Jones stă la baza conceperii, proiectării și implementării aplicației de urmărire a capului și privirii (Aplicația_video). Localizarea feței, a ochilor, inclusiv, a pupilei a fost realizată prin clasificatorul în cascadă Haar, din cadrul bibliotecii OpenCV. Aplicația_video utilizează, în primă fază, pentru detecția feței, unul din clasificatoarele haarcascade_frontalface_default sau lbpcascade_frontalface. Clasificatorul de detecție a feței a fost setat să cuprindă regiuni cu dimensiunile între 24% și 88% din mărimea cadrului original. În continuare, după ce detecția feței a fost realizată cu succes, s-au folosit următoarele două clasificatoare pentru fiecare ochi în parte: haarcascade_lefteye_2splits și haarcascade_righteye_2splits. La final, odată ce ochii au fost corect detectați, se caută și se extrage zona pupilei, ca fiind cel mai întunecat punct din imagine. Faza de antrenament a fost setată la 5 cadre consecutive detectate corect. Aplicația poate să comande declanșarea alarmei dacă șablonul inițial (cel din faza de antrenament) nu mai este detectat pentru o perioadă de timp de 800 ms.

În cadrul Aplicației_fizio s-au dezvoltat algoritmi de achiziție, actualizare și stocare a datelor în urma sincronizării, prin protocolul de comunicație Bluetooth, dintre telefonul mobil inteligent și senzorii de monitorizare a parametrilor fiziologici relevanți. Generarea alarmelor se realizează în funcție de eșantionarea și calibrarea datelor în funcție de utilizator, dar și de valorile limită predefinite și setate conform studiilor din cap. 3. Cu cât conducătorul auto folosește mai des aplicația, cu atât media valorilor măsurate va fi mai precisă.

Integrarea celor două aplicații s-a realizat prin crearea unei interfețe grafice ușor de utilizat. Prin prezentarea caracteristicilor hardware utilizate, dar și a conceptelor software integrate, s-a realizat conturarea obiectivelor specifice tezei, prin concepția, dezvoltarea și implementarea unui sistem de monitorizare a parametrilor fiziologici relevanți și a percepției vizuale la limită pentru conducătorii auto. Având în vedere accesibilitatea și portabilitatea atât a dispozitivelor medicale folosite, cât și a telefonului inteligent, sistemul propus poate fi asistent în procesul de conducere al oricărui conducător auto, independent de dotările autovehiculului.

6. STUDII EXPERIMENTALE

6.1 STUDII EXPERIMENTALE ÎN MEDII VIRTUALE

Experimentele în realitate virtuală au la bază reprezentări ale realității prin modelări și simulări pe calculator ale sistemelor reale, care prin rezultatele obținute permit utilizatorului să aprecieze și/sau să valideze comportamentul și performanțele sistemului *DriverLife* care apoi, după eventuale corecții să fie testat în mediul real.

6.1.1 STRUCTURA SISTEMULUI EXPERIMENTAL

6.1.1.1 STRUCTURA ȘI FUNCȚIONAREA SUBSISTEMELOR

Structura sistemului pentru studii experimentale în realitate virtuală pe care s-au implementat toate modulele software dezvoltate este prezentată în fig. 6.1. Principala resursă pe care s-a dezvoltat sistemul experimental este reprezentată de simulatorul de conducere EF-X de la ECA-Faros (fig. 6.1). Acest tip de simulator a fost validat și utilizat și în alte studii de conducere în mediul virtual privitor la comportamentul conducătorilor auto în diverse situații și condiții de trafic [Hughes, 2013; Rudin-Brown, 2014; Beanland, 2014; Edquist, 2012; Rosenbloom, 2014; Postelnicu, 2016; Dumitru, 2018].

În interiorul cabinei sistemului EF-X s-au montat două camere video, una poziționată pe partea de sus a centrului display-ului LCD pentru urmărirea capului conducătorului auto (Camera video 2) și cealaltă pe plafon, în spate, pentru urmărirea mediului virtual de trafic (Camera video 1), ambele fiind sincronizate pentru înregistrarea unui cadru pe secundă. Această frecvență, determinată de performanțele camerelor video, simplifică procesarea și asigură o calități de stabilizare și focalizare a imaginilor bune. Sistemul Tobii X120 de urmărire a direcției privirii și, implicit, a distragerilor acesteia a fost poziționat la baza ecranului LCD spre centru, iar lângă acesta, în partea dreapta s-a poziționat telefonul inteligent (Samsung Galaxy S4 mini) pe care rulează aplicația *DriverLife*. Toate resursele mai sus menționate au fost setate pentru ca datele și informațiile să fie achiziționate sincronizat folosind aceeași bază de timp.

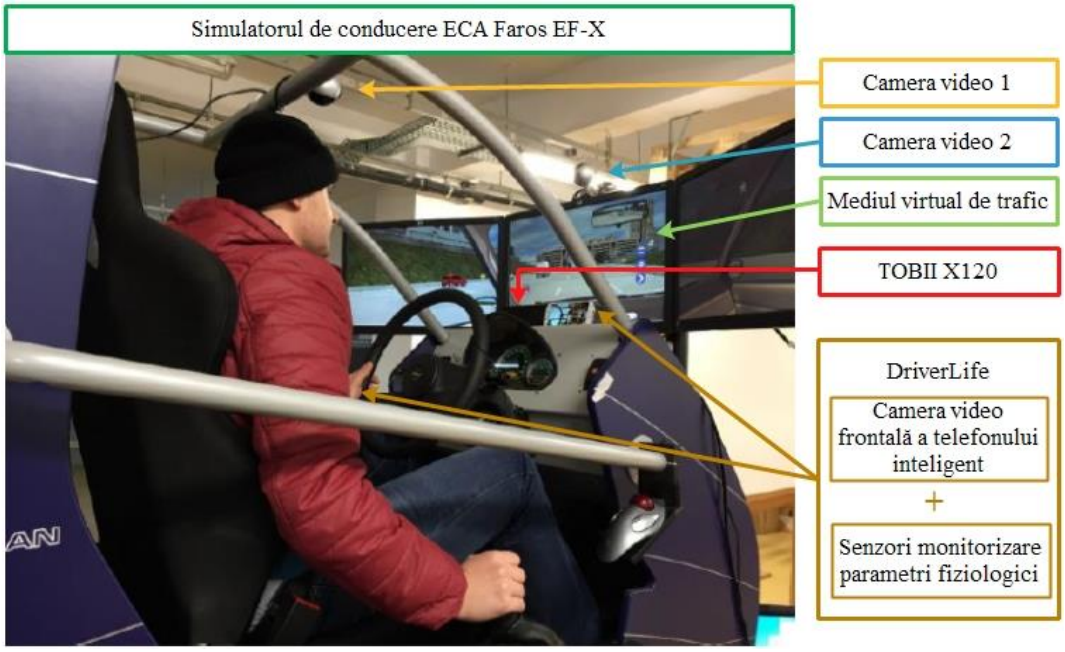


Fig. 0.1 *Structura sistemului experimental în realitate virtuală*

6.1.2 DESCRIEREA ȘI PLANIFICAREA EXPERIMENTELOR

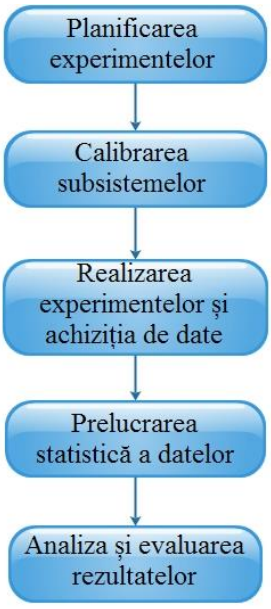


Fig. 0.2 *Etapele de realizare a experimentelor*

În fig. 6.7 sunt prezentate etapele principale ale metodologiei de planificare, realizare, prelucrare și evaluare a experimentelor.

Pentru experimente s-au selectat 17 studenți (14 bărbați și 3 femei, cu vârstele între 25,88 ± 5,82 ani. Toți participanții au permis de conducere valabil (de 6,47 ± 4,45 ani), sunt sănătoși și nu au deficiențe majore de vedere, nici unul dintre ei nepurtând ochelari sau lentile de contact. Timpul mediu de conducere auto în perioada unei săptămâni a fost de 6,29 ± 4,14 ore. Aceștia au fost de acord să folosească propriul cont de Facebook, aplicație instalată pe propriul telefon inteligent. Dimensiunile ecranelor telefoanelor inteligente utilizate de către participanți au variat între 5 și 5,5țoli. Toate activitățile efectuate în cabina simulatorului de conducere Faros EF-X, au fost grupate într-o singură sesiune, de aproximativ, o oră pentru fiecare participant.

Participanții, mai întâi, au citit și semnat un document de consimțământ prin care și-au dat acordul privind participarea la experimente, precum și pentru prelucrarea datelor. Apoi, aceștia au fost instruiți să efectueze toate secvențele de conducere cu distragerea privirii prin utilizarea propriilor telefoane.

Înainte de a intra în simulator, participanții au primit informații detaliate privind scenariile de conducere care se vor derula în cadrul experimentelor. Aceștia au fost instruiți să completeze un chestionar la sfârșitul scenariului de bază și un alt chestionar la sfârșitul întregului experiment. Primul chestionar este focusat pe evaluarea funcționalității și performanțelor sistemului *DriverLife* și cel de-al doilea pe aspecte calitative privind atitudinea față de utilizarea telefoanelor inteligente și a rețelelor sociale, performanțele de conducere, conducerea în siguranță, disconfortul și utilitatea acestui sistem.

În continuare, participanții au fost invitați în cabina simulatorului de conducere și au fost instruiți cum să regleze scaunul și oglinzile și cum să pună centura de siguranță, pentru a avea o stare de conducere cât mai confortabilă și cât mai naturală. Pentru a se familiariza (acomoda) cu simulatorul virtual, participanții au efectuat o sesiune de conducere la liber, ce a durat 5 minute, pe o rută virtuală diferită de cea care va fi utilizată în experiment. După sesiunea de familiarizare, simulatorul a fost configurat să afișeze și să stocheze toate erorile de conducere pe care le face participantul care conduce liber într-un trafic mediu, pe timp de zi, în mediul rural, cu o viteză medie de 80 km/h și cu maxim 50 km/h în zonele cu limitare de viteză.

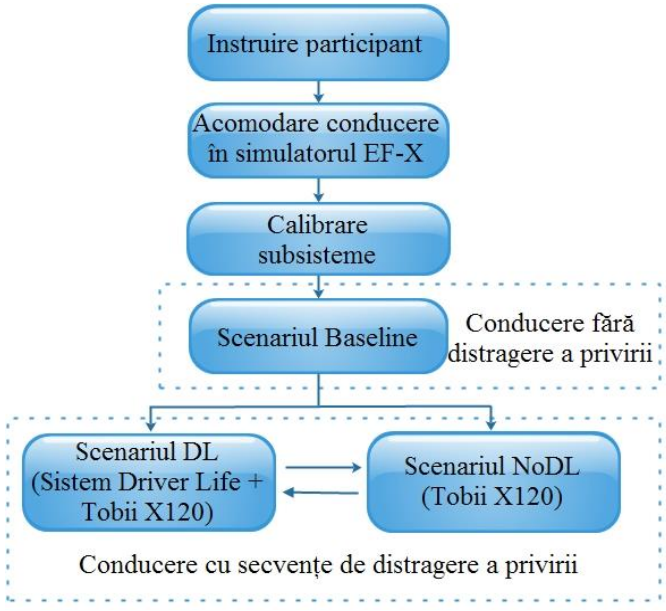


Fig. 0.3 *Procedura generală de realizare a experimentelor*

În plus, participanții au fost instruiți să respecte regulile de circulație (viteza legală, acordarea priorității, semnele de circulație, părăsirea benzii, distanta față de celelalte autovehicule și, cea mai importantă, evitarea coliziunilor), cu recomandarea de conducere în condiții de siguranță,

urmând finalizarea sarcinilor impuse [Reimer, 2014].

Fiecare participant a efectuat trei scenarii de câte 10 minute. În primul scenariu, de referință (*Baseline*), a trebuit să conducă normal, fără urmărirea privirii și, deci, fără distragerea acesteia. Celelalte două scenarii au fost identice, presupunând conducerea pe același traseu, dar cu secvențe distincte de distragere a privirii. Pentru a evidenția efectele utilizării sistemului *DriverLife* pentru unul dintre scenarii a fost folosit doar dispozitivul de urmărire a ochilor (scenariul NoDL), în timp ce în celălalt, alături de dispozitivul de urmărire a ochilor, a fost utilizat și sistemul *DriverLife* (scenariul DL). În timpul scenariului DL, participanții au fost instruiți ca să își concentreze privirea către scena de trafic ori de câte ori se va declanșa alarma sistemului *DriverLife*. Toți utilizatorii au început sesiunea de conducere cu scenariul Baseline. Apoi, li s-a acordat o scurtă pauză de aproximativ 3 minute, urmată de scenariile DL și NoDL (fig. 6.8). Nouă participanți au început cu scenariul NoDL, iar ceilalți au început cu scenariul DL. În funcție de scenariul precedent, fiecare participant a finalizat și ultimul tip de scenariu, NoDL sau DL. Pentru a avea siguranța că stările fiziologice și psihologice ale fiecărui participant sunt cvasi-aceleași la toate experimentele, s-a ales ca toate scenariile să se efectueze într-o singură sesiune, durata totală a experimentelor fiind aproximativ o oră.

În timpul scenariilor de conducere cu secvențe de distragere a privirii, participanții au primit notificări pe telefonul mobil prin intermediul aplicației de socializare Facebook. Anterior, aceștia au fost rugați să accepte solicitarea de prietenie din partea contului de Facebook *Driver Simulation*, creat, în mod special, pentru realizarea acestui studiu experimental.

Notificările din contul de Facebook, primite de participanți, au fost urmărite, într-o ordine aleatorie la diferite intervale de timp. Participanții, inițial, au fost instruiți să urmeze indicațiile din notificările primite care conțin trei tipuri de distragere a privirii:

- de apăsare a butonului *like*, în cazul recepționării unei fotografii trimise de experimentator;
- de efectuare a unui *check-in* la locul de desfășurare a experimentelor;
- notificări în care li se cere participanților să comenteze (*comment*), cu fraza *I'm driving!* (Conduc!), la poza transmisă.

Participanții au fost nevoiți să își manipuleze singuri telefoanele inteligente în timpul derulării procesului de conducere, respectând recomandarea de ținere a telefonului în sus cu mâna dreaptă, undeva la nivelul volanului de conducere [Drews, 2009].

Pentru a compara cât de repede pot realiza participanții sarcinile de distragere a privirii cu telefonul inteligent, a fost făcută o sesiune de control înainte de a intra în simulator, când timpul pentru fiecare acțiune a fost contorizat. Această proces a fost realizat în sesiunea de antrenament preliminară.

6.1.3 CALIBRAREA SUBSISTEMELOR ȘI ACHIZIȚIA DATELOR

6.1.3.1 CALIBRAREA DISPOZITIVULUI DE URMĂRIRE A PRIVIRII

Înainte de experimente, pentru fiecare participant, s-a realizat o calibrare a sistemului de urmărire a direcției privirii cu ajutorul software-ului Tobii Studio. Această calibrare presupune urmărirea de către participant pe screen-ul monitorului central a unui punct galben în 5 locații diferite de la o distanță de 70 de centimetri față de dispozitivul Tobii X120 și cu o deschidere de maxim 35º față de marginile monitorului [www24].

6.1.3.2 ACHIZIȚIA DATELOR DE LA DISPOZITIVUL DE URMĂRIRE A PRIVIRII

Pentru dezvoltarea aplicației de achiziție și salvare a datelor a fost utilizat pachetul software Tobii SDK. Acesta permite crearea de aplicații personalizate în funcție de cerințele

Tab. 0.1 *Structura datelor salvate (valorile coordonatelor sunt în mm)*

Ora	X_s	Y_s	Z_s	X_d	Y_d	Z_d	x_s	y_s	z_s	x_d	y_d	z_d
07:10: 37,61	-2,50	-2,7	66,6	3,54	-2,96	67,4	20,2	2,0	-26,3	18,7	2,7	-26,3
07:10: 37,62	-2,33	-2,8	66,6	3,68	-3,12	67,3	23,2	-1,8	-26,3	21,7	-1,3	-26,3
07:10: 37,630	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
….	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
07:10: 39,223	1,21	-2,6	56,6	7,18	-2,97	56,6	-0,8	22,9	-26,3	0,43	23,4	-26,3

experimentelor. În tab. 6.1 se prezintă structura datelor de tip text, achiziționate și salvate cu Tobii SDK în fișierul cu rezultate.

Din datele brute obținute, prin intermediul limbajului de programare C++, s-a realizat o aplicație care calculează, conform algoritmului din fig. 6.12, în mod automat, numărul de distrageri și durata acestora realizate de un participant, în timpul unei sesiuni (v. anexa 1).

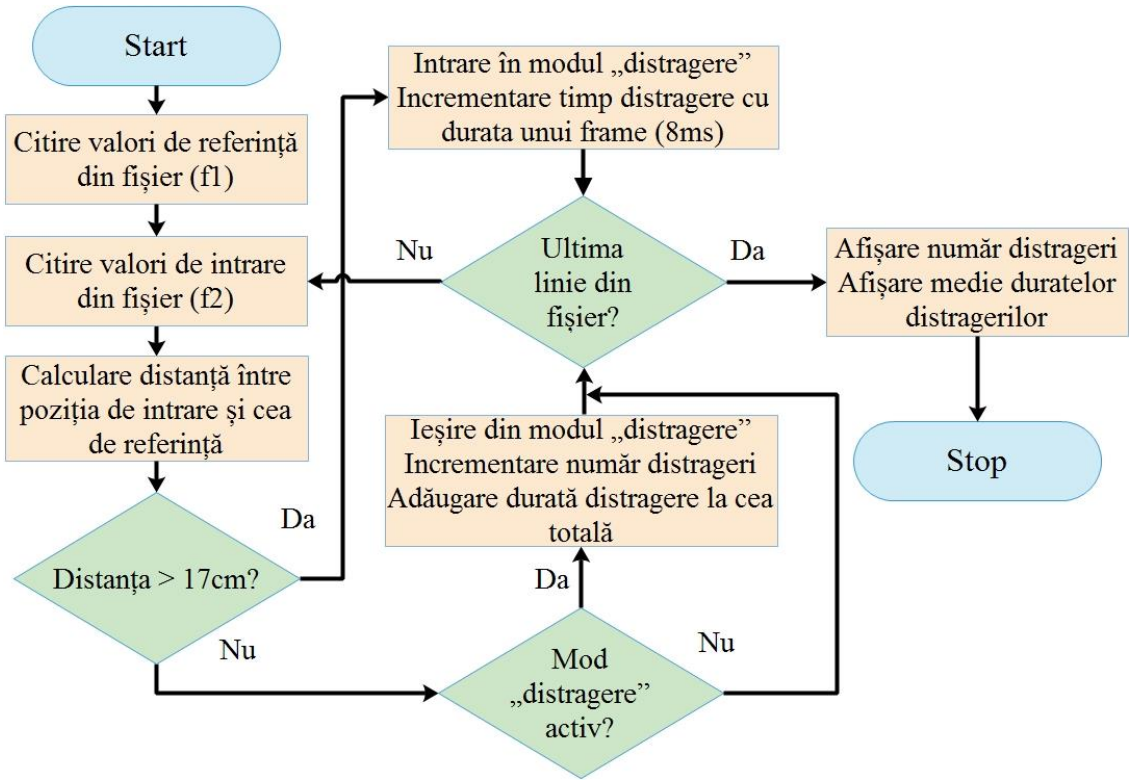


Fig. 0.4 *Algoritmul de prelucrare a datelor de la dispozitivul Tobii X120*

6.1.3.3 ACHIZIȚIA DE IMAGINI DE LA CAMERELE VIDEO

Imaginile capturate cu cele două camere C200 Logitech au fost salvate pe două laptopuri care au fost sincronizate în aceeași baza de timp, pentru o prelucrare ulterioară mult mai facilă. Ambele camere video au fost setate sa realizeze câte o imagine pe secundă. În partea de analiză, au fost considerate doar seturile de imagini cuprinse între începutul și sfârșitul fiecărui scenariu, pentru fiecare participant.

6.1.3.4 ACHIZIȚIA DE DATE DE LA SIMULATORUL DE CONDUCERE

Simulatorul ECA EF-X a fost configurat ca la sfârșitul fiecărui scenariu să afișeze un raport cu performanțele de conducere. Pentru fiecare participant în parte s-a realizat câte o captură de ecran a raportului, la fiecare sfârșit de scenariu (v. fig. 6.4). Centralizarea tuturor datelor achiziționate este prezentată în tab 6.2, în care, D1 reprezintă numărul de părăsiri de bandă, D2 – numărul depășirilor de viteză, D3 – numărul de apropieri periculoase față de autovehicule din față și D4 – viteza medie de deplasare în km/h.

Tab. 0.2 *Datele furnizate de simulatorul EF-X*

Participanți	Scenariul Baseline				Scenariul NoDL				Scenariul DL			
	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
P1	1	0	0	61,96	6	0	0	57,58	5	0	0	57,91
P2	12	1	6	55	29	1	2	59,18	13	0	2	40,63
P3	7	0	0	59,89	38	0	3	58,8	27	0	1	53,34
P4	1	0	0	60,76	6	0	1	58,1	8	0	0	57,2
P5	1	1	0	59,65	7	0	0	58,7	10	0	0	55,3
P6	8	1	2	68,48	30	2	4	66,2	20	0	3	64,3
P7	0	0	0	61,23	13	0	0	63,2	4	0	2	51,3
P8	0	0	0	65,2	3	0	1	64,2	4	0	1	57,3
P9	5	1	3	69,09	17	1	3	68,4	10	1	2	59,6
P10	1	0	3	55,6	28	1	4	54,8	12	1	0	45,5
P11	1	0	3	63,18	2	0	1	58,2	4	0	0	51,1
P12	3	0	1	68,17	14	0	4	62,4	17	0	1	54,5
P13	7	0	3	68,98	15	0	3	61,2	13	1	3	60,5
P14	3	1	2	59,2	10	0	5	64,5	4	0	0	57,8
P15	2	0	0	52,65	23	0	1	54,4	12	0	0	48,2
P16	3	0	0	64,2	20	1	1	61,3	15	0	0	55,63
P17	1	0	0	57,5	3	0	0	59,6	1	0	0	52,4

6.1.5 ANALIZA ȘI EVALUAREA REZULTATELOR

6.1.5.1 CARACTERISTICI DE CONDUCERE RELEVANTE

Testul ANOVA, pentru măsurători repetate, efectuat pentru numărul de părăsiri de bandă, a evidențiat diferențe semnificative din punct de vedere statistic între cele trei scenarii $F(2,32) = 25,56$; $p < 0,001$, în care, $F(2, 32)$ reprezintă testul statistic F cu 2 și 32 grade de libertate semnificativ la nivelul de 0,001. Testul Tukey cu comparații multiple a arătat că participanții au depășit linia mediană a benzii de mers mult mai des în scenariul NoDL decât în scenariile Baseline și DL, chiar și decât în perechea DL – Baseline. În fig. 6.13a este prezentat numărul de părăsiri de bandă pentru fiecare scenariu: 3,294 ± 3,387, pentru Baseline; 15,529 ± 10,955, pentru NoDL și 10,529 ± 6,793, pentru DL.

Valorile asociate numărului depășirilor de viteză (fig. 6.13b) nu au evidențiat diferențe din punct de vedere statistic ($F(2, 32) = 0,767$; $p > 0,05$), chiar dacă, în medie, pentru scenariul DL s-au înregistrat mai puține erori comparativ cu valorile celorlalte două scenarii: 0,29 ± 0,46, pentru Baseline; 0,35 ± 0,6, DL; 0,17 ± 0,39, pentru NoDL.

În fig. 6.13c se evidențiază diferențe semnificative din punct de vedere statistic pentru parametrul asociat numărului de apropieri periculoase față de autovehicule din față ($F (2, 32) =$

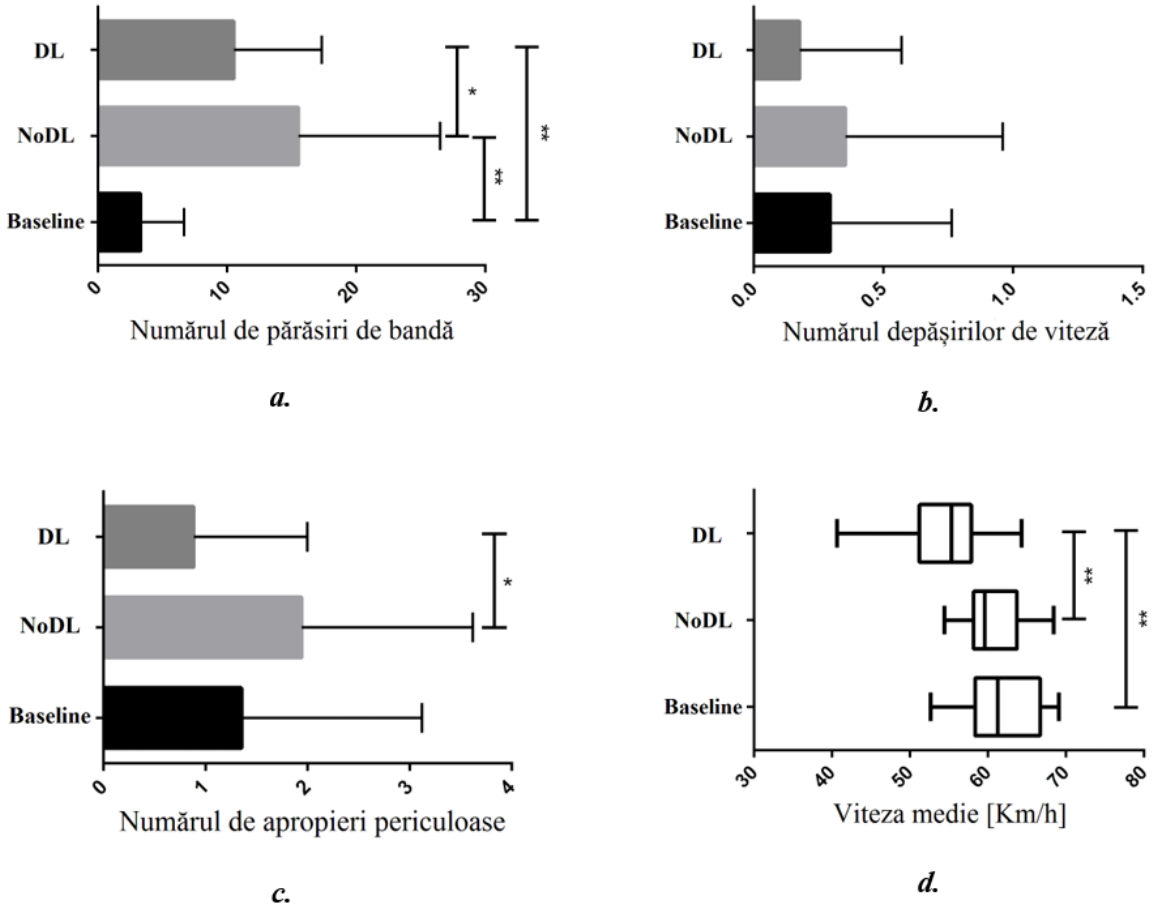


Fig. 0.5 *Evaluarea statistică pe scenarii și parametri:* ***a*** *- numărul de părăsiri de bandă;* ***b*** *- numărul depășirilor de viteză;* ***c*** *- numărul de apropieri periculoase față de autovehicule din față;* ***d*** *- viteza medie*

3,345; p < 0,05), iar testul Tukey prin analiza post-hoc a evidențiat diferențe reduse între scenariile NoDL (1,941 ± 1,67), DL (0,88 ± 1,11) și Baseline (1,353 ± 1,765), cu p < 0,05.

Testul ANOVA pentru parametrul asociat vitezei medii a evidențiat diferențe semnificative din punct de vedere statistic, F(2, 32) = 35,5; p < 0,001. Testul Tukey și analiza post-hoc au evidențiat diferențe semnificative între scenariile Baseline (61,8 ± 5,08 km/h) și NoDL (60,63 ± 3,82 km/h), p < 0,001, precum și între perechile NoDL și DL (54,26 ± 5,8 km/h), p < 0,001 (fig. 6.13d).

6.1.5.2 CARACTERISTICI ALE DISTRAGERII PRIVIRII

În plus, experimentele realizate au condus și analiza numărului și duratelor distragerilor efectuate în timpul scenariilor NoDL și DL pentru fiecare factor de distragere considerat. Pentru această analiză au fost selectate doar distragerile efectuate în perioada în care participantul a realizat una dintre secvențele specifice.

6.1.5.2.1 FRECVENȚA DISTRAGERILOR PRIVIRII

În cadrul acestei analize s-au comparat datele obținute în sesiunea de control (antrenament) cu valorile obținute în timpul scenariilor NoDL și DL. Au fost luate în considerare doar intervalele de timp în care participanții au îndeplinit efectiv secvențele specifice. Pentru a determina timpul de finalizare a fiecărei secvențe de distragere, de către participanți, în afara

Tab. 0.3 *Mediile numerelor de distrageri ale privirii și ale duratelor acestora*

Tipul scenariului și distragerii	Media numărului de distrageri	Durata distragerilor (s)	Frecvența distragerilor (nr./min)
Scenariul NoDL			
Like	8,47 ± 4,86	2,32 ± 0,94	0,847
Check-in	23,05 ± 14,09	2,48 ± 0,87	2,305
Comment	15,58 ± 7,92	2,44 ± 1,28	1,558
Scenariul DL			
Like	8,11 ± 4,58	1,68 ± 0,56	0,811
Check-in	20,17 ± 13,05	1,87 ± 0,59	2,017
Comment	15,70 ± 5,28	1,93 ± 0,49	1,570

simulatorului de conducere, sesiunea de control a fost efectuată înainte de sesiunile de conducere.

Prin realizarea testului t cu eșantioane perechi (cu dispersii egale), s-au evidențiat diferențe semnificative privind numărul de distrageri pentru fiecare secvență în parte: *like*, t(16) = 0,296 cu p = 0,77; *check-in*, t(16) =1,165 cu p = 0,261 și *comment*, t (16) = 0,067 cu p = 0,947.

Prin compararea valorilor obținute de la fiecare secvență de distragere a privirii, media numărului de distrageri este aproximativ egală în ambele scenarii (tab. 6.3). Frecvența distragerilor s-a determinat prin împărțirea mediei numărului de distrageri la timpul de derulare a scenariului, 10 minute.

6.1.5.2.2 DURATELE PERIOADELOR DE DISTRAGERE A PRIVIRII

Un alt factor care a fost luat în considerare pentru evaluarea comportamentului de conducere asistat de sistemului *DriverLife*, a fost cel legat de duratele distragerilor impuse de urmărirea unor acțiuni pe Facebook. Prin compararea rezultatelor privind durata distragerilor privirii pentru toate cele trei tipuri de sarcini, s-au evidențiat diferențe semnificative din punct de vedere statistic între scenariile NoDL și DL: t(16) = 3,44 cu p < 0,001, pentru sarcina *like*; t(16) = 3,142 cu p = 0,0063, pentru sarcina *check-in* și t(16) = 2,153 cu p = 0,047, pentru sarcina *comment*. Durata distragerilor este calculată ca media tuturor distragerilor fiecărui participant.

După finalizarea analizei, s-a constatat o diferență semnificativă din punct de vedere statistic pentru scenariul DL privind timpul de finalizare a fiecărei secvențe: F(2, 32) = 32,92 cu p < 0,0001 pentru *like*; F(2, 32) = 26,89 cu p < 0,0001 pentru *check-in*, și F(2, 32) = 27,43, p < 0,0001 pentru *comment*. Cu toate acestea, după ce s-a realizat testul Tukey de comparații multiple, diferența dintre aceste trei seturi de date a evidențiat faptul că participanții au efectuat mai rapid sarcinile cerute (*like, check-in* și *comment*) în sesiunea de control, decât în cazul scenariilor NoDL și DL (p < 0,001). Mai mult decât atât, pentru timpul de îndeplinire al secvenței *check-in* s-a constatat o diferență semnificativă din punct de vedere statistic între scenariile NoDL și DL (p < 0,05). În schimb, în cazul sarcinilor de distragere *like* și *comment*, nu s-au prezentat diferențe din punct de vedere statistic în ceea ce privește timpului de îndeplinire a fiecărei secvențe, atât pentru scenariul NoDL (p < 0,05), cât și pentru scenariul DL (p < 0,05).

Duratele secvențelor din scenariul NoDL: 31,76 ± 13,3s pentru *like*, 83,35 ± 40,1s pentru *check-in*, 53,53 ± 20,3s pentru *comment* și din DL: 26,82 ± 11s pentru *like*, 62,05 ± 28,5s pentru *check-in*, 52,76 ± 21,6s pentru *comment* au fost mai mari decât cele din sesiunea de control: 11,11 ± 3,53s pentru *like*, 39,11 ± 12,17s pentru *check-in*, și, respectiv, 26,35 ± 6,54s pentru *comment*. După cum se poate observa, participanții au parcurs perioade mai lungi de timp pentru a îndeplini fiecare sarcină, deoarece au acordat mai multă atenție scenei de trafic. De asemenea, prin compararea scenariului NoDL cu DL se poate observa că în scenariul DL, participanții au

îndeplinit, în medie, sarcinile mult mai repede pentru factorii *like* și *check-in*. Prin primirea de alerte emise de sistemul *DriverLife*, în momentul în care nu se acorda suficientă atenție scenei de trafic, participanții au fost „forțați" să se concentreze mai mult asupra activității de conducere și nu au îndeplinit în detaliu fiecare secvență, rezultând durate de distragere mai mici în scenariul DL. Media duratelor distragerilor este semnificativ mai mică în scenariul DL, cu 0,587s. Aceasta se explică prin faptul că participantul este conștient că nu acordă suficientă atenție scenei de trafic, deoarece alertele sunt întotdeauna declanșate atunci când se concentrează pe o sarcină secundară, care nu are legătură cu activitatea de conducere.

6.1.5.3 CARACTERISTICI DE EFICIENȚĂ A SISTEMULUI *DriverLife*

Pentru evaluarea percepției participanților cu privire la sistemul *DriverLife* și punctul lor de vedere privitor la performanțele acestuia, după realizarea celor trei experimente, au completat chestionarul din anexa 2.

Teste t cu eșantioane perechi (cu dispersii egale) au fost efectuate și pentru evaluarea percepției participanților referitor la siguranța în timpul procesului de conducere. Aceștia au fost rugați să evalueze cât de greu a fost să respecte toate regulile de circulație între scenariul Baseline, atunci când nu a existat nici o secvență de distragere a privirii, și celelalte două scenarii, în care participanții au condus utilizând propriile telefoane mobile inteligente. Din analiza datelor s-a constatat o diferență semnificativă din punct de vedere statistic ($t(16) = 10,25$ cu $p < 0,001$), ceea ce a evidențiat că participanților le-a fost mai greu să respecte toate regulile de circulație, atunci când au avut de îndeplinit secvențe de distragere a privirii.

6.1.6 COMENTARII PRIVIND REZULTATELE EXPERIMENTELOR ÎN MEDIUL VIRTUAL

Studiul experimental realizat cu simulatorul virtual a avut scopul principal de a investiga modul în care sistemul *DriverLife*, integrat pe telefonul mobil inteligent, influențează caracteristicile de conducere în momentele în care conducătorul auto are privirea distrasă de diverse acțiuni de pe rețelele de socializare care în acest studiu a urmărit investigarea, în mod particular, a efectelor a trei secvențe distincte *like*, *check-in* și *comment*.

Analiza statistică arată că pentru variabilele numărul de părăsiri de bandă și media de viteză au existat diferențe semnificative din punct de vedere statistic între scenariile Baseline și NoDL. În consecință, acest fapt indică un grad ridicat de risc pentru producerea de accidente. În scenariul NoDL, viteza medie a scăzut în comparație cu scenariul Baseline deoarece participanții au avut sentimentul că desfășoară acțiuni care implică un grad ridicat de risc în timpul procesului de conducere, și prin urmare, au redus viteza.

Concluziile sugerează că participanții și-au îmbunătățit performanța de conducere în scenariul DL comparativ cu scenariul NoDL. Acest lucru se evidențiază prin scorurile asociate caracteristicilor de conducere măsurate în toate scenariile evaluate. Așa cum era de așteptat, performanța de conducere a participanților a scăzut în scenariile DL și NoDL, în comparație cu cea obținută prin derularea scenariului Baseline.

Analiza privind caracteristicile proceselor de conducere a evidențiat că participanții au condus mai precauți atunci când au primit avertismente audio de la sistemul *DriverLife*. Acest fapt este evidențiat prin scăderea numărului de părăsiri de bandă, mai puține apropieri periculoase față de celelalte autovehicule din banda de mers, și o viteză medie mai mică în cazul scenariului DL comparativ cu scenariul NoDL. Comparând scenariile NoDL și DL, se poate sublinia faptul că numărul depășirilor de viteză a scăzut în medie cu 43,43%, numărul părăsirilor de bandă a fost redus cu 32,198%, iar numărul apropierilor periculoase față de celelalte autovehicule cu 54,662%. Mai mult, variabila asociată mediei de viteză a scăzut cu 10,506%. Eficiența sistemului *DriverLife* este indicată și de micșorarea duratelor distragerilor, în

momentul în care participanții au avut de efectuat secvențe de distragere impuse de activități de pe rețelele de socializare, Facebook. Acest lucru evidențiază faptul că participanții și-au concentrat privirea asupra propriilor telefoane inteligente pentru perioade mai scurte de timp, acordând o atenție mai mare scenei de trafic. Acest lucru a fost evidențiat și în alte studii din literatura de specialitate [Basacik, 2011; Young, 2014], în care conducătorii auto și-au îndepărtat privirea din spre centrul drumului de mai multe ori atunci când foloseau telefoanele inteligente pentru scrierea și citirea de mesaje.

Prin realizarea analizei duratelor secvențelor de distragere în cazul scenariului DL, s-a constatat, în medie, că participanții au realizat mult mai repede sarcinile *like* și *check-in*, în timp ce sarcina *comment* a avut valori similare în comparație cu cele din scenariul NoDL. Astfel, participanții au fost mai conștienți de faptul că trebuie să se concentreze asupra scenei de trafic, stimulați și de avertizările audio emise de sistemul *DriverLife*. Astfel, fiind conștienți de riscurile implicate, chiar dacă au finalizat secvențele de distragere cu *succes*, aceștia au acordat mai puțină atenție telefonului inteligent. Rezultatele sunt în concordanță cu studiile anterioare, realizate pe simulatoare virtuale, în care conducătorii auto au avut o performanță mai slabă atunci când au trimis și citit mesaje de pe o rețea de socializare [Basacik, 2011].

Concluziile rezultate, în urma prelucrării chestionarelor finale au evidențiat că participanții au fost ajutați în procesul de conducere de către sistemul *DriverLife*, și ar dori să folosească această aplicație în viitor. Chiar dacă au fost deranjați de sunetul alarmei, aceștia s-au simțit în siguranță în timp ce utilizau sistemul *DriverLife*.

6.2 STUDII EXPERIMENTALE ÎN MEDIUL REAL

6.2.1 INSTALAREA SISTEMULUI *DriverLife* LA POSTUL DE CONDUCERE

În fig. 6.14 este prezentată poziționarea la nivelul postului de conducere a sistemului *DriverLife*. Telefonul mobil inteligent este fixat cu ajutorul unui suport (car kit) montat de parbriz, dar există și posibilitatea de poziționare pe bord. Camera video a telefonului inteligent nu trebuie să fie mascată de nici un fel de obiect, deoarece va conduce la alarme false. Totodată, car kit-ul împreună cu telefonul mobil trebuie să nu afecteze vizibilitatea conducătorului auto în procesul de conducere. La mâna stângă a conducătorului auto este montat dispozitivul cu senzorii de măsurare a parametrilor fiziologici relevanți.

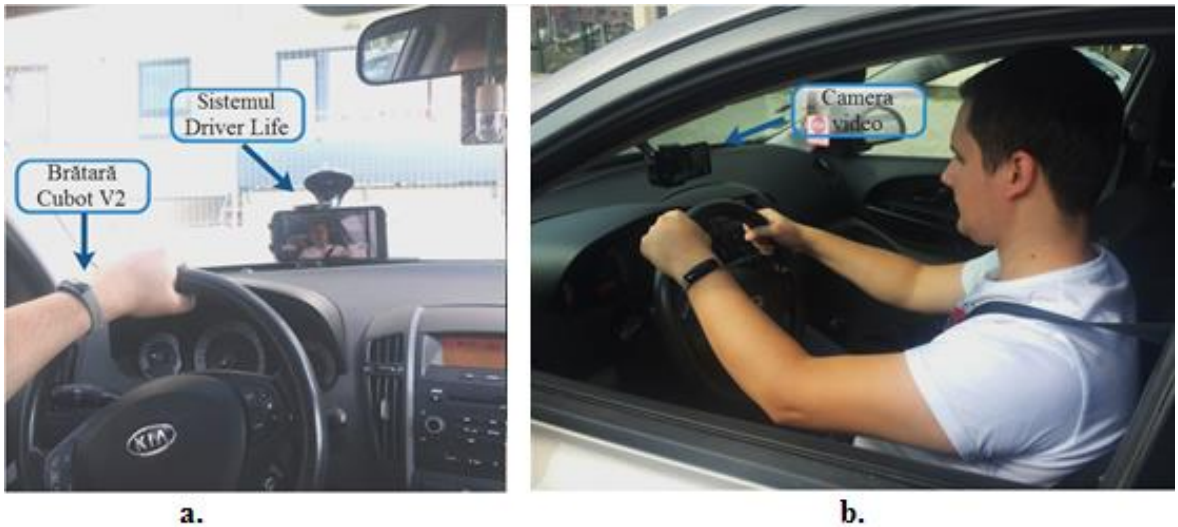


Fig. 0.6 *Instalarea sistemului DriverLife la postul de conducere:* ***a*** *– vedere din spate,* ***b*** *– vedere laterală*

6.2.2 CALIBRAREA ȘI TESTAREA SISTEMULUI *DriverLife*

Așa cum a fost prezentat în subcap. 5.4, parametrii din Aplicația_video au fost inițial stabiliți valoric, în funcție de geometria medie a feței umane, urmând ca ajustarea (calibrarea) fină pentru caracteristicile conducătorului auto, să fie realizată ulterior, în urma unor teste de calibrare. În cadrul acestui proces se vor urmări ajustări (personalizări) privind valorile următorilor parametri: dimensiunea feței relevante în raport cu dimensiunea totală a imaginii; distanța dintre ochii conducătorului auto și camera video a telefonului; poziția ochilor relativ la fața observată; rata de eroare de detecție a feței în timpul funcționării aplicației în diferite condiții de luminozitate dependente de vreme și mediul exterior.

În scopul realizării acestor ajustări, au fost colectate câte două seturi de imagini, când autovehiculul nu se află în mișcare (condiții statice, fig. 6.15), folosind un număr de 6 participanți (4 bărbați și 2 femei) și în condiții de deplasare a autovehiculului (condiții de trafic), pentru un singur participant (fig. 6.16).

Funcțiile OpenCV pentru detectarea feței acceptă ca parametri limită, un minim și un maxim al zonei feței care este comparată cu șablonul. Prin calibrarea atentă a acestor extreme se pot elimina fețele adiționale din imaginile capturate, care sunt, de regulă, mai mici decât cea a conducătorului auto. Astfel, se poate optimiza timpul de răspuns al aplicației prin reducerea numărului de iterații necesare procesării fiecărui cadru. Pentru analiza acestor parametri s-a folosit setul static de imagini.

Fig. 0.8 *Seturi de imagini în condiții statice:* ***a*** *-* ***20170725_175845.jpg****;* ***b*** *-* ***20180812_132613.jpg****;* ***c*** *-* ***20180812_132434.jpg****;* ***d*** *-* ***20180812_132900.jpg****;* ***e*** *-* ***20170725_181402.jpg****;* ***f*** *-* ***20180812_132752.jpg***

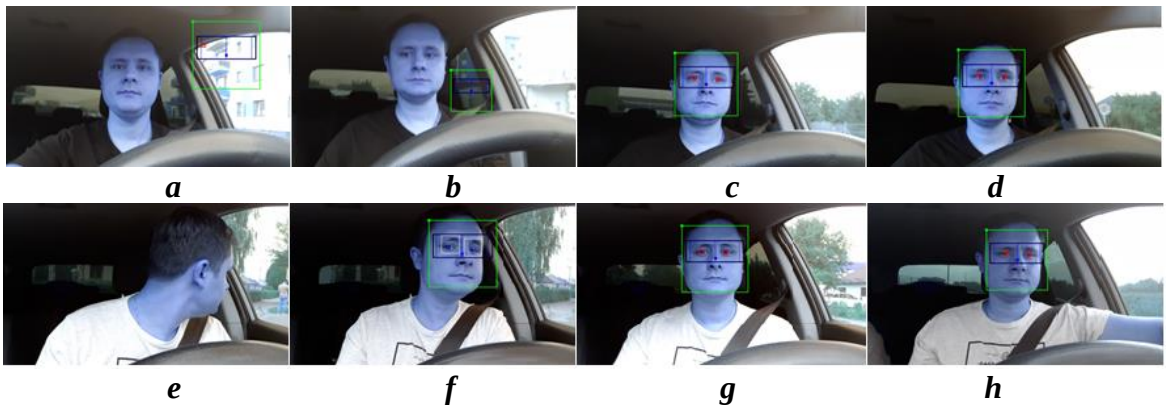


Fig. 0.7 *Seturi de imagini în condiții de trafic:* ***a, b*** *– detecție fals pozitivă;* ***c, d, g, h*** *– detecție corectă;* ***e*** *– declanșare alarmă;* ***f*** *– recalibrare DriverLife*

Tab. 0.4 *Ratele erorilor de detecție*

Nr. crt.	Set de date	Nr. fețe detectate	Nr. fețe detectate eronat	Rata de eroare
1	Set imagini statice	73	24	32,84%
2	Set imagini în trafic (ID1)	111	5	4%
3	Set imagini în trafic (ID2)	150	0	0%

Detecția erorilor este un proces ce nu poate fi automatizat, din moment ce aplicația are detecții fals pozitive (fig. 6.16a,b) ce nu pot fi validate momentan printr-o metodă redundantă. Detecțiile fals negative nu au fost analizate, rata lor de apariție fiind extrem de rară (una sau două apariții/set). În tab. 6.6 se pot observa ratele de eroare a aplicației, în etapele cu autovehiculul stând pe loc și în trafic, folosind setul de imagini statice și cele două seturi de imagini în trafic.

6.2.3 TESTE DE MONITORIZARE A PRIVIRII

Mediul real de conducere în trafic este mult diferit de cel al simulărilor de calibrare cu autovehiculul oprit, deoarece acesta implică adaptabilitate continuă, iar prin reîncercări (time-out) în timpul rulării, se introduc seturi de variabile (fundal în mișcare, variații de luminozitate).

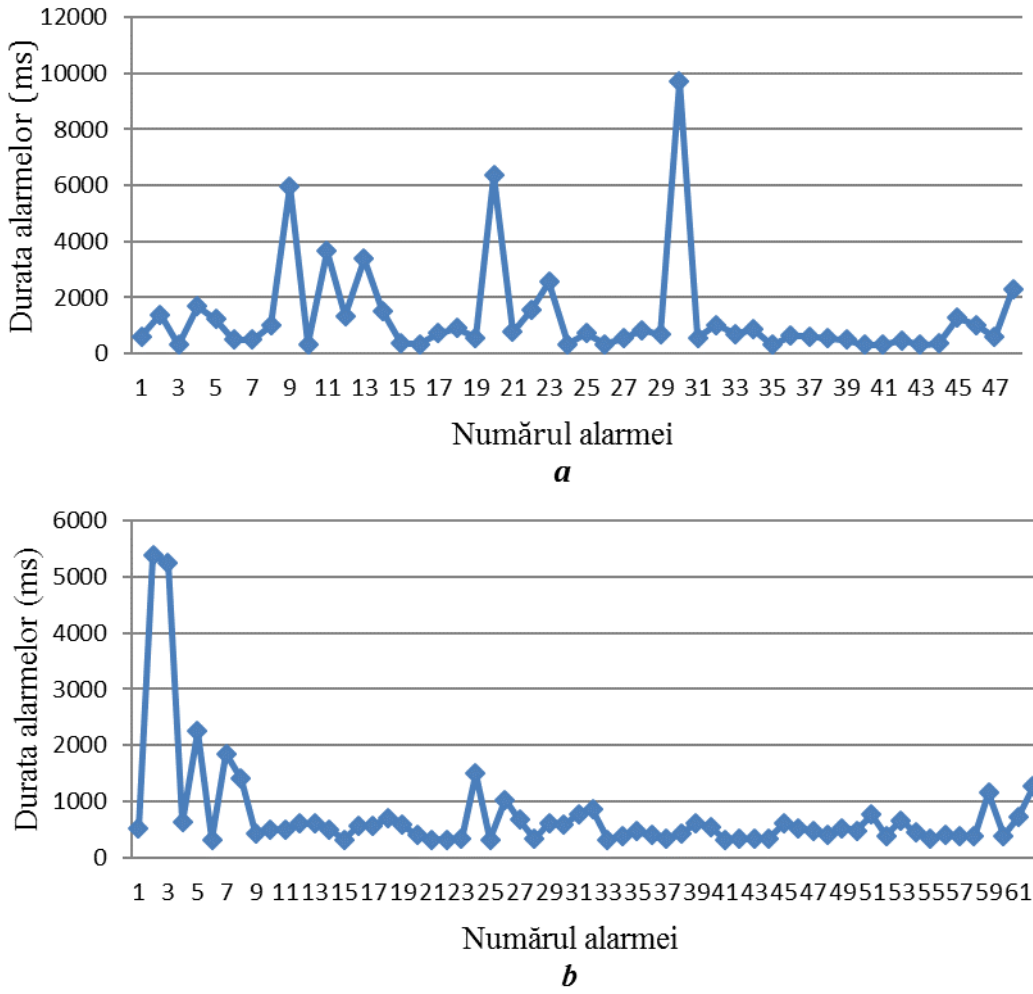


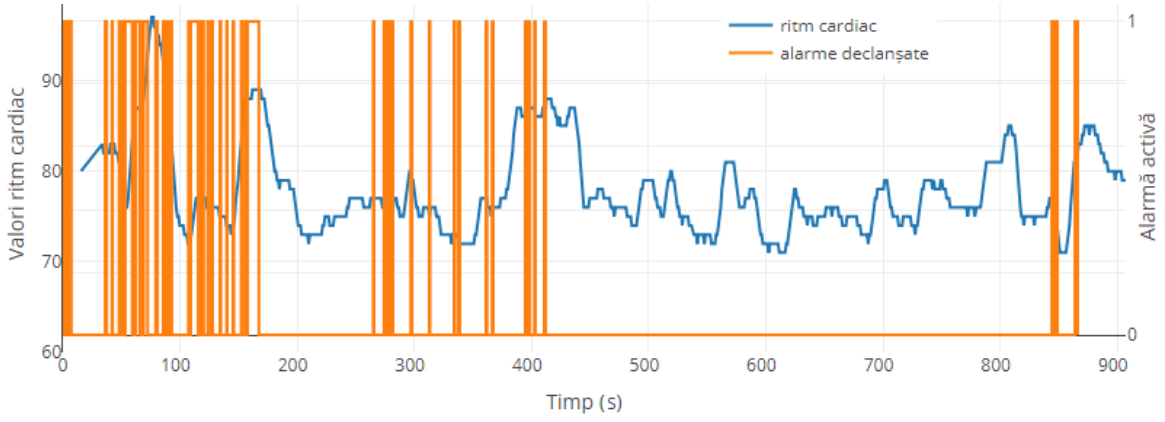
Fig. 0.9 *Duratele alarmelor:* ***a*** *– pentru ID1;* ***b*** *– pentru ID2*

Pentru a asigura o gamă variată de condiții de trafic, s-au realizat două teste pe același traseu, dar în condiții diferite (intervale orare, vreme și trafic: ID1 și ID2). Traseul are o lungime de aproximativ 15 km, asigură numeroase situații pentru observarea comportamentului conducătorului auto, prin înregistrarea unei cantități suficiente de imagini. Deși, într-un interval de 15 minute sistemul poate produce în medie 130 de imagini, pentru realizarea acurateței acceptabile sistemul se va seta ca pentru aproximativ 15 imagini, în cazul unui experiment fără declanșarea alarmei. Astfel, Aplicația_video a fost setată să realizeze câte o captură de imagine a ecranului telefonului inteligent la fiecare minut, plus capturi diferite la începutul și sfârșitul fiecărei alarme. Aceste capturi indică și momentul de timp când au fost produse, ceea ce va ajuta la recalibrarea timpilor de răspuns. Graficele din fig. 6.18a și fig. 6.18b prezintă durata alarmelor care s-au declanșat în timpul realizării celor două seturi de teste. Aplicația a fost setată să declanșeze alarme la 800 ms după pierderea detecției privirii (pupilei), dar după cum s-a putut observa, acest timp este prea scurt deoarece conduce la alarme false. De remarcat, în setul ID2, în ciuda luminozității diferite (care duce la creșterea contrastului între partea de jos a imaginii, puternic iluminată, și partea de sus a imaginii, mai întunecată), durata alarmelor este vizibil mai scurtă.

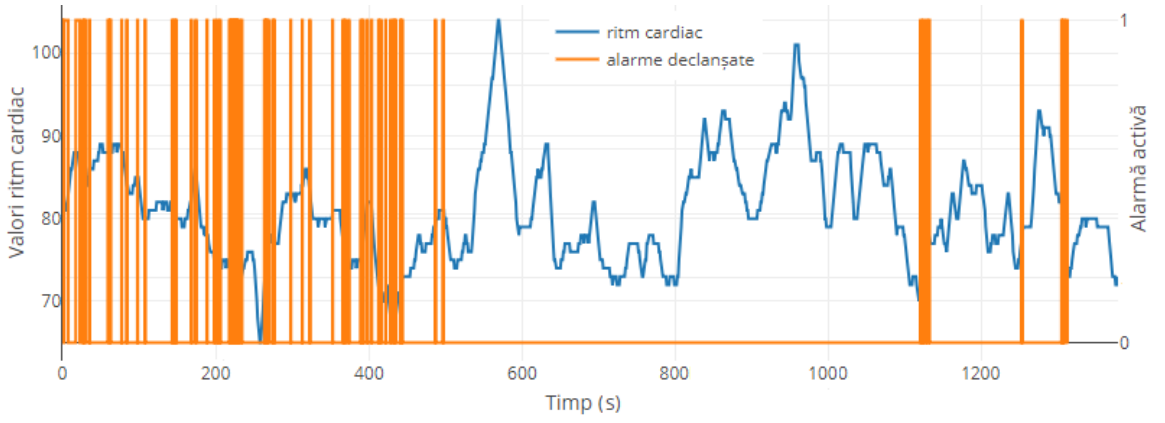
6.2.4 TESTE DE MONITORIZARE A PARAMETRILOR FIZIOLOGICI

Testele de monitorizare, cu precădere, a ritmului cardiac, urmărind implicările acestuia în caracteristicile procesului de conducere, s-a realizat pentru o persoană sănătoasă din punct de vedere cardiac.

În fig. 6.19a și 6.19b sunt prezentate datele descrise în subcapitolul 6.2.3.1, dar corelate



a



b

Fig. 0.10 *Corelarea alarmelor generate de distragerile privirii cu valori ale ritmul cardiac:* ***a*** *– pentru ID1;* ***b*** *– pentru ID2*

cu valorile ritmului cardiac achiziționate cu ajutorul dispozitivului CUBOT V2. Pe durata rulării testului nu au existat alarme declanșate în legătură cu starea de sănătate a conducătorului auto, dar se pot observa anumite valori apropiate de minim și de maxim în momentele de declanșare a alarmelor legate de percepția vizuală. În afara acestor intervale, variațiile ritmului cardiac sunt în general mici. Există doar câteva excepții, de la regulă, în care valorile ritmului cardiac sunt mai mari, dar acest fapt ar putea fi corelat cu starea emoțională indusă de condițiile de trafic complexe (intersecții, sensuri giratorii etc.). Foarte important de observat, după o perioadă de aproximativ 7 - 8 minute, rata de declanșare a alarmelor a scăzut la zero pentru aproximativ 10 minute (pentru ambele seturi observate), ceea ce poate fi atribuit unei stări de echilibru de adaptare a conducătorului la procesul de conducere și de funcționare a sistemului.

6.2.5 COMENTARII PRIVIND REZULTATELE EXPERIMENTELOR ÎN MEDIUL REAL

În acest subcapitol s-a realizat implementarea sistemului *DriverLife* la postul de conducere al unui autoturism, având ca scop calibrarea parametrilor aplicației, observarea și evaluarea caracteristicilor procesului de conducere în condiții reale de trafic. Testele au acoperit atât situații de calibrare cu autovehiculul staționar cât și în trafic, iar datele achiziționate au ajutat la analiza tuturor subsistemelor implicate în urmărirea siguranței în autovehicul.

6.3 CONCLUZII

În acest capitol au fost prezentate sistemele de testare, planificarea, realizarea și rezultatele testelor experimentale de verificare și de calibrare a sistemului de asistență dezvoltat. Pentru aceasta au fost realizate două grupe de experimente: în mediul virtual și în mediul real de conducere.

Pentru experimentele din mediul virtual, din considerente de siguranță, scenariile de testare au fost mai complexe decât cele din mediul real de conducere. Studiile experimentale care au fost focusate în principal pe distragerea privirii pentru apeluri și citirea și scrierea de mesaje text. S-a ajuns la concluzia că utilizarea telefoanelor mobile în autovehicul afectează în mod negativ comportamentul de conducere. Între timp, conducătorii auto au început să folosească telefoanele mobile și pentru alte activități cu caracter de distragere a privirii, în special, pentru accesarea rețelelor de socializare. Plecând de la aceste considerente, rezultatele testelor experimentale din mediul virtual, au arătat o îmbunătățire a performanțelor de conducere în urma utilizării sistemului de asistență *DriverLife*, chiar și în cazurile de distragere a privirii conducătorului auto distras. Prin avertizările sistemului de asistență se asigură că privirea conducătorului auto revine în timp util la mediul de navigare. În acest fel, se oferă condiții de navigare mai sigure, prin reducerea numărului de erori de conducere.

În urma experimentelor din mediul real de conducere, s-au realizat îmbunătățiri ale aplicației pe baza analizei datelor obținute pentru principalii parametri monitorizați (dimensiunea feței relevante; distanța între participant și camera video; poziția ochilor; rata de eroare în detecția feței și a ochilor).

În strânsă concordanță cu rezultatele obținute în experimentele din mediul virtual, se regăsesc și cele din mediul real de conducere, aplicația, per total, conducere la efecte pozitive privind siguranța și confortul conducătorului auto. Din rezultatele obținute în urma utilizării sistemului de asistență *DriverLife*, se poate trage concluzia că acesta poate fi benefic și pentru determinarea distragerii atenției conducătorului auto.

7. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUŢII ORIGINALE, VALORIFICAREA REZULTATELOR ŞI NOI DIRECŢII DE CERCETARE

7.1 CONCLUZII FINALE

Întrebarea principală la care prezentul studiu răspunde este: *Cum se poate îmbunătăți siguranța rutieră prin urmărirea parametrilor fiziologici și vizuali relevanți la limită ai conducătorului auto?* De la bun început, sistemele de asistență au fost concepute pentru creșterea siguranței și confortului conducătorului auto. Folosirea de astfel de sisteme în procesul de conducere este utilă în ajutorarea persoanelor în vârstă, a celor care sunt începători (novici), dar și, în general, a celor care doresc să beneficieze de un asistent care să le ușureze activitatea de conducere. Sistemele de asistență sunt integrate în autovehicule fie ca hardware și software specializat, direct de către producătorii din industria auto, sau fie prin aplicații software și accesorii suplimentare pentru telefoanele inteligente, de terți dezvoltatori.

În urma analizei cercetărilor și realizărilor din literatura de specialitate, se evidențiază că deși tendința de dezvoltare a funcțiilor sistemelor de asistență în autovehicul este în creștere, încă nu au fost atinse toate problemele legate de monitorizarea stărilor fiziologice limită relevante pentru conducătorului auto. Astfel, este important ca proiectarea și concepția sistemelor de asistență să fie orientată mai mult înspre factorului uman, prin care să se pună în valoare mai mult capacitățile de percepție-reacție ale conducătorului auto în timpul procesului de conducere. Totodată trebuie să se ia în considerare și diferitele principii ale interacțiunii conducător auto, autovehicul și mediu de navigare. Din aceste considerente, dezvoltarea de sisteme de asistență personalizate, ce au ca țintă adaptabilitatea la trăsăturile individuale ale conducătorului auto, sunt încă dificil de realizat.

Prezenta cercetare a condus la dezvoltarea practică a unui sistem de monitorizare a parametrilor fiziologici și vizuali relevanți la limită ai conducătorului auto în procesul de conducere, sub forma unei aplicații pentru dispozitivele mobile bazate pe sistemul de operare Android. A fost aleasă această direcție de cercetare deoarece nu necesită cheltuieli ridicate pentru echipamentele hardware folosite. În plus, sistemul oferă o înaltă rezoluție, flexibilitate și portabilitate, întrucât, telefonul inteligent, dispozitivele pentru măsurarea parametrilor fiziologici relevanți, sau autovehiculul, nu reprezintă un impediment în utilizarea asistentului dezvoltat. Procesul de monitorizare a parametrilor fiziologici relevanți implică colectarea și prelucrarea datelor de la dispozitivele de măsurare. Astfel, se obțin valori care sunt preluate ca variabile de intrare modulului/interfeței de analiză a telefonului inteligent.

Pentru fiecare dintre parametrii fiziologici relevanți, monitorizați în prezentul studiu, s-a realizat o descriere în detaliu a acestora prin prezentarea și definirea valorilor normale, anormale, precum și a intervalelor limită, identificate pe baza studiilor din literatura de specialitate. În funcție de caracteristicile fizice și psihice pe care conducătorul auto le manifestă în timpul procesului de conducere se pot identifica diverse afecțiuni sau stări fiziologice simptomatice care pot conduce la reducerea performanțelor sau chiar la incapacitatea de conducere auto.

În ceea ce privește descrierea și analiza parametrilor vizuali relevanți a fost prezentat procesul de generalizare a etapelor de detecție a fețelor prin sintetizarea celor mai actuale și evoluate tehnici, având ca punct de plecare modelul de reprezentare prin imagini video. Totodată, au fost puse în valoare și metodologiile de recunoaștere, estimare a poziției și orientării feței, folosite în dezvoltarea de aplicații software. Din metodologiile prezentate, precum și din analiza algoritmului general de descriere a posturii feței, în aplicația dezvoltată, s-a ales implementarea metodei globale, prin care se utilizează tehnici de potrivire a șabloanelor și clasificatorilor Haar.

Implementarea sistemului propus (*DriverLife*) a fost realizată prin conceperea și dezvoltarea a două module de monitorizare: de detecție a caracteristicilor vizuale prin intermediul senzorului CMOS al telefonului mobil (Aplicația_video) și de monitorizare a parametrilor fiziologici prin senzori optici integrați în dispozitivele de măsurare (Aplicația_fizio). Structura sistemului *DriveLife* este una modulară, atât din punct de vedere hardware cât și software, fiind caracterizată prin implementări ușor de realizat la postul de conducere. Integrarea celor două aplicații s-a realizat prin crearea unei interfețe grafice ușor de utilizat.

Performanțele sistemului de asistență rutieră prin urmărirea parametrilor fiziologici și vizuali relevanți la limită ai conducătorului auto au fost testate prin experimente în mediul virtual, precum și în cel de trafic real.

Conceptul inovativ de evaluare în mediul virtual a performanțelor sistemului de asistență propus, a constat în realizarea de teste experimentale cu mai mulți participanți și introducerea unor noi factori care se referă, cu precădere, la procesele de distragere a privirii în timpul conducerii. Pe baza creșterii numărului de accidente pe fondul utilizării telefonului mobil în timpul navigării, accesarea unei rețele de socializare a fost folosită ca mod reprezentativ de distragere a privirii conducătorului auto. Pentru prelucrarea, analiza și evaluarea rezultatelor, a fost utilizată metoda statistică ANOVA pentru valorile aleatorii obținute prin experimente repetate, precum și teste t cu eșantioane perechi, pentru aprecierea următoarelor variabile dependente: comportamentul de conducere, comportamentul vizual, frecvența și timpul de realizare a secvențelor de distragere a privirii. Pentru a obține aprecieri calitative s-au prelucrat datele din chestionare completate de participanți.

Scopul experimentelor din mediul real de conducere îl constituie calibrarea finală a parametrilor sistemului și observarea acestuia în condițiile reale de trafic. Rezultatele obținute au fost în strânsă concordanță cu cele obținute în urma experimentelor din mediul virtual. În urma prelucrării datelor experimentale s-au evidențiat efecte pozitive ale proceselor de monitorizare și avertizare, cu implicații concrete privind siguranța și confortul conducătorului auto. Experimentele din mediul real și cel virtual de conducere demonstrează avantajele practice pe care sistemul prezentat le-ar putea aduce în contextul siguranței rutiere.

În plus, sistemul de asistență *DriverLife* dezvoltat în cadrul acestei teze se diferențiază de sistemele clasice actuale de pe piață, printr-un cost relativ redus și un grad ridicat de portabilitate, deoarece aplicația rulează pe orice telefon cu sistemul de operare Android.

7.2 CONTRIBUŢII ORIGINALE

Prezenta teză de doctorat aduce un număr de contribuții originale (proprii) în ceea ce privește conceperea, modelarea, dezvoltarea, implementarea și testarea unui sistem de asistență a conducătorului auto bazat pe urmărirea capacităților senzoriale relevante, după cum urmează:

1. Analiza studiilor teoretice și experimentale privind sistemele de asistență, prin punerea în evidență a sistemelor bazate pe telefoane inteligente și a senzorilor ușor de purtat pentru monitorizarea parametrilor fiziologici, precum și stadiul actual al cercetărilor privind detectarea stărilor limită de sănătate.
2. Conceperea, modelarea, dezvoltarea și implementarea în mediul Android Studio a unui subsistem de urmărire a parametrilor fiziologici relevanți prin senzori ușor de purtat, bazați pe pletismografie.
3. Conceperea, modelarea, dezvoltarea și implementarea în mediul Android Studio a unui subsistem de detecție a feței și a ochilor bazat pe clasificatori Haar.
4. Conceperea, dezvoltarea și implementarea unui sistem software de monitorizare a procesului de conducere auto având în vedere valorile limită ale parametrilor fiziologici și vizuali relevanți la limită.

5. Implementarea sistemului de asistență *DriverLife* bazat pe fuziunea subsistemelor de detecție a feței și ochilor și de monitorizarea a parametrilor fiziologici relevanți, în mediul Android Studio.
6. Programe și metodologii de experimentare pentru validarea și evaluarea sistemului de asistență elaborat și a rezultatelor obținute.
7. Modelarea și analiza statistică a rezultatelor experimentale obținute.

7.3 VALORIFICAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

În perioada realizării prezentei teze de doctorat, rezultatele cercetărilor au fost valorificate prin elaborarea a 8 lucrări științifice (4 ca prim autor), ce au fost publicate în jurnale și buletine de conferințe după cum urmează:

Jurnale internaționale

1. **Dumitru, A. I.**, Girbacia, T., Boboc, R. G., Postelnicu, C. C., Mogan, G. L. (2018). *Effects of smartphone based advanced driver assistance system on distracted driving behavior: A simulator study*. Jurnal: Computers in Human Behavior, Vol. 83, pp. 1-7, ISSN: 0747-5632, DOI: 10.1016/j.chb.2018.01.011, WOS: 000428828100001 (**factor de impact 3,536**).
2. Girbacia, F., **Dumitru, A. I.**, Postelnicu, C., Duguleana, M., Girbacia, T., Butila, E., Beraru, A., Mogan, G. L. (2016, August). *Effects of ADAS notifications on driver's visual attention under simulator driving conditions*. Jurnal: Perception, Vol. 45, pp. 307-308, ISSN 0301-0066, 1468-4233, DOI: 10.1177/0301006616671273, WOS: 000390215900630 (**factor de impact 1,087**).
3. Boboc, R. G., **Dumitru, A. I.**, Antonya, C. (2015). *Point-and-command paradigm for interaction with assistive robots*. International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 12(6), ISSN: 1729-8814, DOI: 10.5772/60582 (**factor de impact 0,497**).

Conferințe cu proceedings ISI, IEEE

1. **Dumitru, A.I.**, Mogan, G.L., Jalba, L., *Personalized Calibration of Heart Rate and SpO2 using Smartphones as Driver Assistant*, in: Applied Mechanics and Materials Vol. 772, pp. 591-596, (2015).
2. **Dumitru, A.I.**, Mogan, G.L., *Driver Warning Assistant for Monitoring Heart Rate and SpO2 Using Mobile Phones*, in: Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publ, pp. 395-402, (2014).
3. Duguleana, M., **Dumitru, A.I.**, Postelnicu, C., Mogan, G.. *Video-based evaluation of driver's visual attention using smartphones*. In Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA), 2015 6th International Conference on, pp. 1-5, (2015).
4. Sandu, F., Stanca, A., **Dumitru, A.I.**, Gerigan, C., *Compact solution for mobile phono-cardiography*, in: Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 2012 IEEE 18th International Symposium for, IEEE, 2012, pp. 275-278.

Reviste cotate BDI

1. **Dumitru, A.I.**, Mogan, G., *Aspects Concerning Drivers Monitoring Healthcare Systems*, Bulletin of the Transilvania University of Braşov Series I: Engineering Sciences, vol. 7 (56), no. 1, (2014).

În perioada elaborării tezei de doctorat autorul a prezentat lucrări ştiinţifice în cadrul următoarelor conferinţe:

1. International Conference on Advanced research in Aerospace, Robotics, Manufacturing Systems, Mechanical Engineering, Renewable Energy, Bioenergy and Human Motricities (OPTIROB 2015), Constanța, România, 26-29 Iunie, 2015.
2. International Conference on Monitoring, Controlling and Architecture of Cyber Physical Systems, Their Application in Aerospace, Robotics, Manufacturing Systems, Mechanical

Engineering, Biomechatronics, Neurorehabilitation and Human Motility (ICMERA 2014), București, Romania, 24-27 Octombrie, 2014.

În perioada studiilor doctorale autorul a participat ca membru în cadrul contractelor de cercetare:

1. POSDRU/159/1.5/S/137070 – ATRACTING – Creșterea atractivității și performanței programelor de formare doctorală și postdoctorală pentru cercetări în științe inginerești, 2014-2015;
2. PN-II-PT-PCCA-2013-4-2023, NAVIEYES – Asistent inteligent de navigare auto pentru dispozitive mobile bazat pe urmărirea privirii, 2014-2017.

7.4 DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Cercetările realizate împreună cu rezultatele teoretice, experimentale și practice obținute, integrate într-un sistem de asistență a conducătorului auto la stări limită, acoperă doar parțial diversitatea problematicilor reliefate în urma stadiului actual. În conformitate cu studiile realizate, precum și rezultatele obținute în cadrul prezentei lucrări, se pun în evidență noi direcții de cercetare:

- Studii privind implementarea de noi tipuri de senzori pentru măsurarea parametrilor fiziologici și vizuali relevanți la limită ai conducătorului auto.
- Studii privind concepția, modelarea și dezvoltarea de interfețe multimodale între autovehicul și dispozitivele mobile (telefoane, tablete, etc.).
- Studii de omologare și standardizare a sistemelor de asistență care monitorizează parametri fiziologici și vizuali relevanță la limită.
- Studii privind dezvoltarea unui pachet de clasificatori pentru o mai bună rată de detecție a privirii conducătorului auto.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. [Apparies, 1998] Apparies, R. J., Riniolo, T. C., & Porges, S. W. (1998). A psychophysiological investigation of the effects of driving longer-combination vehicles. *Ergonomics*, *41*(5), 581-592.
2. [Arcoverde Neto, 2014] Arcoverde Neto, E. N., Duarte, R. M., Barreto, R. M., Magalhães, J. P., Bastos, C., Ren, T. I., & Cavalcanti, G. D. (2014). Enhanced real-time head pose estimation system for mobile device. *Integrated Computer-Aided Engineering*, *21*(3), 281-293.
3. [Basacik, 2011] Basacik, D., Reed, N., Robbins, R., 2011. Smartphone use while driving: A simulator study. IHS, Berkshire, UK.
4. [Beanland, 2014] Beanland, V., Lenné, M.G., Underwood, G., 2014. Safety in numbers: Target prevalence affects the detection of vehicles during simulated driving. Attention, Perception, & Psychophysics 76 (3), 805–813.
5. [Bener, 1996] Bener, A., Murdoch, J. C., Achan, N. V., Karama, A. H., & Sztriha, L. (1996). The effect of epilepsy on road traffic accidents and casualties. *Seizure*, *5*(3), 215-219.
6. [Broggi, 2016] Broggi, A., Zelinsky, A., Özgüner, Ü., & Laugier, C. (2016). Intelligent vehicles. In *Springer Handbook of Robotics* (pp. 1627-1656). Springer International Publishing.
7. [Brookhuis, 2001] Brookhuis, K. A., De Waard, D., & Janssen, W. H. (2001). Behavioural impacts of advanced driver assistance systems–an overview. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, *1*(3), 245-253.
8. [Brookhuis, 2010] Brookhuis, K. A., & de Waard, D. (2010). Monitoring drivers' mental workload in driving simulators using physiological measures. *Accident Analysis & Prevention*, *42*(3), 898-903.
9. [Charlton, 2010] Charlton, J., Koppel, S., Odell, M., Devlin, A., Langford, J., O'Hare, M., & Edquist, J. (2010). Influence of chronic illness on crash involvement of motor vehicle drivers. *Auflage. Clayton, Australia: Monash University Accident Research Center (MUARC).*
10. [Copeland, 1987] Copeland, A. R. (1987). Sudden natural death 'at the wheel'—revisited. *Medicine, Science and the Law*, *27*(2), 106-113.
11. [Coughlin, 2011] Coughlin, J.F., Reimer,B., & Mehler,B.(2011). Monitoring, managing, and motivating driver safety and well-being. *IEEE Pervasive Computing*, *10*(3).
12. [Dobbs, 2005] Dobbs, B. M. (2005). Medical Conditions and Driving: A Review of the Scientific Literature (1960–2000) Washington. *DC: National Highway Traffic Safety Administration.*
13. [Drews, 2009] Drews, F.A., Yazdani, H., Godfrey, C.N., Cooper, J.M., Strayer, D.L., Text messaging during simulated driving. Human Factors: *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 51 (5), 762–770, 2009.
14. [Duguleană, 2015a] Mihai, D., Florin, G., & Gheorghe, M. (2015, July). Using dual camera smartphones as advanced driver assistance systems: Navieyes system architecture. In Proceedings of the 8th ACM International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments (p. 23). ACM.
15. [Duguleană, 2015b] Duguleană, M., **Dumitru, A.I**., Postelnicu, C., & Mogan, G. (2015, July). Video-based evaluation of driver's visual attention using smartphones. In *Information, Intelligence, Systems and Applications* (IISA), 2015 6th International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
16. [Dumitru, 2014a] **Dumitru, A.I**., Mogan, G.L., *Aspects Concerning Drivers Monitoring Healthcare Systems*, Bulletin of the Transilvania University of Braşov Series I: Engineering Sciences • Vol. 7 (56) No. 1, (2014).
17. [Dumitru, 2014b] **Dumitru, A.I**., Mogan, G.L., *Driver Warning Assistant for Monitoring Heart Rate and SpO2 Using Mobile Phones*, in: Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publ, pp. 395-402, (2014).

18.[Dumitru, 2015] **Dumitru, A.I.**, Mogan, G. L., & Jalbă, L. (2015). Personalized Calibration of Heart Rate and SpO2 Using Smartphones as Driver Assistant. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 772, pp. 591-596). Trans Tech Publications.

19.[Dumitru, 2018] **Dumitru, A.I.**, Girbacia, T., Boboc, R. G., Postelnicu, C. C., & Mogan, G. L. (2018). Effects of smartphone based advanced driver assistance system on distracted driving behavior: A simulator study. Computers in Human Behavior, 83, 1-7.

20.[Edquist, 2012] Edquist, J., Rudin-Brown, C.M., Lenné, M.G., 2012. The effects of on-street parking and road environment visual complexity on travel speed and reaction time. Accident Analysis & Prevention 45, 759–765.

21.[Emarose, 2012] Emarose,S., Asokan,R., Valayaputtur,D. (2012, July). Continuous monitoring of heart rate variability and haemodynamic stability of an automobile driver to prevent road accidents. In *Computing Communication & Networking Technologies (ICCCNT), 2012 Third International Conference on* (pp. 1-7).

22.[Eren, 2012] Eren, H., Makinist, S., Akin, E., Yilmaz, A., 2012, June. Estimating driving behavior by a smartphone. In: Proceedings of 2012 IEEE Intelligent Vehicles symposium (IV). IEEE, Alcala de Henares, Spain, pp. 234–239.

23.[Fernández, 2016] Fernández, A., Usamentiaga, R., Carús, J. L., & Casado, R. (2016). Driver distraction using visual-based sensors and algorithms. Sensors, 16(11), 1805.

24.[Fisher, 2011] Fisher, D. L., Rizzo, M., Caird, J., & Lee, J. D. (Eds.). (2011). Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology. CRC Press.

25.[Fletcher, 2003] Fletcher, L., Apostoloff, N., Petersson, L., & Zelinsky, A. (2003). Vision in and out of vehicles. IEEE Intelligent Systems, 18(3), 12-17.

26.[Girbacia, 2016] Girbacia, F., **Dumitru, A.I.**, Postelnicu, C., Duguleana, M., Girbacia, T., Butila, E., et al., 2016, August. Effects of ADAS notifications on driver's visual attention under simulator driving conditions. In: Perception Vol. 45, pp. 307–308.

27.[Gomez, 2018] Gómez, A. E., Santos, T. C. D., Massera, C. M., Neto, A. D. M., & Wolf, D. F. (2018). Driving Simulator Platform for Development and Evaluation of Safety and Emergency Systems. arXiv preprint arXiv:1802.04104.

28.[Halinen, 1994] Halinen, M. O., & Jaussi, A. (1994). Fatal road accidents caused by sudden death of the driver in Finland and Vaud, Switzerland. European heart journal, 15(7), 888-894.

29.[Healey, 2000] Healey, J. A. (2000). Wearable and Automotive Systems for A ect Recognition from Physiology (Doctoral dissertation, PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA).

30.[Hughes, 2013] Hughes, G.M., Rudin-Brown, C.M., Young, K.L., 2013. A simulator study of the effects of singing on driving performance. Accident Analysis & Prevention 50, 787–792.

31.[Kibayashi, 2014] Kibayashi, K., Shimada, R., & Nakao, K. I. (2014). Fatal traffic accidents and forensic medicine. IATSS research, 38(1), 71-76.

32.[Lal, 2001] Lal, S. K., & Craig, A. (2001). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. Biological psychology, 55(3), 173-194.

33.[Lambert, 1760] Lambert, J. H. (1760). Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Klett.

34.[Lee, 2008] Lee, J. D., Regan, M. A., & Young, K. L.. What drives distraction? Distraction as a breakdown of multilevel control. Driver distraction: Theory, effects, and mitigation, 41-56. (2008).

35.[Li, 2016] Li, Y.H., You, F., Chen, K., Huang, L., Xu, J.M., 2016. A real-time system for monitoring driver fatigue. Transportation Planning and Technology 39 (8), 779–790.

36.[Lin, 2011] Lin, Y. H., Lin, C. F., & You, H. Z. (2011). A driver's physiological monitoring system based on a wearable PPG sensor and a smartphone. In Security-Enriched Urban Computing and Smart Grid (pp. 326-335). Springer, Berlin, Heidelberg.

37.[Marshall, 2011] Marshall, S. C., & Man-Son-Hing, M. (2011). Multiple chronic medical conditions and associated driving risk: a systematic review. Traffic injury prevention, 12(2), 142-148.

38.[McGwin, 2000] McGwin Jr, G., Sims, R. V., Pulley, L., & Roseman, J. M. (2000). Relations among chronic medical conditions, medications, and automobile crashes in the elderly: a population-based case-control study. American journal of epidemiology, 152(5), 424-431.

39.[Murphy-Chutorian, 2009] Murphy-Chutorian, E., & Trivedi, M. M. (2009). Head pose estimation in computer vision: A survey. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 31(4), 607-626.

40.[Musicant, 2016] Musicant, O., Lotan, T., 2016. Can novice drivers be motivated to use a smartphone based app that monitors their behavior?. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 42, 544–557.

41.[Olshansky, 2005] Olshansky, B., & Grubb, B. P. (2005). Driving and syncope. Syncope: Mechanisms and Management, Second Edition, 322-342.

42.[Pantelopoulos, 2010] Pantelopoulos, A., & Bourbakis, N. G. (2010). A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 40(1), 1-12.

43.[Parekh, 2010] Parekh, D. (2010). Designing heart rate, Blood pressure and body temperature sensors for mobile On-call system.

44.[Parkes, 2004] A.M. Parkes and A. Flint. Degree of simulation, or fidelity of simulation: relative contribution to synthetic training. Paris, 2004. Driving Simulation Conference 2004.

45.[Postelnicu, 2016] Postelnicu, C.C., Machidon, O.M., Girbacia, F., Voinea, G.D., Duguleană, M., 2016, July. Effects of playing mobile games while driving. In: Proceedings of International conference on distributed, ambient, and pervasive Interactions. Springer, Toronto, Canada, pp. 291–301.

46.[Qiao, 2016] Qiao, Y., Zeng, K., Xu, L., Yin, X., 2016, January. A smartphone-based driver fatigue detection using fusion of multiple real-time facial features. In: Proceedings of the 13th IEEE annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC). IEEE, Las Vegas, USA, pp. 230–235.

47.[Rainio, 2007] Rainio, J., Sulander, P., Hantula, L., Nuutinen, J., & Karkola, K. (2007). Diseases and motor vehicle fatalities in Finland in 2001 and 2002. Traffic injury prevention, 8(3), 321-328.

48.[Riener, 2009] Riener, A., Ferscha, A., & Aly, M. (2009, September). Heart on the road: HRV analysis for monitoring a driver's affective state. In Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (pp. 99-106). ACM.

49.[Rodriguez-Ibanez, 2011] Rodríguez-Ibáñez, N., García-González, M. A., Fernández-Chimeno, M., & Ramos-Castro, J. (2011, August). Drowsiness detection by thoracic effort signal analysis in real driving environments. In Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE (pp. 6055-6058). IEEE.

50.[Rosenbloom, 2014] Rosenbloom, T., Eldror, E., 2014. Effectiveness evaluation of simulative workshops for newly licensed drivers. Accident Analysis & Prevention 63, 30–36.

51.[Rudin-Brown, 2014] Rudin-Brown, C.M., Edquist, J., Lenné, M.G., 2014. Effects of driving experience and sensation-seeking on drivers' adaptation to road environment complexity. Safety Science 62, 121–129.

52.[Schneider, 2012] Schneider, J., Koellner, C., & Heuer, S. (2012, June). An approach to automotive ECG measurement validation using a car-integrated test framework. In Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2012 IEEE (pp. 950-955). IEEE.

53.[Shafique, 2012] Shafique, M., Kyriacou, P. A., & Pal, S. K. (2012). Investigation of photoplethysmographic signals and blood oxygen saturation values on healthy

volunteers during cuff-induced hypoperfusion using a multimode PPG/SpO2 sensor. Medical & biological engineering & computing, 50(6), 575-583.

54.[Singh, 2013] Singh, R., Conjeti, S., Banerjee, R. (2013). A comparative evaluation of neural network classifiers for stress level analysis of automotive drivers using physiological signals.Biomedical Signal Processing and Control,8(6),740-754.

55.[Slob, 2008] Slob, J. J. (2008). State-of-the-art driving simulators, a literature survey. DCT report, 107.

56.[Smith, 2008] M. R. H. Smith, G. J. Witt, D. L. Bakowski, A Final Report of SAfety VEhicles using adaptive Interface Technology (Task 15): SAVEIT Summary and Benefits Estimation, (May), 150, 2008.

57.[Solovey, 2014] Solovey, E. T., Zec, M., Garcia Perez, E. A., Reimer, B., & Mehler, B. (2014, April). Classifying driver workload using physiological and driving performance data: Two field studies. In Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems (pp. 4057-4066). ACM.

58.[Sorajja, 2009] Sorajja,D., Nesbitt,G., Hodge,D., Low, P. A., Hammill, S. C., Gersh, B. J., & Shen, W. K. (2009). Syncope While Driving. Circulation, 120(11), 928-934.

59.[Sun, 2011] Sun, Y., Yu, X., Berilla, J., Liu, Z., & Wu, G. (2011). An in-vehicle physiological signal monitoring system for driver fatigue detection. In 3rd International Conference on Road Safety and Simulation.

60.[Tanaka, 2001] Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. Journal of the American College of Cardiology, 37(1), 153-156.

61.[Tervo, 2013] Tervo, T., Räty, E., Sulander, P., Holopainen, J. M., Jaakkola, T., & Parkkari, K. (2013). Sudden death at the wheel due to a disease attack. Traffic injury prevention, 14(2), 138-144.

62.[Victor, 2008] Victor, T. W., Engström, J., & Harbluk, J. L. (2008). 10 Distraction Assessment Methods Based on Visual Behavior and Event Detection (pp. 135-165). Boca Raton, FL: CRC Press

63.[Viola, 2001] Viola, P., & Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001.Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on (Vol.1).

64.[Wildervanck, 1978] Wildervanck, C., MULDEK, G., & Michon, J. A. (1978). Mapping mental load in car driving. Ergonomics, 21(3), 225-229.

65.[Xiao, 2016] Xiao, D., Feng, C., 2016, August. Detection of drivers visual attention using smartphone. In: 2016 12th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD). IEEE, Changsha, China, pp. 630–635.

66.[Young, 2014] Young, K.L., Rudin-Brown, C.M., Patten, C., Ceci, R., Lenné, M.G., 2014. Effects of phone type on driving and eye glance behaviour while text-messaging. Safety Science 68, 47–54.

67. [Zhu, 2004] Zhu, Z., & Ji, Q. (2004, October). Real time and non-intrusive driver fatigue monitoring. In Intelligent Transportation Systems, 2004. Proceedings. The 7th International IEEE Conference on (pp. 657-662). IEEE.

68. [www6] https://play.google.com/store

69.[www7] https://www.apple.com/itunes/charts/free-apps/

70.[www8] https://www.yellowcog.com/docs/en/Yellowcog-Driver-Monitoring-White-Paper-V1.pdf

71. [www21] http://docs.opencv.org/3.1.0/d4/dc6/tutorial_py_template_matching.html

72. [www23] https://arstechnica.com/gadgets/2017/04/how-wearable-heart-rate-monitors-work-and-which-is-best-for-you/

73. [www24] https://www.digitaltrends.com/mobile/android-operating-system-domination

74.[www25] https://berrymed.com

75.[www26] https://angel.co/angel-sensor

76. [www28] http://www.cubot.net/wearables/v2/

77.[www29] http://users.cecs.anu.edu.au/~kambara/old_site/software/

78.[www30] https://ro.vessoft.com/software/windows/download/androidstudio

REZUMAT

Prezenta teză de doctorat *Contribuții privind sistemele de asistență a conducătorului auto integrate pe telefoane mobile inteligente prin urmărirea parametrilor fiziologici relevanți și a percepției vizuale la limită* are drept scop îmbunătățirea siguranței, confortului și eficienței de navigare în trafic. Pentru atingerea acestui obiectiv, cercetările realizate urmăresc studiul, conceperea, dezvoltarea, implementarea și testarea unui nou concept de asistență a conducătorului auto bazat pe telefoane mobile inteligente și senzori ce folosesc metoda de înregistrare grafică a variațiilor de volum. Acest sistem este capabil să monitorizeze parametrii fiziologici și vizuali relevanți prin metode neinvazive de măsurare și să se calibreze în funcție de utilizatorul observat. Pentru detectarea percepției vizuale, luând în considerare modelul geometrico-cinematic de mișcare a feței și ochilor, s-a implementat metoda globală, prin utilizarea de clasificatori Haar și tehnici de potrivire a șabloanelor. În scopul validării funcționării sistemului, au fost propuse experimente de testare în mediile virtual și real. În urma analizei rezultatelor experimentale se evidențiază o îmbunătățire a performanțelor de conducere în urma utilizării sistemului de asistență dezvoltat, chiar și în cazurile de distragere a privirii conducătorului auto. Având în vedere accesibilitatea și portabilitatea telefoanelor mobile inteligente, cât și a senzorilor pentru monitorizarea parametrilor fiziologici, sistemul propus nu ține cont de dotările din autovehicul, putând fi un asistent ieftin, folositor oricărui conducător auto.

ABSTRACT

The present research *Contributions on integrated driving assistance systems on smartphones by tracking relevant physiological parameters and visual perception at the limit* aims to improve safety, comfort and navigation efficiency in traffic. To achieve this goal, the research focuses on the study, design, development, implementation and testing of a new driver assistance concept based on smartphones and sensors using the graphical recording method of volume variations. This system is able to monitor relevant physiological parameters through noninvasive measurement methods, and calibrate according to the observed user. For sensing the visual perception, taking into account the geometric-cinematic model of face and eyes, the global method was implemented, by using Haar classifiers and template matching techniques. In order to validate the system functionalities, testing experiments have been proposed in both virtual and real environments. The analysis of the experimental results highlights an improvement in driving performance gollowing the use of the developed assistance system, even in cases of driver's eyes distraction. Considering the accessibility and portability of intelligent mobile phones and sensors for monitoring physiological parameters, the proposed system does not take into account the vehicle's equipment, being a cheap, useful assistant to any driver.

Universitatea Transilvania din Brașov

Curriculum Vitae

Nume: DUMITRU Adrian-Iulian
Data și locul nașterii:
Naționalitate: Română
Adresă:
E-mail: a

Studii:

- 2012 – 2019, Universitatea *Transilvania* din Brașov, Facultatea de Inginerie Mecanică, domeniul Inginerie Industrială, titlul tezei de doctorat – *Contribuții privind sistemele de asistență a conducătorului auto integrate pe telefoane mobile inteligente prin urmărirea parametrilor fiziologici relevanți și a percepției vizuale la limită*.
- 2010 – 2012, Universitatea *Transilvania* din Brașov, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, Catedra de Electronică și Telecomunicații: *Master în Sisteme Electronice și de Comunicații Integrate.*
- *2006* – 2010, Universitatea *Transilvania* din Brașov, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, Catedra de Electronică și Telecomunicații, Studii de licență: Tehnologii și Sisteme de Telecomunicații.

Experiență profesională:

- 2018.10 – prezent, Inginer hardware – SC. Atos Convergence Creators SRL
- 2018.02 – 2018.10, Inginer de test – SC. Miele Tehnica SRL
- 2015 – 2018, Inginer debug – SC. Benchmark Electronics Romania SRL
- 2012 – 2015, Inginer electronist – SC. General Numeric SRL

Cunoștințe în domeniul științelor inginerești și al calculatoarelor:

- Limbaje de programare: LabView, C/C++, Java
- Proiectare și simulare: TestStand, Android Studio, GraphPad Prism
- Programe editare: MS Office, Photoshop, Edraw Max

Publicații: 9 articole (4 ca prim autor)

- 3 lucrări în jurnale ISI cu factor de impact (1 ca prim autor)
- 5 lucrări în proceedings IEEE/ISI (2 ca prim autor)
- 1 lucrare indexată BDI
- Participare la conferințe internaționale în Romania

Limbi străine:

- Engleză – avansat
- Franceză – mediu
  Italiană – începător

Universitatea Transilvania din Brașov

Curriculum Vitae

Name: DUMITRU Adrian-Iulian
Date and birth place:
Nationality: Română
Adress:
E-mail:

Studies:

- 2012 - 2019, Transilvania University of Brașov, Faculty of Mechanical Engineering, field of study Industrial Engineering, thesis name – *Contributions on integrated driving assistance systems on smartphones by tracking relevant physiological parameters and visual perception at the limit*.
- 2010 - 2012, Transilvania University of Brașov, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Electronics and Telecommunications: Master in Integrated Electronics and Communication Systems
- 2006 – 2010, Transilvania University of Brașov, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Electronics and Telecommunications, Bachelor Degree: Telecommunication Systems and Technologies

Professional experience:

- 2018.10 – present, Hardware Engineer – SC. Atos Convergence Creators SRL
- 2018.02 – 2018.10, Test Engineer – SC. Miele Tehnica SRL
- 2015 – 2018, Debug Engineer – SC. Benchmark Electronics Romania SRL
- 2012 – 2015, Electronics Engineer – SC. General Numeric SRL

Engineering and computer science skills:

- Programming Languages: LabView, C/C++, Java
- Design and Simulation: TestStand, Android Studio, GraphPad Prism
- Editing Software: MS Office, Photoshop, Edraw Max

Publications: 9 articles (4 as first author)

- 3 papers ISI journals with impact factor (1 as first author)
- 5 papers in IEEE/ISI Proceedings (2 as first author)
- Participation at international conferences in Romania

Languages:

- English – advanced
- French – medium
  Italian – beginner