



Universitatea  
Transilvania  
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Inginerie Mecanică

Ing. Gheorghe-Daniel VOINEA

**Contribuții privind sistemele de  
monitorizare a posturilor trunchiului și  
capului conducătorului auto supervizate  
de telefoane mobile inteligente**

**Contributions to monitoring driver's  
torso and head postures via systems  
supervised by smartphones**

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

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

BRAȘOV, 2021



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

## COMPONENȚA

### Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov

Nr. .... din .....

PREȘEDINTE:

Prof. dr. ing. Adrian ȘOICA

Universitatea Transilvania din Braşov

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

Prof. dr. ing. Gheorghe-Leonte MOGAN

Universitatea Transilvania din Braşov

REFERENȚI:

Prof. dr. ing. Edward RAKOȘI

Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași

Prof. dr. ing. ec. Radu Cătălin ȚARCĂ

Universitatea din Oradea

Prof. dr. ing. Silviu BUTNARIU

Universitatea Transilvania din Braşov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat: ....., ora ....., sala .....

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa [daniel.voinea@unitbv.ro](mailto:daniel.voinea@unitbv.ro)

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

Vă mulțumim.

# CUPRINS

	Pg. teza	Pg. rezumat
<b>PREFAȚĂ</b> .....	<b>9</b>	<b>12</b>
<b>LISTA FIGURILOR</b> .....	<b>11</b>	<b>-</b>
<b>LISTA TABELELOR</b> .....	<b>14</b>	<b>-</b>
<b>LISTA ABREVIERILOR</b> .....	<b>16</b>	<b>14</b>
<b>1. INTRODUCERE</b> .....	<b>19</b>	<b>16</b>
1.1 Aspecte generale .....	19	16
1.2 Necesitatea și justificarea temei .....	19	16
1.3 Obiectivele cercetării .....	20	17
1.4 Metodologia și etapele cercetării .....	20	17
1.5 Structura și conținutul tezei .....	21	18
<b>2. MONITORIZAREA POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI CONDUCĂTORULUI AUTO. STADIU ACTUAL</b> .....	<b>25</b>	<b>21</b>
2.1 Aspecte generale privind conducerea autovehiculelor cu sisteme de asistență .....	25	21
2.2 Generalități despre siguranța rutieră .....	25	21
2.3 Comportamentul conducătorului auto la volan .....	28	23
2.4 Confortul conducătorului auto la volan .....	30	24
2.5 Boli profesionale ale conducătorului auto .....	34	26
2.6 Ergonomia postului de conducere .....	36	28
2.7 Sisteme de urmărire a posturii corpului conducătorului auto .....	38	28
2.7.1 Aspecte generale .....	38	28
2.7.2 Arhitectura generală .....	38	29
2.7.3 Subsisteme senzoriale de urmărire .....	40	30
2.7.3.1 Subsisteme senzoriale optoelectronice video .....	41	30
2.7.3.2 Subsisteme senzoriale electromagnetice .....	42	31
2.7.3.3 Subsisteme cu senzori inerțiali .....	42	31
2.7.3.4 Alte subsisteme senzoriale de urmărire .....	44	32
2.7.4 Modele și algoritmi de prelucrare a datelor .....	45	33
2.8 Sisteme de urmărire a privirii și posturii capului conducătorului auto .....	48	35
2.8.1 Localizarea și urmărirea video a capului .....	48	35
2.8.2 Metode de estimare a posturii capului .....	49	36
2.8.3 Urmărirea privirii .....	50	37
2.9 Pachete software utilizate pentru dezvoltarea sistemelor de monitorizare a posturilor .....	52	38
2.9.1 Mediul de dezvoltare Arduino IDE .....	52	-
2.9.2 Mediul de dezvoltare Visual Studio .....	53	-

2.9.3 Mediul de dezvoltare Android Studio .....	53	-
2.10 Concluzii și justificarea tematicii .....	56	38
<b>3. MODELAREA POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI CONDUCĂTORULUI</b>		
<b>AUTO</b> .....	<b>58</b>	<b>40</b>
3.1 Modelarea posturii trunchiului conducătorului auto .....	58	40
3.1.1 Descrierea modelului matematic .....	58	40
3.1.2 Relațiile modelului matematic al posturii trunchiului .....	60	41
3.1.3 Simularea modelului matematic .....	63	43
3.1.4 Modelarea coloanei vertebrale în mediul virtual .....	67	44
3.2 Modelarea posturii capului conducătorului auto .....	67	45
3.2.1 Descrierea modelului posturii capului .....	68	-
3.2.2 Relațiile modelului matematic al posturii capului .....	68	-
3.3 Modelarea posturilor capului și trunchiului .....	71	45
3.4 Determinarea distanței până la un obstacol din mediul de navigare .....	73	46
3.5 Concluzii .....	75	47
<b>4. SISTEM DE MONITORIZARE A POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI</b>		
<b>CONDUCĂTORULUI AUTO</b> .....	<b>77</b>	<b>48</b>
4.1 Arhitectura sistemului de monitorizare, NAVIPOSTURE .....	77	48
4.2 Subsistemul de urmărire a posturii trunchiului conducătorului auto		
(SPINE) .....	78	49
4.2.1 Structura hardware a subsistemului SPINE .....	78	49
4.2.1.1 Subsistemul senzorial .....	80	-
4.2.1.2 Subsistemul de achiziție și procesare a datelor .....	82	-
4.2.1.2.1 Alegerea microcontrolerului .....	82	-
4.2.1.2.2 Alegerea multiplexorului .....	84	-
4.2.1.3 Subsistemul de comunicații .....	86	-
4.2.1.4 Verificarea și testarea componentelor subsistemului SPINE .....	87	-
4.2.1.4.1 Testarea și verificarea senzorilor inerțiali BNO055 .....	87	-
4.2.1.4.2 Testarea multiplexorului TCA9548A .....	89	-
4.2.1.4.3 Testarea și verificarea dispozitivului de comunicare fără fir, SBMR	90	-
4.2.2 Structura software a subsistemului SPINE .....	92	50
4.2.2.1 Aplicația de urmărire a posturii trunchiului pentru platforma		
Windows .....	93	50
4.2.2.2 Aplicația de urmărire a posturii trunchiului pentru platforma		
Android .....	94	50
4.3 Subsistemul de urmărire a posturii capului (NAVIEYES) .....	95	51
4.3.1 Structura hardware a subsistemului NAVIEYES .....	97	51
4.3.2 Structura software a subsistemului NAVIEYES .....	97	51

4.3.2.1 Algoritmi și programe de urmărire a capului .....	97	51
4.3.2.2 Algoritmi și programe de urmărire a scenei de trafic din fața autovehiculului .....	100	-
4.4 Sistemul de monitorizare a posturilor trunchiului și capului (NAVIPOSTURE) .....	102	53
4.4.1 Structura software .....	102	53
4.4.2 Subsistemul de interacțiune cu conducătorul auto .....	104	-
4.5 Concluzii .....	105	54
<b>5. TESTE ȘI STUDII EXPERIMENTALE</b> .....	<b>108</b>	<b>55</b>
5.1 Studii experimentale privind determinarea formelor coloanei vertebrale prin măsurare .....	108	55
5.1.1 Planificarea și realizarea experimentelor .....	108	55
5.1.2 Prelucrarea statistică a datelor de la senzori .....	110	55
5.1.3 Prelucrarea și analiza rezultatelor .....	112	-
5.2 Teste experimentale de monitorizare a posturii trunchiului conducătorului auto în medii virtuale .....	115	55
5.3 Studii experimentale de monitorizare a posturii capului în condiții reale de trafic .....	117	56
5.3.1 Descrierea sistemului și planificarea experimentelor .....	117	56
5.3.2 Calibrarea camerelor video .....	119	56
5.3.3 Definirea parametrilor urmăriți .....	119	-
5.3.4 Chestionarul și ipotezele TAM .....	120	57
5.3.5 Prelucrarea statistică a datelor .....	120	57
5.3.5.1 Caracteristici statistice de performanță a procesului de conducere ...	121	-
5.3.5.2 Prelucrarea statistică a datelor obținute cu chestionarului TAM .....	122	-
5.3.5.2.1 Verificarea indicatorilor statistici .....	122	-
5.3.5.2.2 Aplicarea regresiei liniare ierarhice .....	123	-
5.3.6 Analiza rezultatelor experimentelor .....	124	58
5.3.6.1 Analiza caracteristicilor de performanță a conducerii .....	124	58
5.3.6.2 Analiza rezultatelor statistice bazate pe chestionarul TAM .....	125	58
5.4 Teste experimentale de monitorizare a posturilor trunchiului și capului în medii virtuale .....	126	59
5.4.1 Structura sistemului experimental .....	126	59
5.4.2 Monitorizarea posturilor trunchiului și capului cu sistemul NAVIPOSTURE .....	127	59
5.4.3 Monitorizarea posturilor trunchiului și capului cu sistemul Kinect .....	130	60
5.4.4 Monitorizarea posturilor trunchiului și capului cu sistemul OpenPose	134	63

5.4.5 Analiza rezultatelor de monitorizare a posturilor trunchiului și capului în medii virtuale .....	136	64
5.5 Teste experimentale de monitorizare a posturilor trunchiului și capului în medii reale .....	137	64
5.5.1 Instalarea sistemului NAVIPOSTURE la postul de conducere .....	137	64
5.5.2 Analiza rezultatelor obținute în cadrul testelor de monitorizare a posturilor trunchiului și capului .....	138	65
5.6 Teste de evaluare a confortului privind folosirea vestei cu bandă flexibilă cu senzori inerțiali .....	140	66
5.6.1 Specificații despre echipament .....	141	-
5.6.2 Planificarea și realizarea experimentelor .....	142	-
5.6.3 Prelucrarea statistică și analiza datelor .....	142	-
5.7 Concluzii .....	143	66
<b>6. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII PROPRII, VALORIFICAREA REZULTATELOR ȘI NOI DIRECȚII DE CERCETARE .....</b>	<b>146</b>	<b>67</b>
6.1 Concluzii finale .....	146	67
6.2 Contribuții proprii .....	148	69
6.3 Valorificarea rezultatelor cercetării .....	149	70
6.3.1 Lucrări publicate .....	149	70
6.3.2 Participări la conferințe .....	151	72
6.3.3 Participări la proiecte de cercetare-dezvoltare .....	152	72
6.4 Direcții viitoare de cercetare .....	152	73
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>153</b>	<b>74</b>
<b>ANEXE .....</b>	<b>169</b>	<b>-</b>
Anexa 1 Ecuatiile matematice pentru cele 12 modele de posturi ale conducătorului auto .....	169	-
Anexa 2 Rezolvarea modelului matematic în Maple, software specializat .....	176	-
Anexa 3 Captură de ecran cu fișierul text generat în urma aplicării modelului matematic cu cinci senzori inerțiali .....	180	-
Anexa 4 Subprogram Arduino achiziție date de la senzorul inerțial BNO055 și convertire din cuaternioni în unghiuri Euler .....	181	-
Anexa 5 Subprogram ARDU_COM pentru testarea comunicației bidirecționale dintre un microcontroler și un telefon mobil inteligent .....	183	-
Anexa 6 Subprogram Spine_Recording_Android monitorizare postura trunchi cu sistemul SPINE .....	184	-
Anexa 7 Aplicația NAVIEYES_FACE pentru urmărirea posturii capului conducătorului auto și declanșarea de alarme .....	191	-

Anexa 8 Subprogram Kinect pentru monitorizarea posturii corpului și capului conducătorului auto (secțiune algoritm auto-calibrare) .....	200	-
Anexa 9 Subprogram OpenPose pentru monitorizarea posturii corpului și capului conducătorului auto (secțiune algoritm auto-calibrare și înregistrare date în fișier) .....	201	-
Anexa 10 Model de acceptare a tehnologiei (TAM) (versiunea originală în engleză) .....	204	-
Anexa 11 Modelul de acceptare a tehnologiei (TAM) (adaptat și tradus în limba română) .....	205	-
Anexa 12 Chestionarul de tip CRS de evaluare a confortului .....	206	-
<b>REZUMAT (română / engleză) .....</b>	<b>207</b>	<b>84</b>
<b>DECLARAȚIE DE AUTENTICITATE .....</b>	<b>208</b>	<b>-</b>

# CONTENT

	Pg. thesis	Pg. resume
<b>PREFACE</b> .....	9	12
<b>LIST OF FIGURES</b> .....	11	-
<b>LIST OF TABLES</b> .....	14	-
<b>LIST OF ABBREVIATIONS</b> .....	16	14
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	19	16
1.1 General aspects .....	19	16
1.2 Necessity and justification of the topic .....	19	16
1.3 Research objectives .....	20	17
1.4 Methodology and stages of research .....	20	17
1.5 Structure and contents of the PhD thesis .....	21	18
<b>2. DRIVER'S TORSO AND HEAD POSTURES MONITORING SYSTEMS. STATE OF THE ART</b> .....	25	21
2.1 General aspects regarding the driving of vehicles with assistance systems .....	25	21
2.2 General information on road safety .....	25	21
2.3 Driver behavior behind the wheel .....	28	23
2.4 Driver comfort behind the wheel .....	30	24
2.5 Driver's occupational diseases .....	34	26
2.6 Ergonomics behind the wheel .....	36	28
2.7 Driver body posture tracking systems .....	38	28
2.7.1 General aspects .....	38	28
2.7.2 General architecture .....	38	29
2.7.3 Sensory tracking subsystems .....	40	30
2.7.3.1 Optoelectronic video sensory subsystems .....	41	30
2.7.3.2 Electromagnetic sensory subsystems .....	42	31
2.7.3.3 Subsystems with inertial sensors .....	42	31
2.7.3.4 Other sensory tracking subsystems .....	44	32
2.7.4 Models and algorithms for data processing .....	45	33
2.8 Driver's head and eye postures tracking systems .....	48	35
2.8.1 Video-based head detection and tracking .....	48	35
2.8.2 Methods for estimating head posture .....	49	36
2.8.3 Gaze tracking .....	50	37
2.9 Software packages used for the development of posture monitoring systems .....	52	38
2.9.1 Arduino IDE development environment .....	52	-
2.9.2 Visual Studio development environment .....	53	-
2.9.3 Android Studio development environment .....	53	-



2.10 Conclusions and justification of the topic.....	56	38
<b>3. MODELLING DRIVER'S TORSO AND HEAD POSTURES.....</b>	<b>58</b>	<b>40</b>
3.1 Modeling the driver's torso postures.....	58	40
3.1.1 Description of the mathematical model.....	58	40
3.1.2 Equations of the mathematical model for trunk postures.....	60	41
3.1.3 Simulation of the mathematical model.....	63	43
3.1.4 Spine modeling in a virtual environment.....	67	44
3.2 Modeling the driver's head postures.....	67	45
3.2.1 Description of the head posture model.....	68	-
3.2.2 Equations of the mathematical model for head postures.....	68	-
3.3 Head and torso posture modeling.....	71	45
3.4 Determining the distance to an obstacle on the road.....	73	46
3.5 Conclusions.....	75	47
<b>4. TRUNK AND DRIVER HEAD POSTURE MONITORING SYSTEM.....</b>	<b>77</b>	<b>48</b>
4.1 Architecture of the monitoring system, NAVIPOSTURE.....	77	48
4.2 Driver's torso posture tracking subsystem (SPINE).....	78	49
4.2.1 Hardware structure of the SPINE subsystem.....	78	49
4.2.1.1 Sensorial subsystem.....	80	-
4.2.1.2 Data acquisition and processing subsystem.....	82	-
4.2.1.2.1 Choosing a microcontroller.....	82	-
4.2.1.2.2 Choosing a multiplexer.....	84	-
4.2.1.3 Communications subsystem.....	86	-
4.2.1.4 Verification and testing of the components of the SPINE subsystem.....	87	-
4.2.1.4.1 BNO055 inertial sensors.....	87	-
4.2.1.4.2 Testing the TCA9548A multiplexer.....	89	-
4.2.1.4.3 Verification and testing of the wireless communication device, SBMR.....	90	-
4.2.2 Software structure of the SPINE subsystem.....	92	50
4.2.2.1 Torso posture tracking app for Windows.....	93	50
4.2.2.2 Torso posture tracking app for Android.....	94	50
4.3 Head posture tracking subsystem (NAVIEYES).....	95	51
4.3.1 Hardware structure of the NAVIEYES subsystem.....	97	51
4.3.2 Software structure of the NAVIEYES subsystem.....	97	51
4.3.2.1 Algorithms and head tracking programs.....	97	51
4.3.2.2 Algorithms and programs for tracking the traffic scene.....	100	-
4.4 Torso and head position monitoring system (NAVIPOSTURE).....	102	53
4.4.1 Software structure.....	102	53

4.4.2 Driver interaction subsystem.....	104	-
4.5 Conclusions.....	105	54
<b>5. TESTS AND EXPERIMENTAL STUDIES.....</b>	<b>108</b>	<b>55</b>
5.1 Experimental studies on determining the shapes of the spine by measurement.....	108	55
5.1.1 Planning and conducting experiments.....	108	55
5.1.2 Statistical processing of sensor data.....	110	55
5.1.3 Processing and analysis of results.....	112	-
5.2 Experimental tests to monitor the position of the driver's torso in virtual environments.....	115	55
5.3 Experimental studies to monitor head posture in real traffic conditions.....	117	56
5.3.1 System description and experiment planning.....	117	56
5.3.2 Calibration of video cameras.....	119	56
5.3.3 Defining the study parameters.....	119	-
5.3.4 TAM questionnaire and hypotheses.....	120	57
5.3.5 Statistical data processing.....	120	57
5.3.5.1 Statistical characteristics of driving process performance.....	121	-
5.3.5.2 Statistical processing of TAM questionnaire data.....	122	-
5.3.5.2.1 Verification of statistical indicators.....	122	-
5.3.5.2.2 Hierarchical linear regression analysis.....	123	-
5.3.6 Analysis of experiment results.....	124	58
5.3.6.1 Analysis of driving performance characteristics.....	124	58
5.3.6.2 Analysis of statistical results based on the TAM questionnaire.....	125	58
5.4 Experimental tests for monitoring torso and head postures in virtual environments.....	126	59
5.4.1 Experimental system configuration.....	126	59
5.4.2 Monitoring torso and head postures with the NAVIPOSTURE system.....	127	59
5.4.3 Monitoring torso and head postures with the Kinect system.....	130	60
5.4.4 Monitoring torso and head postures with the OpenPose system.....	134	63
5.4.5 Analysis of the monitoring results of the trunk and head postures in virtual environments.....	136	64
5.5 Experimental tests for monitoring torso and head postures in real environments.....	137	64
5.5.1 NAVIPOSTURE system installment in the vehicle.....	137	64
5.5.2 Analysis of the results obtained in the monitoring tests of the torso and head postures.....	138	65
5.6 Comfort assessment tests on the use of the vest with inertial sensors.....	140	66
5.6.1 Equipment specifications.....	141	-

5.6.2 Planning and conducting experiments .....	142	-
5.6.3 Statistical processing and data analysis .....	142	-
5.7 Conclusions .....	143	66
<b>6. CONCLUSIONS, ORIGINAL CONTRIBUTIONS, RESULTS CAPITALIZATION AND NEW RESEARCH DIRECTIONS</b> .....	<b>146</b>	<b>67</b>
6.1 Final conclusions .....	146	67
6.2 Original contributions .....	148	69
6.3 Capitalizing the results of the research .....	149	70
6.3.1 Published papers .....	149	70
6.3.2 Conference participations .....	151	72
6.3.3 Participation in research and development contracts .....	152	72
6.4 Future research directions .....	152	73
<b>BIBLIOGRAPHY</b> .....	<b>153</b>	<b>74</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>169</b>	<b>-</b>
Annex 1 Mathematical equations for the 12 driver posture models .....	169	-
Annex 2 Solving the mathematical model in Maple .....	176	-
Annex 3 Screenshot of the text file generated by applying the mathematical model with five inertial sensors .....	180	-
Annex 4 Arduino subprogram for data acquisition from the BNO055 inertial sensor and conversion from quaternions to Euler angles .....	181	-
Annex 5 ARDU_COM subprogram for testing bidirectional communication between a microcontroller and a smartphone .....	183	-
Annex 6 Spine_Recording_Android subprogram for monitoring the torso postures with the SPINE system .....	184	-
Annex 7 NAVIEYES_FACE application for tracking the driver's head posture and triggering alarms .....	191	-
Annex 8 Kinect subprogram for monitoring the driver's body and head postures (self-calibration algorithm) .....	200	-
Annex 9 OpenPose subprogram for monitoring driver's body and head posture (self-calibration algorithm section and data recording in file) .....	201	-
Annex 10 Technology Acceptance Model (TAM) (original English version) .....	204	-
Annex 11 Technology Acceptance Model (TAM) (adapted and translated into Romanian) .....	205	-
Annex 12 CRS comfort assessment questionnaire .....	206	-
<b>SUMMARY (RO / EN)</b> .....	<b>207</b>	<b>84</b>
<b>STATEMENT OF AUTHENTICITY</b> .....	<b>208</b>	<b>-</b>

## PREFAȚĂ

*„Lumea pe care am creat-o este un proces al gândirii noastre. Nu poate fi schimbată fără a ne schimba gândirea.”*

Albert Einstein

*„Nothing is impossible, the word itself says 'I'm possible!'”*

Audrey Hepburn

Istoria automobilelor a început din secolul al 17-lea cu apariția primului vehicul propulsat cu motor cu aburi, apoi din secolul al 19-lea cu combustie internă, precum și cu o versiune preliminară de motor electric. Vehiculele din această perioadă erau rudimentare și nu includeau sisteme de conducere și de siguranță. Din acest punct de vedere anul 1959 se evidențiază ca un început prin apariția centurii de siguranță în trei puncte, urmând ca în următorii ani, dovedindu-și eficacitatea, să devină obligatorie în numeroase țări. Siguranța rutieră a devenit din ce în ce mai importantă pe măsură ce creștea numărul de utilizatori de autovehicule și, totodată, numărul victimelor. În ultima perioadă de timp, pe lângă sistemele de siguranță clasice, au fost introduse diverse tehnologii de asistență a conducătorului auto. Totuși, conform statisticilor recente, în fiecare an aproximativ 1,4 milioane de oameni sunt răniți în traficul rutier din Uniunea Europeană.

Automatizarea inteligentă a procesului de conducere reprezintă una din căile eficiente de a reduce numărul de accidente rutiere cauzate de erorile umane sau de stări necorespunzătoare ale sistemelor de frânare și direcție ale autovehiculului. Astfel, acesta fiind echipat cu senzori interni și externi (pentru măsurarea parametrilor comportamentali și respectiv, a celor asociați mediului de rulare) și cu sisteme de execuție permite, prin intermediul unui sistem de comandă și control inteligent, să realizeze sisteme de asistență avansate sau chiar, mai nou, conducerea autonomă. La momentul actual, există producători auto care oferă un nivel ridicat de automatizare bazat pe algoritmi de inteligență artificială și computer vision, dar care, încă, necesită să fie supervizate de către conducătorul auto. Deși autovehiculele actuale au funcții avansate de asistență a conducătorului auto, care asigură, pe lângă avertizări și alerte evoluat, și intervenții în procesul de conducere asupra sistemelor de frânare și/sau de direcție, totuși acestea nu sunt accesibile din cauza costurilor ridicate și a tehnologiilor de serie mare încă limitate.

Cercetările din domeniu au evidențiat, în ultimul timp, potențialul ridicat al utilizării de sisteme de asistență a conducătorului auto supervizate de dispozitive mobile (telefoane mobile inteligente sau tablete). Progresele tehnologice au introdus pe piață dispozitive mobile cu performanțe de calcul ridicate și senzori cu precizii și rezoluții mărite. Iar, pe de altă parte, numărul din ce în ce mai mare al utilizatorilor de telefoane mobile inteligente (aprox. 3,8 miliarde în anul 2021 cu o creștere constantă cu 0,3 miliarde/an) reprezintă un motiv în plus pentru dezvoltarea de sisteme de asistență supervizate de telefoane inteligente care, având în vedere evoluțiile tehnologice, mai ales, în domeniul ITC, pot conduce și la costuri reduse.

Dezvoltarea de sisteme de monitorizare a conducătorului auto supervizate de telefoane mobile inteligente necesită algoritmi de fuziune a diverselor tipuri de date care descriu aspecte legate de starea fiziologică și de posturile conducătorului auto. În plus, aceste sisteme trebuie să fie concepute, dezvoltate și testate pentru a fi fiabile, ușor de integrat și utilizat, fără a deranja utilizatorul.

Cercetările realizate în cadrul prezentei lucrări s-au concentrat pe monitorizarea posturii trunchiului și capului conducătorului auto cu scopul îmbunătățirii confortului și siguranței la postul de conducere prin identificarea de poziții adecvate la volan și atenționarea acestuia în cazurile în care ating posturi clasificate drept necorespunzătoare sau nesănătoase.

Comportamentul conducătorului auto, chiar și în cazul folosirii sistemelor de asistență inteligente, este dependent de educația, instruirea, rigoarea aplicării regulilor etc. Pe de altă parte,

trebuie luate în considerare și progresele în domeniul sistemelor de siguranță rutieră ce se corelează cu procesele de conducere a autovehiculelor monitorizate de sisteme inteligente.

Pe parcursul fundamentării științifice și elaborării acestei teze, m-am bucurat de sprijinul și îndrumarea unor oameni excepționali, cu calități profesionale și umane deosebite, cărora doresc să le mulțumesc. Prin profesionalism și dăruire, au contribuit la formarea mea ca și cercetător, oferindu-mi inspirație, curaj și bucuria de a merge mai departe.

**Domnului Prof. univ. dr. ing. MOGAN Gheorghe Leonte**

Deosebită recunoștință, profund respect și alese mulțumiri pentru încrederea acordată, pentru îndrumarea științifică, profesionalismul de care a dat dovadă pe întreg parcursul stagiului doctoral, precum și pentru noblețea sufletească care îl caracterizează.

**Colectivului Centrului de Cercetare Informatică Industrială Virtuală și Robotică**

Întreaga mea recunoștință, deosebit respect și alese mulțumiri pentru sprijinul, îndrumarea și sfaturile oferite cu generozitate, pentru timpul și încrederea acordate pe întreaga perioadă de cercetare științifică în cadrul realizării stagiului doctoral, precum și pentru implicarea mea în diferite proiecte naționale și internaționale, precum și oportunitatea de a coordona dezvoltarea de propuneri de proiecte europene complexe, contribuind astfel la formarea mea personală și profesională.

**Profesorilor și colegilor din cadrul Universității Transilvania și Institutului de Cercetare și Dezvoltare**

Sincere mulțumiri și deosebit respect și admirație tuturor profesorilor care de-a lungul anilor mi-au călăuzit pașii și mi-au insuflat dorința de a cunoaște și de a cerceta. În mod deosebit, doresc să adresez mulțumirile mele, Domnului Rector prof. dr. ing. Ioan Vasile Abrudan și Domnului prof. dr. ing. Mihai Duguleană pentru sprijinul moral și încurajările oferite. Alese mulțumiri tuturor colegilor din cadrul Universității Transilvania cu care am avut onoarea de a colabora.

În mod deosebit vreau să mulțumesc întregii mele **familii**, în special părinților mei, pentru dragostea necondiționată, suportul moral, înțelegerea și încurajările oferite permanent pe tot parcursul acestor ani și pentru toate sacrificiile impuse de implicarea mea în activități legate de pregătirea și elaborarea acestei teze.

Dedic această teză surorilor mele, **Andreea, Silvia și Mihaela**, pentru suportul moral și grija purtată în toți acești ani.

Brașov, 2021

Drd. ing. Gheorghe-Daniel VOINEA

## **LISTA ABREVIERILOR**

ABS	Anti-lock Braking System
3D	Tridimensional
AAM	Active Appearance Models
ACC	Adaptive Cruise Control
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
CLBP	Circular Local Binary Pattern
CPU	Central Processing Unit
CRS	Comfort Rating Scales
ECG	Electrocardiograma
EOR	Eyes Off Road
ESC	Electronic Stability Control
FDA	Fisher Discriminant Analysis
FPG	Foto-pletismografie
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User Interface
GW	Gabor Wavelet
HMI	Human-Computer Interface
HMM	Hidden Markov Mode
HOG	Histogram of Oriented Gradients
I2C	Inter-Integrated Circuit
ICA	Independent Component Analysis
IDE	Integrated Development Environment
IMU	Inertial Measurement Units
LBP	Local Binary Patterns
LDA	Linear Discriminant Analysis
LDP	Local Directional Pattern
LFA	Local Feature Analysis
LKA	Lane-Keeping Assist
MBS	Multi Body System
MEF	Metoda Elementelor Finite

*Lista abrevierilor*

---

MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
NN	Nearest Neighbor
PBVD	Piecewise Bezier Volume Deformation
PCA	Principal Component Analysis
PHS	Personal Health Systems
SAD	Sistem de achiziție de date
SBMR	SparkFun Bluetooth Mate Silver
SCL	Serial Clock Line
SDA	Serial Data Line
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SSP	Sistem de Sănătate Personală
SVM	Support Vector Machine
TAM	Technology Acceptance Model
TI	Tehnologia Informației
TIC	Tehnologia Informației și Comunicațiilor
UE	Uniunea Europeană

# 1 INTRODUCERE

## 1.1 ASPECTE GENERALE

Printre principalele priorități ale producătorilor de autovehicule se regăsesc creșterea siguranței rutiere și mărirea autonomiei prin introducerea de noi tehnologii de asistență a conducătorului auto, precum și dezvoltarea de sisteme de avertizare și protecție eficiente. Mai mult, aceste priorități au fost impuse în anumite state prin adoptarea de legi care stabilesc standarde minimale privind funcțiile de asistență. Astfel, au devenit obligatorii tehnologiile ABS (Anti-lock Braking System) și urmează ca începând din anul 2022, în Uniunea Europeană, toate autovehiculele noi să includă sisteme inteligente de asistare a vitezei și sisteme avansate pentru frânarea de urgență [www1]. Performanțele sistemelor de asistență, uneori, pot fi reduse din cauza comportamentul conducătorului auto necorespunzător, motiv pentru care, în viitor, este necesară studierea mai mult a interacțiunilor om-mașină și luarea în calcul a diverselor situații ce țin și de comportamentul conducătorului auto. Pe de altă parte, utilizarea sistemelor de asistență a conducătorului auto poate influența în mod negativ comportamentul acestuia prin reducerea percepției asupra mediului de rulare și/sau creșterea neatenției [Hagl, 2020].

Telefoanele mobile inteligente au un impact major asupra societății actuale prin interfețe intuitive și naturale care preiau date de la o diversitate de senzori integrați, de la accelerometru, giroscop, GPS, CMOS, până la cei care monitorizează starea de sănătate (concentrația de oxigen din sânge, tensiune arterială etc.). Astfel, având la dispoziție seturi de date diverse, cercetătorii au început să investigheze/determine comportamentul conducătorului auto prin parcurgerea, în general, a următoarelor etape: achiziția și stocarea de date, pregătirea și prelucrarea datelor, aplicarea de modele și algoritmi matematici și emiterea de alerte. Totodată, au fost propuse și testate aplicații capabile să ofere mesaje și recomandări pentru conducerea în condiții de siguranță cu luarea în considerare și a aspectelor comportamentale, chiar și a celor ecologice [Mantouka, 2020].

## 1.2 NECESITATEA ȘI JUSTIFICAREA TEMEI

Cercetările derulate în cadrul prezentei lucrări au pornit de la nevoia actuală de a introduce și valida o nouă abordare privind sistemele de asistență a conducătorului auto implementabile pe dispozitive mobile (telefoane inteligente sau tablete), caracterizate de flexibilitate, portabilitate și accesibilitate mărite în detectarea și evitarea de situații care pot conduce la apariția, pe de-o parte, a unor evenimente rutiere nedorite sau, pe de altă parte, a unor afecțiuni fiziologice, mai ales, legate de posturi necorespunzătoare la volan. În plus, datorită progreselor tehnologice din ultima perioadă de timp care au condus la mărirea puterii de calcul și capacității senzoriale ale dispozitivelor mobile, sistemele de asistență se pot autocalibra în funcție de caracteristicile fiziologice și stilul de conducere ale utilizatorului (conducătorul auto).

Sistemul propus în prezenta lucrare, bazat pe avantajele oferite de dispozitivele mobile inteligente, comunicațiile fără fir și senzorii de tip MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), are caracter inovativ și aduce noutate în literatura de specialitate prin cercetările desfășurate care presupun un grad mărit de interdisciplinaritate, prin combinarea de cunoștințe teoretice și practice din mai multe domenii: autovehicule, electronică, comunicații, TI (Tehnologia Informației), statistică, programare software și dezvoltare hardware etc.

Efectuarea de cercetări teoretico-experimental-aplicative privind sistemele de asistență ale conducătorului auto care urmăresc și posturile corporale ale acestuia, presupun concepția, dezvoltarea, implementarea și testarea la nivel de componente (subsisteme) hardware și software precum și la nivel integrator în entități applicative distincte.



### 1.3 OBIECTIVELE CERCETĂRII

**Obiectivul principal** al cercetărilor din cadrul tezei de doctorat este studiul, concepția, dezvoltarea, implementarea și testarea unui sistem de monitorizare a posturilor trunchiului și capului conducătorului auto, prin analizarea simultană a mediului de navigare, implementabil pe dispozitive mobile (telefoane inteligente sau tablete), cu scopul creșterii siguranței în trafic, precum și confortului conducătorului auto la volan.

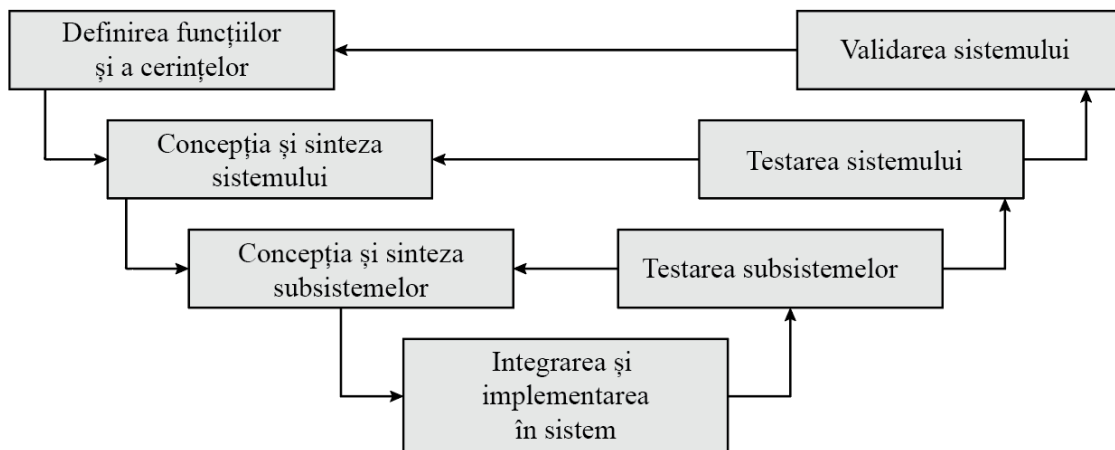
**Obiective specifice:**

1. analiza aprofundată a cercetărilor teoretice și experimentale în domeniul sistemelor de asistență a conducătorului auto, cu precădere, aspecte referitoare la urmărirea posturii corpului în timpul procesului de conducere, precum și despre siguranța rutieră și confort;
2. modelarea matematică a posturii trunchiului și capului conducătorului auto, având la bază date de la senzori inerțiali și, respectiv, imagini de la camerele video ale telefonului mobil inteligent;
3. concepția, modelarea, proiectarea, dezvoltarea și testarea unui subsistem de urmărire a posturii trunchiului conducătorului auto;
4. concepția, modelarea, proiectarea, dezvoltarea și testarea unui subsistem de urmărire a posturii capului conducătorului auto;
5. concepția, modelarea, proiectarea, dezvoltarea și testarea unui sistem de urmărire a posturii trunchiului și capului conducătorului auto;
6. teste și studii experimentale cu subsistemele/sistemul dezvoltat în medii virtuale;
7. teste și studii experimentale cu subsistemele/sistemul dezvoltat în medii reale de trafic;
8. modelarea și analiza statistică a rezultatelor experimentale.

### 1.4 METODOLOGIA ȘI ETAPELE CERCETĂRII

În urma stabilirii obiectivului principal ca urmare a concluziilor stadiului actual al cercetărilor și realizărilor în domeniu (v. subcap. 2.10), precum și a obiectivelor specifice necesare atingerii obiectivului principal, și având la bază analiza critică a realizărilor teoretice și practice din domeniul tehnologiilor de monitorizare a posturilor corporale ale conducătorului auto, s-a propus concepția și sinteza unui sistem complet (hardware și software) luând în considerare cele mai importante metode și tehnologii actuale pentru obținerea de performanțe ridicate.

În fig. 1.1 sunt prezentate sintetic principalele etape ale activității de cercetare științifică derulate. Având identificată tematica de cercetare, prin obiectivul principal, s-a continuat cu definirea cerințelor pe care sistemul trebuie să le îndeplinească și schițarea funcțiilor. În etapa de



*Fig. 1.1 Schema bloc generală a procesului de cercetare*

concepție și sinteză a sistemului au fost integrate aspectele determinate anterior astfel încât să rezulte un sistem modular, flexibil care, pe lângă performanțe cantitative, să îndeplinească și rigori calitative. Pentru a asigura modularitatea sistemului, au fost concepute și implementate subsisteme care îndeplinesc anumite subfuncții și care au fost testate, în această etapă, separat. Integrarea și implementarea în sistem necesită luarea în calcul a modalităților de sincronizare a datelor, a limitărilor hardware și software, precum și de optimizare a funcționării. Prin derularea de teste experimentale, în medii virtuale și reale, a subsistemelor, și apoi a sistemului, s-a ajuns la un prototip funcțional al sistemului de monitorizare a posturii conducătorului auto. Prin realizarea de teste în medii virtuale s-au obținut rezultate privind performanțele cantitative și calitative folosind echipamente mai puțin costisitoare decât în cazurile testelor în medii reale. Astfel, în urma îmbunătățirilor rezultate după studiile experimentale din medii virtuale, se pot realiza teste experimentale în medii reale care, de obicei, implică perioade de timp și costuri mult reduse decât în cazurile fără teste în medii virtuale. Ca urmare a dezvoltării de modele matematice pentru implementarea acestora în programe de calcul, se impune concepția și dezvoltarea de algoritmi care și aceștia, la rândul lor, trebuie verificați în condiții funcționale de subsistem și apoi de sistem.

## 1.5 STRUCTURA SI CONȚINUTUL TEZEI

Lucrarea de doctorat este structurată în 6 capitole (144 pagini), bibliografie (16 pagini), și anexe (38 pagini).

În Capitolul 1, **Introducere**, sunt prezentate noțiuni generale privind tematica cercetării abordate în cadrul acestui studiu, și sunt evidențiate necesitatea și justificarea temei, având la bază îmbunătățirea siguranței în trafic și confortul conducătorului auto prin dezvoltarea de noi sisteme de asistență a conducătorului auto. Tot în cadrul acestui capitol s-au definit obiectivul principal și obiectivele specifice ale cercetărilor. Pentru structurarea etapelor de cercetare s-a personalizat schema “V” pentru tematica propusă, care a stat la baza derulării activităților ulterioare.

În Capitolul 2, **Monitorizarea posturilor trunchiului și capului conducătorului auto. Stadiu actual**, se prezintă sintetic aspecte generale privind o serie de aspecte necesare pentru înțelegerea procesului de conducere auto astfel încât să poată fi, pe de-o parte, îmbunătățite securitatea în trafic, comportamentul și confortul conducătorului auto și nu în ultimul rând, ergonomia postului de conducere și, pe de altă parte, evitarea apariției unor afecțiuni (boli profesionale) posturale la volan. Luând în considerare aspectele anterioare, s-a realizat o trecere în revistă a sistemelor de urmărire a posturilor trunchiului și capului conducătorului auto, cu evidențierea limitelor admisibile. Pentru determinarea posturilor corpului conducătorului auto la volan s-au sintetizat echipamente (senzori, controlere etc.) de urmărire a mișcărilor conducătorului auto în procesul de conducere. În finalul capitolului sunt prezentate pe scurt pachetele software care sunt utilizate, în general, pentru dezvoltarea sistemelor portabile de monitorizare a posturilor corpului uman.

În Capitolul 3, **Modelarea posturilor trunchiului și capului conducătorului auto**, se prezintă modele matematice și algoritmi dedicați pentru dezvoltarea de sisteme de asistență implementabile pe dispozitive mobile. Astfel, s-a conceput un model matematic original, pentru determinarea cu precizie ridicată a posturilor coloanei vertebrale având ca date de intrare (unghiuri de orientare în diverse puncte) de la 5 senzori inerțiali. Modelul matematic, în urma algoritmicării și programării, a fost simulat pentru 14 forme posibile ale coloanei vertebrale, descrise pentru seturi distincte ale valorilor unghiurilor de orientare măsurate. Majoritatea acestor forme au fost asociate cu forme nesănătoase specifice unor afecțiuni ale coloanei vertebrale.

Pentru vizualizare în 3D a modelului coloanei vertebrale a fost propusă o interfață pentru observarea/urmărirea formelor acesteia pentru stabilirea posturilor necorespunzătoare, în timpul procesului de conducere, dar și de medicii specialiști pentru stabilirea afecțiunilor de coloană, de obicei, offline.

În plus, s-au conceput modele pentru detecția și urmărirea posturilor capului prin analizarea de cadre video, precum și un model matematic care, folosind unghiuri de la senzori inerțiali și cadre video de la telefonul mobil, descrie posturile trunchiului și capului conducătorului auto. Pentru urmărirea scenelor de trafic, s-a propus un model de măsurare a distanțelor până la obstacole din trafic folosind cadre de la camera video frontală a telefonului mobil inteligent.

În Capitolul 4, *Sistem de monitorizare a posturii trunchiului și capului conducătorului auto*, este prezentată conceperea, proiectarea și implementarea sistemului de monitorizare NAVIPOSTURE. Acesta integrează două subsisteme: modulul SPINE, de urmărire a posturii trunchiului conducătorului auto și NAVIEYES, de urmărire a posturii/orientării capului corelat cu scenele de trafic.

Subsistemul SPINE include module de achiziție a datelor de la senzori inerțiali BNO055 fixați pe o bandă flexibilă, de multiplexare a semnalelor care permit conectarea prin protocolul I2C la un microcontroler, modul de comunicații fără fir și un telefon mobil inteligent sau laptop/cloud computer. Microcontrolerul Teensy a fost folosit pentru transmisia de date la calculator printr-un cablu USB, dar și către un telefon mobil prin Bluetooth sau către un server cloud computer prin rețeaua GSM. Din punct de vedere software, subsistemul include două aplicații, pentru sistemele de operare Windows și Android, care implementează algoritmi propuși în subcap. 3.1.

Subsistemul NAVIEYES are la bază algoritmi de procesare a imaginilor care provin de la camerele unui telefon mobil inteligent. Fluxurile video de la camerele telefonului mobil inteligent sunt procesate pentru a determina posturile capului, evidențiate de cadrele video de la camera frontală, în raport cu repere/obstacole din trafic identificate în cadrele video de la camera principală. Astfel, au fost descrise diverse orientări ale capului conducătorului auto în raport cu sarcinile impuse de procesul de conducere a autovehiculului.

Monitorizarea procesului de conducere cu sistemul NAVIPOSTURE presupune achiziția și analiza datelor rezultate de la cele două subsisteme, SPINE și NAVIEYES, și generarea de alerte sonore și/sau vizuale cu scopul evitării posturilor necorespunzătoare ale trunchiului și capului conducătorului auto în timpul procesului de conducere.

Datele de intrare folosite de sistemul NAVIPOSTURE sunt asociate posturilor (formelor) coloanei vertebrale și orientărilor ale capului conducătorului auto din timpul procesului de conducere, precum și valorile limită care definesc posturile și, respectiv, orientările limită.

În plus, în cadrul acestui capitol se prezintă concepția, dezvoltarea și testarea unui subsistem de interacțiune vibro-tactilă cu conducătorul auto. Acesta utilizează actuatori vibro-tactile poziționate într-o matrice cu 4 linii și 3 coloane care se montează în spătarul scaunului conducătorului auto. Pentru emiterea de mesaje tactile s-au definit scenarii de combinare a comenzilor de acționare a motoarelor vibro-tactile pentru diverse situații de rulare necorespunzătoare (părăsirea benzii de circulație, depășirea vitezei regulamentare de circulație, atingerea distanței minime până la obstacol etc.)

În Capitolul 5, *Teste și studii experimentale*, sunt prezentate planificarea și realizarea experimentelor, achiziția și prelucrarea datelor precum și analiza rezultatelor obținute pentru subsistemele/sistemul NAVIPOSTURE, care s-au derulat atât în medii virtuale, cât și în medii reale.

Pentru verificarea funcționării și validarea subsistemului SPINE s-au efectuat studii pe un stand (simulator) cu structurile hardware și software bazate pe senzori inerțiali și, respectiv pe modelul matematic de descriere a posturii trunchiului. În continuare, au fost realizate teste experimentale de monitorizare a posturii trunchiului conducătorului auto în condiții controlate de simulator pentru, pe de o parte, atenționarea acestuia când apar posturi instantanee (în perioade scurte de timp) necorespunzătoare cu procesul de conducere și, pe de altă parte, memorarea datelor despre posturile nesănătoase cu perioade de timp îndelungate (stabilite preliminar) care pot conduce la apariția unor afecțiuni/boli profesionale legate de coloana vertebrală.

Contribuții proprii au fost evidențiate și ca urmare a prezentării rezultatelor studiilor experimentale desfășurate în mediul real cu subsistemul NAVIEYES de monitorizare a posturii capului în raport cu mediul de navigare. În urma analizei statistice a rezultatelor s-a ajuns la concluzia că participanții la experimente au evidențiat viteze medii semnificative statistic mai mici și valori mai mari ale timpilor până la obstacole în scenariul NAVIEYES (cu mișcări ample ale trunchiului și capului conducătorului auto), spre deosebire de scenariul de referință (cu posturi de conducere acceptabile). În plus, prin aplicarea regresiei ierarhice liniare asupra variabilelor modelului de acceptare a tehnologiei TAM (Technology Acceptance Model), s-a ajuns la concluzia că intenția de utilizare - influențată, cu precădere, de două variabile TAM, atitudinea și utilitatea percepute – a subsistemului NAVIEYES este pozitivă.

În completare, au fost realizate și teste experimentale cu sistemul NAVIPOSTURE atât în medii virtuale, în cadrul simulatorului dezvoltat, cât și în medii reale cu scopul identificării de posturi necorespunzătoare în timpul procesului de conducere și emiterea de mesaje/alerte cu aplicația Android instalată pe telefonul mobil inteligent. În paralel, au fost efectuate cercetări în medii virtuale și cu sistemele Kinect și OpenPose pentru urmărirea posturilor conducătorului auto la volan. În baza rezultatelor obținute și a constrângerilor impuse de caracteristicile postului de conducere, s-a ajuns la concluzia că sistemul NAVIPOSTURE este cel mai potrivit pentru monitorizarea posturilor trunchiului și capului conducătorului auto, care, pe lângă posibilități de integrare facile, este realizabil cu costuri mai reduse.

Nu în ultimul rând, în cadrul acestui capitol se prezintă rezultatele testelor de evaluare a confortului privind purtabilitatea vestei cu banda flexibilă cu senzori inerțiali. Prin aplicarea unui chestionar validat de literatura de specialitate și prin prelucrarea statistică a datelor rezultate s-au evidențiat efecte încurajatoare ale folosirii acestui echipament precum și soluții de îmbunătățire a acestuia.

În Capitolul 6, **Concluzii finale, contribuții originale, valorificarea rezultatelor și noi direcții de cercetare**, se prezintă sintetizat concluziile cercetărilor efectuate, se evidențiază principalele contribuții originale, sunt analizate rezultatele obținute în urma studiilor experimentale atât în medii virtuale cât și cele reale, și sunt propuse posibile direcții viitoare de cercetare. Totodată, sunt prezentate și activitățile de diseminare a rezultatelor cercetărilor, prin liste de lucrări publicate, de participări la conferințe naționale și internaționale, precum și de participări la contracte de cercetare, ca membru în echipa de cercetare.

## 2 MONITORIZAREA POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI CONDUCĂTORULUI AUTO. STADIU ACTUAL

### 2.1 ASPECTE GENERALE PRIVIND CONDUCEREA AUTOVEHICULELOR CU SISTEME DE ASISTENȚĂ

Scopul conducătorului auto este de a ajunge la o destinație în condiții de siguranță și într-un timp cât mai scurt. Din momentul în care autovehiculul a fost pus în mișcare, există o multitudine de factori care influențează comportamentul conducătorului auto și care pot determina apariția unor situații nedorite (coliziuni, părăsirea căii de rulare etc.). Pentru evitarea unui accident este necesară adaptarea continuă a vitezei și direcției de mers a autovehiculului la condițiile impuse de mediul de deplasare. Din acest motiv, cercetarea aspectelor critice ale sarcinii de conducere s-a axat pe identificarea posibilelor condiții care produc un răspuns întârziat al conducătorului auto și găsirea de modalități de evitare a acestora pentru a crește siguranța rutieră [Fuller, 1984].

Progresele tehnologice din domeniul industriei auto au condus la îmbunătățirea siguranței participanților la trafic prin introducerea de sisteme inovative de asistare a conducătorului auto. Totodată, s-a pus accentul și pe creșterea confortului la postul de conducere pentru a reduce nivelul de oboseală resimțit în cazul deplasărilor pe distanțe medii și lungi. În general, sistemele de asistență a conducătorului auto, în evoluția lor asigură din ce în ce mai multe funcții, de obicei, integrate și testate ca produse distincte. Integrarea mai multor funcții într-un sistem este necesară și este posibilă prin dezvoltarea de noi interfețe HMI (Human-Computer Interface). De exemplu, aplicațiile "UR:BAN" [Bengler, 2018] și "interactIVE" [Alessandretti, 2014] au fost dezvoltate cu scopul de a informa, a avertiza și chiar să preia controlul autovehiculului în situații de pericol iminent. Autovehiculele viitorului vor fi concepute și dezvoltate cu capacități avansate de comunicare cu conducătorul auto, dar și între ele, și vor naviga cu intervenții reduse ale conducătorului auto. Aceste tendințe, ținând cont de multitudinea de situații posibile mai ales în viitorul apropiat, nu vor elimina concepția și dezvoltarea de sisteme de asistență a conducătorului auto (ADAS – Advanced Driver Assistance Systems) integrate în autovehicul ca opțiune de dotare sau care pot fi implementate ca sisteme auxiliare, de obicei, ca aplicații pe telefoane mobile inteligente. ADAS-urile portabile implementabile pe dispozitive mobile (telefoane mobile inteligente sau tablete) sunt într-o perioadă de dezvoltare explozivă deoarece, față de cele integrate ca o dotare la cumpărarea autovehiculului, asigură flexibilitate și portabilitate mărite (pot fi actualizate / updatate mai ușor pe parcursul perioadei de folosire a autovehiculului), performanțe superioare (numărul parametrilor măsurați și evaluați mărit prin folosirea senzorilor dispozitivului mobil și/sau a altor senzori atașabili), posibilități evaluate de prevenție și previziune (consecință a lărgirii gamei de pachete software cu cele implementabile pe dispozitivele mobile). Toate aceste avantaje, având în vedere performanțele ridicate la prețuri scăzute ale structurilor hardware și software ale dispozitivelor moderne, conduc la ADAS-uri performante la prețuri scăzute.

### 2.2 GENERALITĂȚI DESPRE SIGURANȚA RUTIERĂ

În fiecare an, 26.000 de oameni își pierd viața și 1,4 milioane de oameni sunt răniți în traficul rutier din Uniunea Europeană (UE) [www2]. Conform statisticilor, 80% din accidentele care au avut loc și 65% din accidentele care au fost evitate în ultimul moment au fost cauzate în totalitate sau parțial de limitele percepției umane, ale atenției și abilității operaționale atunci când apar circumstanțe periculoase. Printre cei mai vulnerabili participanți la trafic, în ordine, sunt: cicliștii, vehiculele motorizate cu două sau trei roți și pietonii. Statistici privind numărul deceselor în accidente rutiere la nivelul UE sunt prezentate în fig. 2.1 [www3]. Cele mai frecvente cauze ale accidentelor de circulație cu urmări grave sunt: neatenția conducătorului auto, recent asociată cu utilizarea unui dispozitiv mobil în timpul procesului de conducere [Knapper, 2015], indisciplina pietonilor (traversare neregulamentară a străzii, deplasarea pe partea carosabilă etc.) și viteza

(neregulamentară și/sau neadaptată la condițiile de mediu). Pe drumurile naționale și județene, majoritatea accidentelor sunt cauzate de viteză, în timp ce indisciplinarea pietonilor reprezintă sursa principală a accidentelor rutiere în interiorul localităților, în special în mediul urban.

Cercetările din domeniul siguranței rutiere de-a lungul timpului au avut și au o importanță majoră în reducerea numărului de accidente fatale. Printre primele invenții care au avut un rol determinant se numără centura de siguranță și airbag-urile. Începând cu anii 1990, producătorii de autovehicule au implementat *măsuri active de siguranță*. Dezvoltarea de sisteme de asistență care, în prima fază, au contribuit la reducerea timpului de reacție al conducătorului auto, prin analizarea comportamentului acestuia și producerea de alerte de avertizare, a avut un rol crucial în creșterea siguranței în traficul rutier [Onken, 1994].

Conducătorul auto este cea mai importantă verigă în lanțul siguranței rutiere. Indiferent de eficacitatea politicii în domeniul siguranței rutiere sau măsurile tehnice adoptate, comportamentul conducătorului auto este dependent de **educația, instruirea, rigoarea aplicării regulilor** etc. Deci, sistemele de siguranță rutieră trebuie proiectate astfel încât să țină cont și de erorile umane generate de comportamente necorespunzătoare [www5]. Pe de altă parte, experiența de conducere acumulată pe parcursul anilor are drept efect reducerea numărului de accidente grave. Totuși, creșterea siguranței în trafic se poate realiza și prin organizarea unor *sesiuni speciale de instruire* a conducătorilor auto [Newnam, 2002].

Performanțele de conducere a autovehiculelor, în principal, sunt influențate de *următoarele abilități cognitive* ale conducătorilor auto: **anticiparea pericolelor, reflexele de atenuare a pericolelor și păstrarea atenției**. În urma unui studiu pe un simulator de conducere, pentru a determina dacă eficacitatea unui program de formare care a avut scopul de a îmbunătăți abilitățile de conducere, s-a constatat că participarea la sesiunile de training a avut efecte benefice doar în cazul conducătorilor auto moderați (atenți), iar în cazul celor cu un stil de conducere agresiv nu s-au observat îmbunătățiri semnificative [Zhang, 2018]. În plus, s-a demonstrat că modul în care o persoană percepe importanța pregătirii în domeniul siguranței indică nivelurile reale ale unui comportament de conducere sigur [Öz, 2013].

Sistemele de siguranță ale autovehiculelor pot fi pasive sau active (fig. 2.2). Sistemele de siguranță active au ca scop prevenirea și evitarea accidentelor, spre deosebire de cele pasive (interne sau externe) care includ măsuri și/sau dispozitive ce diminuează efectele (răniri, daune materiale etc.) ce pot apărea în cazul producerii unui accident. Printre cele mai utilizate sisteme de siguranță active se evidențiază: anti-blocare a frânei ABS (Anti-lock Braking System), autopilot adaptiv ACC (Adaptive Cruise Control), avertizare la părăsirea benzii de circulație LKA (Lane-Keeping Assist), ESC etc. Ca dispozitive de siguranță pasivă pot fi: centurile de siguranță, airbag-

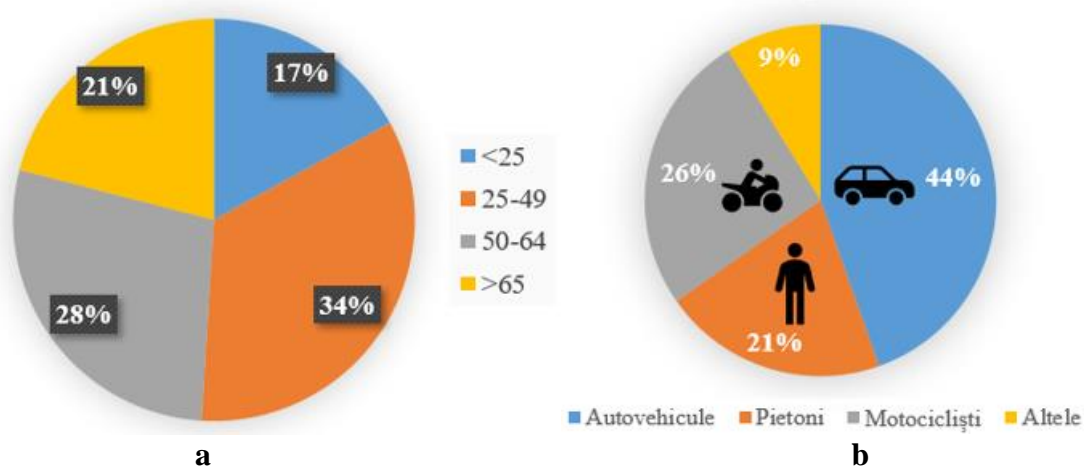


Fig. 2.1 Statistici privind numărul deceselor în accidente rutiere în UE (valori estimate în 2019):  
**a** – în funcție de vârstă; **b** – în funcție de participanții la trafic

urile, zone structurale de deformare permisivă (conduc la minimizarea leziunilor ocupanților autovehiculului) etc.

Dezvoltarea de sisteme de monitorizare a siguranței conducătorului auto pe telefoane mobile inteligente necesită algoritmi de fuziune a diverselor tipuri de date care caracterizează aspecte legate de starea fiziologică și de posturile conducătorului auto. De asemenea, ar trebui să fie concepute astfel încât să fie fiabile, ușor de utilizat, fără a deranja

utilizatorul și să ofere informații la momentul potrivit [Várhelyi, 2015; Winkler, 2016]. Utilizarea datelor de la electrocardiograma (ECG), foto-pletismografie (FPG), senzori amplasați pe volan și de orientare a capului conducătorului auto prezintă multiple beneficii în asigurarea unei monitorizări eficiente a procesului de conducere [Lee, 2012]. Un studiu detaliat despre rolul și potențialul dispozitivelor mobile inteligente utilizate pentru monitorizarea comportamentului conducătorului auto este prezentat în lucrarea [Kanarachos, 2018]. În plus, creșterea siguranței conducătorului auto este posibilă și prin utilizarea senzorilor interni ai unui telefon mobil inteligent. Astfel, prin intermediul acestora se pot evalua stările anormale ale autovehiculului (patinare, părăsire carosabil etc.) și/sau ale părții carosabile (denivelări, gropi, neuniformități etc.) [Fazeen, 2012].

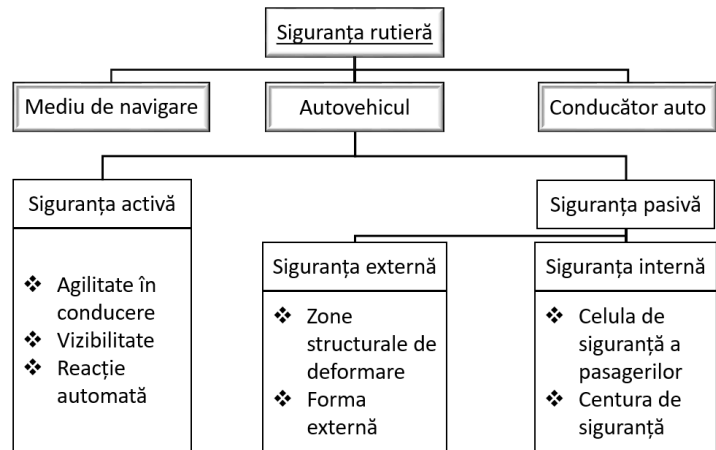


Fig. 2.2 Sisteme de siguranță activă și pasivă

## 2.3 COMPORTAMENTUL CONDUCĂTORULUI AUTO LA VOLAN

În general, *comportamentul conducătorului auto* este dependent în mod sistematic, în funcție de **capabilitățile acestuia** (sănătatea fizică și/sau psihică, capacitatea de muncă, stres etc.), **trafic** (densitate, vitezele permise etc.) și **mediu** (starea carosabilului, vremea, geometria drumurilor, iluminarea carosabilului etc.)

*Stilul de conducere* ca mod practic de manifestare a comportamentului conducătorului auto diferă între indivizi sau între grupuri de indivizi, acesta putând fi definit ca *un mod individual de conducere*, ceea ce se manifestă ca o caracteristică relativ stabilă specifică conducătorului auto [Sagberg, 2015]. În literatura de specialitate, definițiile stilului de conducere se pot referi la: obiceiuri și reflexe de conducere individuale [Lajunen, 2011; Elander, 1993]; atitudini, orientări și mod de gândire în conducerea zilnică [Ishibashi, 2007]; comportamentul dinamic în timpul conducerii [Murphey, 2009] etc. Stilul de conducere al unui conducător auto are legătură directă și cu posturile (corecte sau incorecte) la volan ale acestuia.

Cei mai importanți factori psihologici luați în considerare pentru evaluarea comportamentului conducătorului auto pot fi: locusul de control [Măirean, 2017], încrederea, conștientizarea situației, reprezentările mintale etc. Locusul de control este o variabilă dezvoltată în 1954 de către psihologul american Julian Rotter și reflectă gradul în care o persoană se așteaptă să își atingă obiectivele și țelurile dorite. Altfel spus, rezultatul atingerii obiectivelor poate fi datorat unor cauze interne (propriile decizii) sau cauze externe (mediul de lucru și alte evenimente). Anxietatea mentală și schimbările abrupte ale dispoziției psihice provoacă confuzii de raționare și diminuează capacitatea de conducere a conducătorului auto. În plus, problemele cotidiene, grijile și stresul contribuie la diminuarea atenției de conducere.

## 2.4 CONFORTUL CONDUCĂTORULUI AUTO LA VOLAN

Termenul confort se asociază cu senzații de relaxare, bunăstare, satisfacție, estetică și lux [Bubb, 2003]. Spre deosebire de confort, disconfortul este asociat cu factori biomecanici care cauzează stări de durere, amorteală și rigiditate. Cea mai utilizată metodă pentru estimarea confortului este evaluarea subiectivă deoarece reflectă direct starea individului [Vink, 2007].

Factorii care influențează confortul/disconfortul în *poziția șezut* pot fi analizați din trei puncte de vedere: conducător auto, scaun auto și mediul de conducere (fig. 2.3). Stabilirea confortului conducătorului auto la volan depinde de caracteristicile fizice ale *mediului de conducere* și ale *scaunului auto*, de aspecte subiective referitoare la estetică și design, de *starea afectivă și așteptările personale* precum și de *factori psiho-sociali*.

Caracteristicile *obiective* cuantificabile ale conducătorului auto, scaunului auto și ale mediului de conducere sunt utilizate pentru evaluarea disconfortului. Influența factorilor externi asupra conducătorului auto depinde de *capacitatea internă* a acestuia, care poate determina apariția unor *reacții/răspunsuri* mecanice, biochimice sau fiziologice. În plus, corpul uman reacționează mecanic într-o măsură direct proporțională cu capacitatea fizică de care dispune. Disconfortul poate fi evaluat prin monitorizarea stimulilor la nivelul pielii, mușchi, tendoane, articulații, organe interne ș.a.

*Procesul de conducere* presupune, consecință a posturii statice în poziția șezut, de obicei la constrângeri legate de accesibilitatea la comenzile autovehiculului, a solicitărilor mecanice exterioare variabile (forțe inerțiale, vibrații) precum și a eforturilor de acțiune a comenzilor (de virare, frânare, de schimbare a vitezelor etc.), solicitări complexe ale coloanei vertebrale care pot duce la apariția unor leziuni musculo-scheletice. Literatura de specialitate include o documentație exhaustivă privind factorii anatomici și fiziologici care descriu corpul uman în poziția șezut pe scaun, sintetizând analize biomecanice de posturi, evidențiind solicitările scheletului și mușchilor posturali [Troup, 1978]. De altfel, în urma unor studii experimentale folosind electromiografia

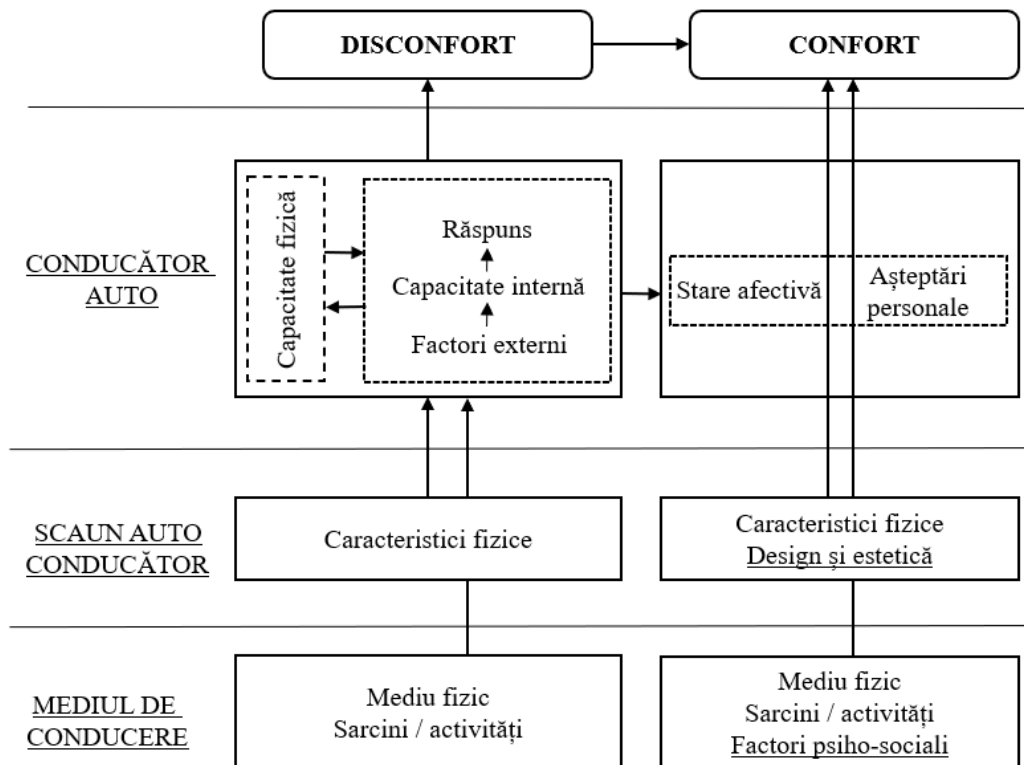


Fig. 2.3 Factori care influențează confortul/disconfortul conducătorului auto la volan [De Looze, 2003]



[Andersson, 1987] s-a evidențiat că *efortul muscular* necesar pentru a sta în poziția șezut este mai mare decât cel pentru a sta în picioare. Într-un alt studiu [Andersson, 1975] folosind un traductor montat într-un ac hipodermic pentru a măsura presiunea intervertebrală în poziția șezut și în picioare, s-a demonstrat că cea din urmă este cu 40% mai mică.

Prin trecerea în poziția șezut a conducătorului auto printr-o rotație a pelvisului (fig. 2.4) se produce o aplatizare a coloanei lombare, crește presiunea exercitată asupra părții posterioare a discurilor intervertebrale și pot apărea afecțiuni ale coloanei vertebrale. Pentru păstrarea îndelungată a posturilor șezut în vederea menținerii aplatizării curbării lombare sunt necesare contracții frecvente ale mușchilor din spate, care conduc la stări de oboseală și disconfort.

În plus, construcția necorespunzătoare și posibilitățile reduse de reglare a scaunului conducătorului auto pot favoriza apariția de afecțiuni posturale ale coloanei vertebrale, precum: *aplatizarea coloanei lombare / flat back* (lipsa lordozei), încordarea ligamentelor spinale și a mușchilor fesieri, accentuarea curbării din zona coloanei superioare (creșterea cifozei). Pe de altă parte, schimbarea periodică a posturii conducătorului auto pe parcursul zilei determină modificări ale presiunii discului intervertebral, care sunt benefice pentru sănătatea coloanei vertebrale. Solicitățile pe termen lung a coloanei vertebrale conduc la stări de oboseală și, deci, se impun pauze în procesul de conducere, necesare ca discurile intervertebrale să revină la starea normală. Păstrarea unei posturi adecvate la volan determină o presiune de 0.5 bari asupra discurilor intervertebrale, spre deosebire de 1.5 bari și 0.95 bari, când nu se asigură o distribuție uniformă a presiunii [Zenk, 2012]. Recuperarea de până la aproximativ 50% poate fi obținută după numai 2 minute de stat în picioare, iar pentru recuperarea completă sunt necesare până la 40 de minute [McGill, 1992].

Analiza confortului conducătorului auto la volan este un proces complex ce implică atât aspecte legate de postura corporală cât și de ergonomia postului de conducere (v. subcap. 2.6). În lucrarea [Verver, 2005] se prezintă o metodologie care utilizează tehnici multi-corp cu scopul îmbunătățirii designului scaunului și al confortului conducătorului auto.

Conform studiului din lucrarea [Atombo, 2017], confortul conducătorului auto în timpul procesului de conducere ocupă poziția a treia într-un clasament de criterii care influențează siguranța rutieră și sănătatea acestuia. Pe primul loc se află starea tehnică a vehiculului, evidențiată prin reviziile tehnice periodice, iar pe al doilea condițiile asigurate în habitacul (de ex., amortizarea vibrațiilor, izolarea fonică, scaun reglabil, ventilație etc.).

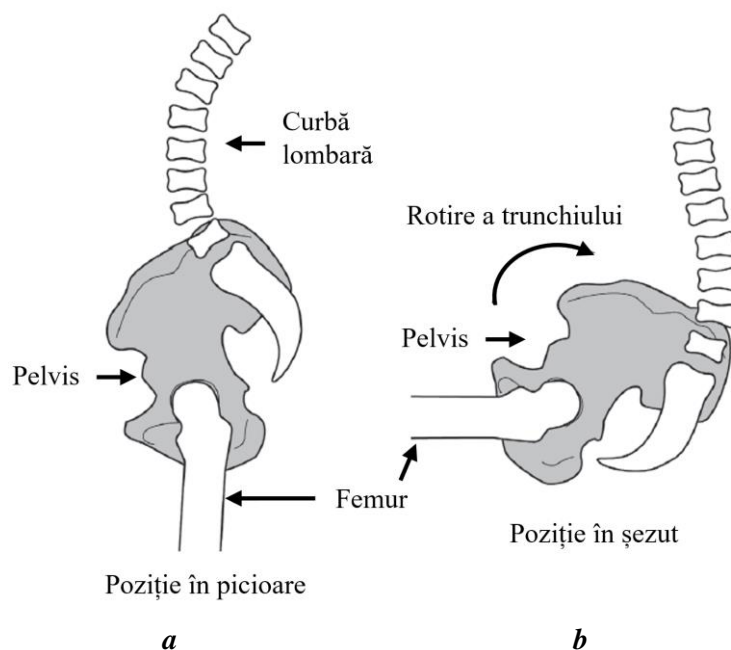


Fig. 2.4 Posturi ale coloanei vertebrale: **a** – în picioare; **b** – șezut pe scaun [Gyi, 2013]

Deseori, absența disconfortului nu înseamnă neapărat prezența confortului [Zhang, 1996]. În lucrarea [Kyung 2008] se prezintă o metodă de evaluare a legăturii dintre confortul și disconfortul la volan prin intermediul valorilor presiunilor (măsurate cu senzori dedicați) care acționează în zonele de rezemare a corpului pe scaun (fig. 2.5). Prin analiza a 36 de parametri care influențează presiunea exercitată asupra corpului în poziția șezut, autorii au evidențiat două abordări care ar putea conduce la creșterea confortului: un nivel de presiune scăzut la nivelul feselor corelat cu un nivel mai ridicat la partea inferioară a spatelui; niveluri de presiune echilibrate între fesele bilaterale, precum și între partea inferioară și superioară a membrilor inferioare.

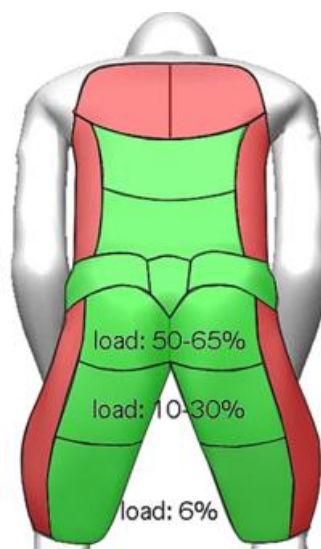


Fig. 2.5 Distribuția ideală a presiunilor de contact în poziția șezut [Hartung, 2006]

Metodele obiective de evaluare a disconfortului urmăresc monitorizarea posturii corporale, numărul de mișcări ale corpului, estimarea activității musculare (inclusiv, oboseala), măsurători ale presiunilor de contact la nivelul scaunului, estimări ale forțelor exercitate asupra coloanei vertebrale și măsurători ale contracției vertebrelor coloanei [De Looze, 2003]. Răspunsurile biomecanice și fiziologice referitoare la disconfort au fost în mare parte ignorate, deși împreună cu antropometria ar putea oferi o viziune mai clară asupra motivului pentru care o persoană evaluează un scaun ca fiind incomod [Le, 2014].

## 2.5 BOLI PROFESIONALE ALE CONDUCĂTORULUI AUTO

Boala profesională este cauzată și agravată de expunerea la locul de muncă la condiții de risc fizice, biologice, organizatorice sau la combinații ale acestora [www6]. Din punct de vedere legal, prevenirea bolilor profesionale îi revine angajatorului care trebuie, pe de-o parte, asigure condiții de muncă corespunzătoare și, pe de altă parte, să instruiască angajatul în domeniul securității și sănătății la locul de muncă.

Problemele de sănătate frecvent întâlnite la conducătorii auto pot fi următoarele (fig. 2.6): hipertensiune, obezitate, diabet, afecțiuni musculo-scheletice, afecțiuni la nivelul stomacului și intestinelor. Pe de altă parte pot apărea și *probleme psihologice*: tensiune și epuizare mintală; tulburări de somn; amețeli, senzații puternice de oboseală etc. [Kompier, 1996; Reese, 2008]. Afecțiunile musculo-scheletice reprezintă o problemă majoră de sănătate a conducătorilor auto și

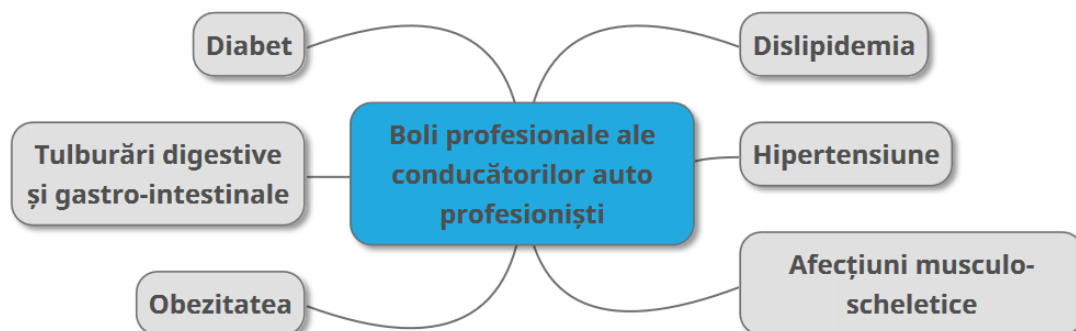


Fig. 2.6 Boli profesionale ale conducătorilor auto profesioniști [Useche, 2018]

sunt cauzate de posturi necorespunzătoare la volan. Acestea se pot manifesta prin dureri în zonele lombară, cervicală, precum și la nivelul genunchilor. Pentru a identifica factorii asociați cu dureri musculo-scheletice și disconfort în lucrarea [Senthanar, 2018] s-a realizat un studiu la care au participat 107 conducători auto. S-a dezvoltat un chestionar cu șase componente, organizate pe trei categorii: factori fizici, organizaționali și individuali. Printre *factorii fizici* s-a considerat natura locului de muncă, sarcinile de lucru și nivelul riscului de accident. *Factorii organizaționali* se referă la percepția lucrătorilor asupra mediului de muncă (mai poartă denumirea de climat de siguranță). Pentru evaluarea *factorilor individuali*, chestionarul conținea întrebări legate de stilul de viață, viciile (consum de alcool sau tutun) și informații demografice. Pentru a *evalua durerile musculo-scheletice și disconfortul* s-a utilizat chestionarul nordic standardizat (Standardized Nordic Questionnaire [Kuorinka, 1987]). Cultura organizațională și climatul de siguranță, epuizarea, oboseala și sarcini care implică un risc ridicat de accidente s-au dovedit a fi asociate cu dureri musculo-scheletice și disconfort [Senthanar, 2018].

Principalii factori care influențează capacitatea de muncă a conducătorului auto sunt legați de mediul de lucru, sarcina de lucru și starea de sănătate (fig. 2.7). Starea de sănătate depinde atât de aspecte ce descriu mediul de lucru, dar mai ales de răspunsul fiziologic și psihologic determinat de efectuarea sarcinii de conducere. În cazul bolilor cardiace și hipertensiunii, efortul depus de conducătorul auto, indus de mediul de conducere, poate conduce la creșterea pulsului și a tensiunii arteriale. Conducerea cu viteze mărite induce sarcini mai mari asupra inimii și poate avea un efect semnificativ asupra sistemului circulator.

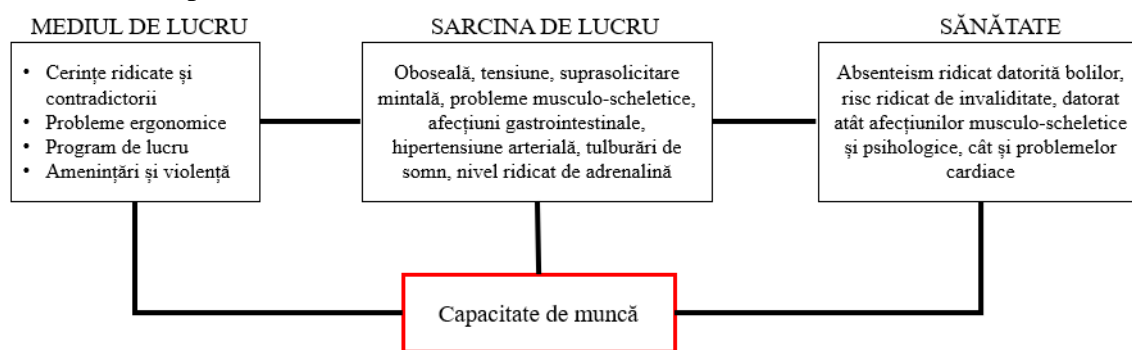


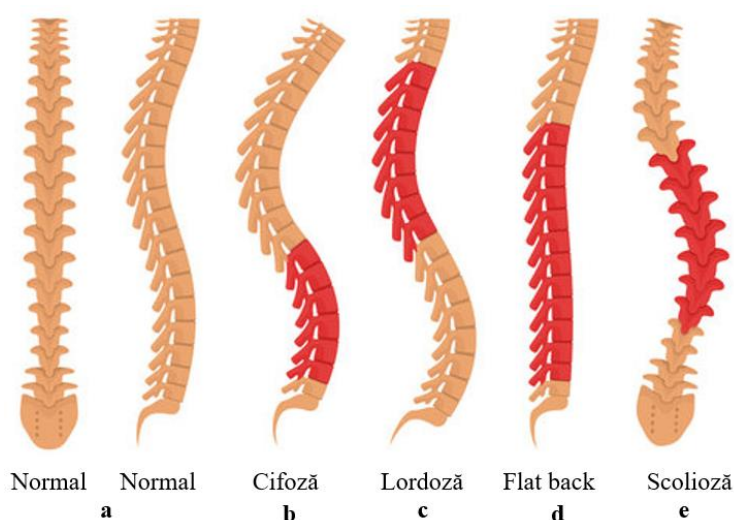
Fig. 2.7 Factorii principali care influențează capacitatea de muncă a conducătorului auto. [Kompier, 1996]

Uneori, efortul suplimentar poate duce la aritmie (puls neregulat) și poate provoca insuficiență cardiacă, hemoragie cerebrală sau sincopă (pierdere a cunoștinței) [Kobayashi, 1988]. În consecință, persoanele care suferă de astfel de afecțiuni trebuie să fie examinate de un medic specialist pentru a determina dacă pot efectua sarcina de conducere în condiții de siguranță.

Sarcina de conducere presupune păstrarea unei posturi în șezut cu mișcări limitate ale trunchiului și capului. Principalele afecțiuni, cauzate de posturi incorecte, care pot apărea sau care pot fi agravate în timpul procesului de conducere sunt spondiloza, hernia de disc, cifoza, lordoza și scolioza (fig. 2.11) [Pope, 2002; John, 2006; Jensen, 2008].

*Spondiloza* sau osteoartrita spinală reprezintă degenerarea coloanei vertebrale cauzată de presiunea plasată pe vertebre și pe discurile dintre acestea. Aceasta apare în mod natural din cauza îmbătrânirii organismului (a uzurii fizice), dar a devenit o boală frecvent întâlnită la persoanele *sedentare* sau care desfășoară activități într-o postură anormală, fără mobilizarea corpului la intervale regulate de timp. Deteriorarea discului intervertebral, care are drept rezultat ieșirea conținutului gelatinos al acestuia (nucleul pulpos), poartă denumirea de *hernie de disc* și afectează, în general, porțiunea lombară sau cervicală.

*Lordoza* este un termen folosit pentru a descrie curbele normale ale coloanei vertebrale în zonele lombare și cervicale (fig. 2.8,c). În general, regiunea cervicală are o zonă curbă de 20-35 de grade, iar cea lombară variază între 40-60 de grade. *Hiperlordoza* apare dacă valorile curburii



**Fig. 2.8** Afecțiuni scheletice ale coloanei vertebrale: **a** – starea normală, **b** – cifoză, **c** -lordoză, **d** – flat back, **e** - scolioză

depășesc limitele superioare ale intervalelor normale, în timp ce afecțiunea cunoscută sub denumirea aplatizarea coloanei vertebrale (*flat back*) (fig. 2.8,d) apare atunci când zonele curbe prezintă valori mai mici de 20 de grade, respectiv 40 de grade [Simancek, 2012].

*Scolioza* reprezintă o deviație a axei coloanei vertebrale care constă într-o zonă curbă laterală ce depășește 10 grade Cobb (fig. 2.8, e). Această afecțiune este frecvent întâlnită la copii și adolescenți și poate fi tratată prin kinetoterapie, utilizarea unui corset sau prin intervenție chirurgicală.

*Cifoza* reprezintă o deformare a coloanei vertebrale pe planul sagital (fig. 2.8, b) printr-o curbare antero-posterioară. Regiunea toracică prezintă o zonă curbă cifotică normală cuprinsă între 20 și 40 de grade. Osteoporoza este cea mai frecventă cauză pentru apariția cifozei, urmată de discuri intervertebrale degenerate, probleme care pot fi agravate și de posturile cvasistatice adoptate la volan.

## 2.6 ERGONOMIA POSTULUI DE CONDUCERE

Ergonomia reprezintă un ansamblu de elemente/cunoștințe antropometrice, biomecanice, psihologice și fiziologice care determină caracteristicile mediilor de lucru care influențează capacitatea de muncă [Herriotts, 2012]. Aplicarea cu succes a ergonomiei postului de conducere auto necesită înțelegerea capacității umane, a designului autovehiculului, a bolilor profesionale (inclusiv a afecțiunilor musculo-scheletice) și a factorilor de risc profesional.

## 2.7 SISTEME DE URMĂRIRE A POSTURII CORPULUI CONDUCĂTORULUI AUTO

### 2.7.1 ASPECTE GENERALE

Biomecanica este o știință care stă la baza înțelegerii pozițiilor, vitezelor și forțelor asupra corpului uman [Roetenberg, 2006]. Printre principalii pionieri ai biomecanicii se numără Galileo Galilei (1564-1643), Giovanni Borelli (1608-1679), Isaac Newton (1642-1727), Daniel Bernoulli (1700-1782), Leonhard Euler (1707-1783).

Sistemele de urmărire a mișcării și posturii corpului uman sunt utilizate în diverse domenii, precum medicină, sport, industria cinematografică ș.a. În medicină sunt cercetate aspecte

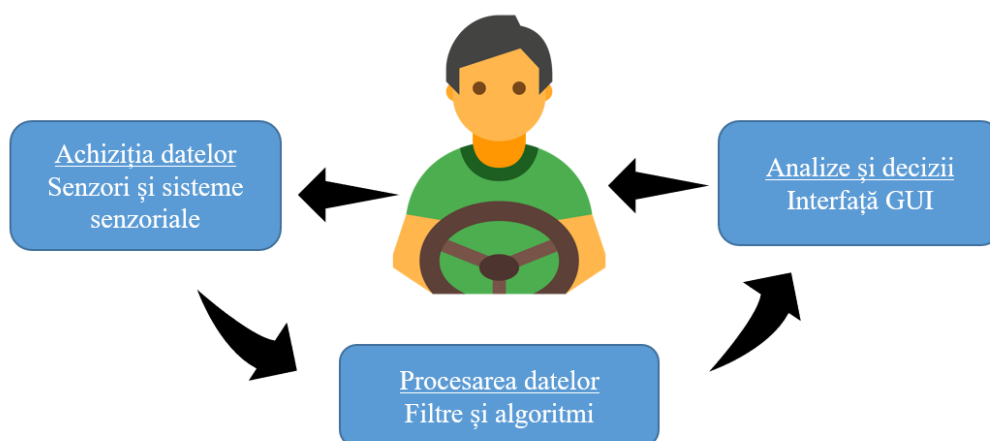
referitoare la mecanismele de funcționare ale contracțiilor musculare, mobilitatea articulațiilor precum și diverse anomalii ale posturii și/sau locomoției pentru a planifica tratamente corespunzătoare. *Sistemele de Sănătate Personală* (SSP sau PHS – Personal Health Systems), reprezintă un ansamblu de proceduri și servicii bazate pe Tehnologia Informației și Comunicațiilor (TIC sau ICT- Information and Communications Technology), în ultimul timp, sub forma unor sisteme portabile, permițându-i utilizatorului să se mențină în activitatea socială [Kolitsi, 2007]. Un SSP mai poate fi considerat și un partener digital inteligent ce poate avea următoarele componente: senzori biomedicali, module de comunicații, interfețe prietenoase, capacități de procesare de date sau semnale. Aceste sisteme au rolul de a oferi informații obiective care pot fi utilizate pentru promovarea unui stil de viață/muncă sănătos, ajutând la detecția și/sau prevenirea îmbolnăvirilor. Sistemele senzoriale ce, deseori, pot fi integrate în îmbrăcămintea utilizatorului sau atașate direct pe corp reprezintă o tendință în curs de dezvoltare

Unul dintre obstacolele majore care a împiedicat adoptarea pe scară largă a tehnologiei de detecție și urmărire a diferiților parametri ce caracterizează corpul uman a fost legat de dimensiunile senzorilor și a dispozitivelor electronice (procesor, unități de stocare, transmitere a datelor etc.) [Brigante, 2011]. În ultimul timp reducerea dimensiunilor senzorilor și a circuitelor electronice bazat pe tehnologiile MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) a avut un rol cheie în dezvoltarea de sisteme senzoriale purtabile [Patel, 2012].

## 2.7.2 ARHITECTURA GENERALĂ

În fig. 2.9 se prezintă structura generală a sistemelor de urmărire a unor părți ale corpului conducătorului auto în care se evidențiază trei componente principale: achiziția datelor de la senzori, procesarea datelor și analize decizionale care se pot transmite acestuia prin interfețe grafice cu utilizatorul. La nivel superior, în practica sistemelor de asistență a conducătorului auto, în ultimul timp, s-au dezvoltat și sisteme de monitorizare a acestuia care conțin și subsisteme de urmărire, de obicei parțial, a posturii conducătorului auto (fig. 2.10).

Sistemele de urmărire și monitorizare a posturilor și mișcărilor unor părți ale corpului conducătorului auto au evoluat strâns legat de progresele tehnologice hardware care, în ultimul timp, include module de achiziție a datelor, dispozitive de multiplexare a liniilor de date, unități de achiziție și control, module de comunicații fără fir, frecvent, conectate la unități de calcul ale dispozitivelor mobile (telefoane mobile inteligente, tablete).



**Fig. 2.9** Arhitectura generală a sistemelor de urmărire a conducătorului auto



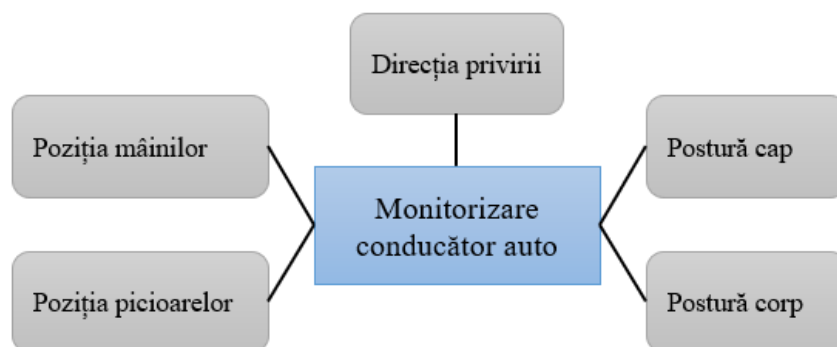


Fig. 2.10 Structura generală a sistemelor de monitorizare a conducătorului auto

### 2.7.3 SUBSISTEME SENZORIALE DE URMĂRIRE

La momentul actual, sistemele de achiziție de date (SAD) pot fi împărțite în două categorii: SAD pentru utilizări generale (în cercetare, educație, ș.a.) și SAD care sunt utilizate în domeniul industrial [Zaharia, 2005]. Componenta centrală a acestor sisteme este convertorul analog numeric care are ca date de intrare o mărime analogică (tensiune, curent) și furnizează date de ieșire (informații) care sunt o reprezentare numerică a valorii analogice de la intrare. Senzorii ca dispozitive care produc un răspuns măsurabil la apariția unei modificări fizice sau chimice sub formă de stimul, de lumina, căldura, presiunea etc. [Kabara, 2005; www7]. Mai exact, un senzor este "un dispozitiv care răspunde la un stimul, precum lumina, căldura sau presiunea, și generează un semnal care poate fi măsurat sau interpretat" [Sensor, 2016]. Majoritatea dispozitivelor senzitive sunt încadrate în categoria de *traductor*, care reprezintă un instrument care face conversia unor anumite efecte fizice în semnale electrice, care, mai departe, pot fi procesate sau interpretate.

#### 2.7.3.1 Subsisteme senzoriale optoelectronice video

Subsistemele optoelectronice bazate pe camere video care sesizează repere reflectorizante dispuse în structuri flexibile, adesea, sunt considerate de referință, permițând urmărirea unor regiuni ale corpului (fig. 2.11). Zonele de urmărire cu sisteme optoelectronice sunt limitate de posibilitățile de poziționare a camerelor video și a reperelor reflectorizante pentru a se asigura linii de vedere din toate unghiurile [Cuesta-Vargas, 2010]. Identificarea poziției pe trei axe a mâinilor și capului conducătorului auto prin intermediul unei metode video multimodale cu camere de termoviziune în infraroșu și color a fost studiată în lucrarea [Cheng, 2005]. Sistemul are o marjă de eroare de 30 mm și este menit să fie folosit în sisteme de tip ADAS. O altă abordare ce combină radiografia și stereofotografia este prezentată în lucrarea [Ranavolo, 2013]. Scopul studiului a fost obținerea unui model geometric al coloanei vertebrale, precum și definirea numărului minim de repere necesare pentru urmărirea optoelectronică. Autorii au ajuns la concluzia că modelul geometric poate fi aproximat prin intermediul unei interpolări polinomiale de ordinul cinci, fiind necesare 9

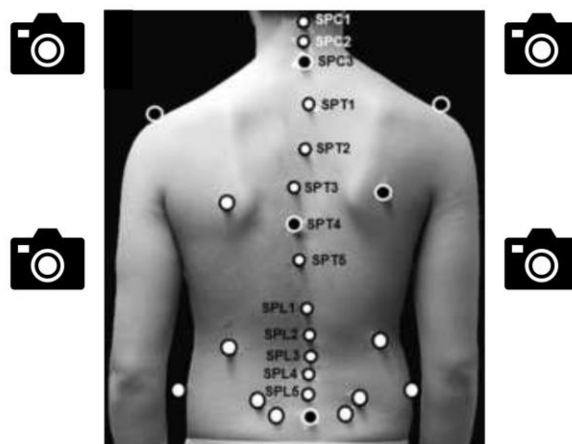


Fig. 2.11 Sistem optoelectronic video de urmărire a posturii trupului

sau 10 repere pentru a obține o reprezentare cât mai bună. Într-un alt studiu [Schmid, 2016], s-au folosit 12 repere pentru urmărirea posturii coloanei vertebrale.

### 2.7.3.2 Sisteme senzoriale electromagnetice

Subsistemele electromagnetice utilizează un câmp electromagnetic generat la un moment dat în spațiul adiacent zonei urmărite și care este detectat de un senzor aflat la o distanță cunoscută. Aceste subsisteme au la bază trei componente esențiale: sursă 3D, care generează un câmp magnetic; senzor 3D compatibil, poziționat pe un segment al trunchiului, și capabil de a detecta câmpul generat de sursă; procesor pentru a analiza semnalele de la sursă și senzor pentru a determina poziția și orientarea segmentului corpului având ca referință poziția emițătorului/sursei [Roetenberg, 2006; Lee, 2002a]. Subsistemele electromagnetice au dezvoltări limitate consecință a efectelor negative a prezenței metalelor în mediul atins de câmpul electromagnetic, a căror corecții fiind complicate și costisitoare, au condus la precizii reduse [Roetenberg, 2005].

Fastrak este un dispozitiv electromagnetic de monitorizare a mișcării trunchiului cu patru senzori miniaturali de mișcare aplicați direct pe piele [Yang, 2005; Yang, 2008]. Sistemul poate măsura unghiurile și distanțele dintre senzori O abordare complementară a implicat utilizarea unui model dinamic de rețea bayesiană [Ma, 2008] care folosea imagini radiografice ca date de intrare de la cei patru senzori electromagnetici folosiți ca repere pentru sistemul de urmărire. În final, mișcările coloanei lombare au fost estimate de către rețeaua bayesiană cu o eroare medie de 1.5 grade.

### 2.7.3.3 Sisteme cu senzori inerțiali

Senzorii inerțiali au fost folosiți pentru studierea mobilității coloanei vertebrale datorită principalelor avantaje ale acestora: dimensiuni și costuri reduse, posibilitatea monitorizării în medii diverse și nivele ridicate de precizie asigurate de ultimele generații de senzori și a algoritmilor de fuziune a datelor. Evaluarea formei coloanei vertebrale prin intermediul datelor de la senzori inerțiali a fost studiată și în lucrarea [Theobald, 2011]. Un algoritm ce are la bază o colecție vastă de date poate oferi detalii despre rotație, flexie-extensie sau mișcare laterală, ce pot fi utilizate de către medici pentru a diagnostica sau, chiar, pentru a aprecia evoluția unei afecțiuni musculo-scheletice [Goodvin, 2006; Lee, 2011a; Voinea, 2015a; Voinea, 2015b; Voinea, 2016].

În lucrarea [Buonocunto, 2014] este prezentat un sistem de urmărire a posturii și orientării corpului uman care utilizează senzori inerțiali și o tehnologie adaptată pentru aplicații cu consum redus de energie, dar și de costuri reduse. Datele brute, filtrate și procesate, sunt modelate folosind cuaternioni (numere complexe utilizate cu precădere pentru calcule ce implică rotații tridimensionale). Spre deosebire de matricea de rotație cu unghiuri Euler, cuaternionii măresc *eficiența computațională* și evită problemele de singularitate. În lucrarea [van Acht, 2007], a fost propus și studiat un sistem ce utilizează senzori inerțiali fără fir care măsoară accelerația pe trei axe, intensitatea câmpului magnetic pe trei axe (magnetometru) și viteza unghiulară pe trei axe (giroscop). Precizia sistemului în situații cvasi-stactice este de aproximativ 3 grade, aceasta scăzând până la 7 grade în cazurile unor mișcări rapide.

Monitorizarea în timp real a posturii coloanei lombare prin intermediul unui sistem giroscopic a fost studiat și în lucrarea [Lee, 2003]. Unitatea senzorială a fost compusă dintr-un gravimetru (pentru măsurarea accelerației gravitaționale) și un magnetometru pentru reducerea deviației giroscopului. Pe parcursul cercetărilor s-au identificat probleme legate de dimensiunile relativ mari ale senzorilor care împiedică atașarea acestora cât mai aproape de piele și care pot genera disconfort la utilizarea îndelungată.

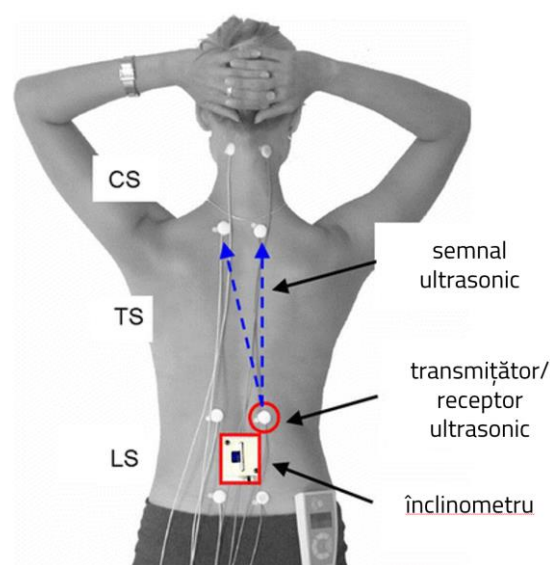
Un subsistem senzorial care include două module de detecție a mișcării (giroscop și accelerometru) a fost utilizat pentru urmărirea posturii picioarelor conducătorului auto prin atașarea acestora pe gambele și coapsele [Williamson, 2001]. În urma testelor, soluția a fost

considerată fezabilă pentru descrierea mișcărilor picioarelor prin identificarea valorilor absolute ale unghiurilor și vitezelor unghiulare asociate articulațiilor genunchilor. O altă abordare bazată pe senzori inerțiale fixați pe corp a presupus utilizarea a patru accelerometre seismice cu o singură axă și un giroscop pentru a obține cinematica mersului în planul sagital [Mayagoitia, 2002]. De asemenea, soluțiile bazate pe combinarea accelerometrelor cu giroscopae au fost studiate și de mulți cercetători pentru identificarea geometriei și cinematicii ale unor părți ale corpului uman [Baten, 2002; Luinge, 2005; Veltink, 2003; Boonstra, 2006]. Majoritatea sistemelor au condus la precizii ridicate de peste 95% pentru detectarea mișcării în planul sagital, neluând în considerare mobilitățile în raport cu celelalte două axe de rotație [Plamondon, 2007].

#### 2.7.3.4 Alte subsisteme senzoriale de urmărire

În lucrarea [Toth-Tașcău, 2011] se prezintă un sistem de urmărire a zonei lombare a coloanei vertebrale bazat pe un senzor de mișcare ultrasonic. Pentru determinarea coordonatelor 3D ale reperelor de înregistrare ultrasonice s-a utilizat metoda triangulării. Mișcările zonei lombare au fost obținute prin intermediul pulsurilor ultrasonice emise de două perechi de receptori încapsulați, atașați de trunchi prin curelele Velcro. În lucrarea [Wunderlich, 2011] a fost utilizat sistemul 3D-SMG (3D-SpineMoveGuard) pentru urmărirea rotirilor coloanei vertebrale după 3 axe (fig. 2.12). Fiecare emițător trimite semnale (codate) pe verticală și pe diagonală pentru a detecta distanțele emițător-receptor pentru zonele cervicală, toracică și lombară. Modificările în planele sagital și frontal sunt captate de canalul vertical. Diferențele în plan orizontal sunt înregistrate de canalul diagonal. *Înclinometrul* capacitiv unidirecțional plasat la nivelul zonei lombare a fost utilizat pentru urmărirea mișcărilor sagitale ale trunchiului. Sistemul dezvoltat a fost testat în cadrul unui experiment cu 20 de participanți. În urma analizării datelor, autorii au concluzionat că sistemul 3D-SMG are rezultate bune și că ar putea fi folosit pentru prevenție, terapii de recuperare și pentru evaluări ergonomice.

Progresele tehnologice recente au permis dezvoltarea de soluții medicale de monitorizare la distanță, pentru colectarea de date referitoare la mișcările corpului pe perioade îndelungate. Sistemul CUELA (CompUter - assisted rEcording and Long-term Analysis of musculoskeletal load) dezvoltat de Institutul pentru Sănătatea și Securitatea Ocupațională a Asigurărilor Sociale de Accident din Germania permite înregistrarea asistată de calculator și analiza pe termen lung a solicitărilor musculo-scheletice ale mai multor părți ale corpului (membre superioare și inferioare, trunchi și cap) [Ellegast, 2009]. CUELA, ca un ansamblu hard-soft ce include accelerometre, giroscopae și potențiometre integrate în hainele utilizatorului, este capabil să înregistreze postura corpului uman și forțele la care este supus acesta (fig. 2.13) [Ellegast, 2009]. Spinal Mouse este un dispozitiv electromecanic portabil asistat de un calculator capabil de a măsura mobilitatea spinală [Mannion, 2004]. Acesta dispune de două roți care urmăresc conturul coloanei vertebrale, iar distanța și unghiurile măsurate sunt transmise la o stație de recepție situată la aproximativ 1-2 metri distanță. Această soluție nu expune corpul uman la pericole și poate fi cu succes folosită pentru evaluarea statică a posturii coloanei vertebrale



**Fig. 2.12** Poziționarea emițătoarelor și receptoarelor ultrasonice, precum și a înclinometrului [Wunderlich, 2011]



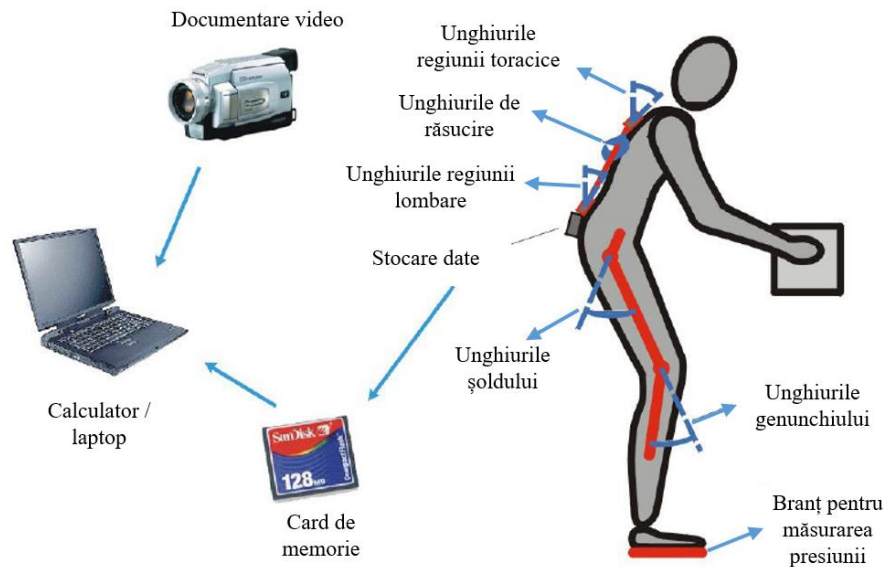


Fig. 2.13. Configurația sistemului CUELA [Ellegast, 2009]

#### 2.7.4 MODELE ȘI ALGORITMI DE PRELUCRARE A DATELOR

În fig. 2.14 se prezintă un model bazat pe metoda MBS (Multi Body System), care ia în considerare parametrii antropometrici și ai posturilor conducătorului auto urmărind determinarea forțelor care încarcă coloana vertebrală. Pornind de la 5 posturi tipice diferite și de la 10 staturi reprezentative au fost concepute 50 de modele care sintetizează majoritatea cazurilor practice posibile [Hinz, 2008]. Pentru determinarea comportamentului biodinamic s-au aplicat încărcări externe (care apar în procesul de conducere) pe trei direcții la nivelul părților extreme ale corpului (picioare, mâini, cap). În urma simulărilor efectuate s-au obținut date referitoare la forțele la care este supus corpul conducătorului auto, care ar putea fi folosite pentru îmbunătățirea ergonomiei scaunului și măsurilor de prevenire a posturilor incorecte,

Un model bazat pe MEF (Metoda Elementelor Finite), compus din 80000 de elemente care descriu oasele, ligamentele, tendoanele, mușchii și pielea, a fost propus în lucrarea [Iwamoto, 2002]. Acesta a fost utilizat în simulări care au reprodus cu succes mișcările și multiplele leziuni pe care le suferă ocupantul unui autovehicul în cazul unui accident. Pe de altă parte, mișcările corpului uman, în două sau trei dimensiuni, pot fi estimate și prin analiza fluxului de date de la o cameră video prin aplicarea unui *model statistic neliniar* [Bowden, 2000]. Obținerea unei posturi tridimensionale a corpului uman este posibilă și prin analiza de cadre video stereoscopice și utilizarea de algoritmi de învățare supervizată [Yang, 2007].

Modelarea dinamică tridimensională a trunchiului corpului uman prin intermediul unui *model bazat pe dinamica inversă* a fost studiată în lucrarea [Vette, 2011]. Scopul studiului a fost să cuantifice efectul forțelor de impact asupra capului și trunchiului, precum și să permită dezvoltarea de simulări ale dinamicii trunchiului.

Sistemele care folosesc accelerometre, giroscopae și magnetometre pentru urmărirea posturii corpului necesită utilizarea unor algoritmi speciali pentru asigurarea fuziunii datelor pentru a obține o precizie ridicată. Filtre complementare bazate pe *cuaternioni* pentru reprezentarea mișcării au condus la rezultate promițătoare [Bachmann, 2003]. Folosirea cuaternionilor deși elimină problema driftului, fenomen care determină mărirea diferenței dintre poziția/orientarea estimată față de cea reală, necesită un efort computațional ridicat și performanța este influențată negativ în situații de accelerații ridicate sau în prezența unui câmp magnetic extern [McGhee, 2001; Gebre-Egziabher, 2000]. Structura generală a unui filtru complementar este prezentată în fig. 2.15.

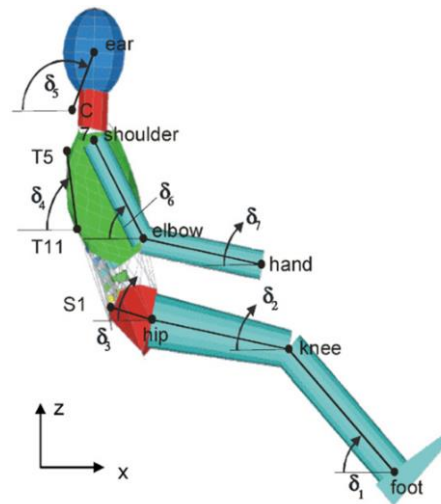


Fig. 2.14 Unghiurile utilizate pentru descrierea posturii corpului [Hinz, 2008]

Semnificațiile parametrilor din fig. 2.15 sunt:  $(g_0, e_0)$  reprezintă un vector  $6 \times 1$  ce conține datele de la accelerometru și magnetometru;  $(g_{er}, e_{er})$  diferențele dintre datele de la accelerometru și magnetometru și estimarea filtrului;  $(\Delta g_1, \Delta e_1)$  - diferența la fiecare execuție;  $(k_1, k_2)$  - factori care determină frecvențele de încrucișare ale filtrului complementar, adică frecvențele la care semnalele de la ambele intrări primesc aceeași pondere;  $(g_{es}, e_{es})$  - datele de ieșire ale filtrului.

De asemenea, filtrele Kalman complementare [Roetenberg, 2003] sau filtrele Kalman extinse [Marins, 2001] pot fi utilizate cu succes în urmărirea posturii trunchiului. Tehnicile bazate pe filtrarea Kalman folosesc o matrice de inversie de o complexitate ridicată pentru fiecare estimare de postură.

În lucrarea [Utriainen, 2003] sunt prezentate o serie de posturi sagitale pe care le poate avea conducătorul auto stând pe scaun (fig. 2.16). Sistemele de monitorizare a conducătorului auto presupun pe de-o parte identificarea și recunoașterea în timp real a posturilor conducătorului auto în procesul de conducere și pe de altă parte, analiza acestora urmată de decizii care pot conduce la creșterea siguranței și a confortului. Mai mult, modelele digitale ale corpului uman sunt utilizate pe scară largă în diferite evaluări privind ergonomia postului de conducere. O recenzie a celor mai utilizate tehnici de simulare a mișcărilor corpului uman în interiorul unui autovehicul (inclusiv, soluția software propusă de către consorțiul format de Renault, Inrets și Altran), este prezentată în lucrarea [Monnier, 2009].

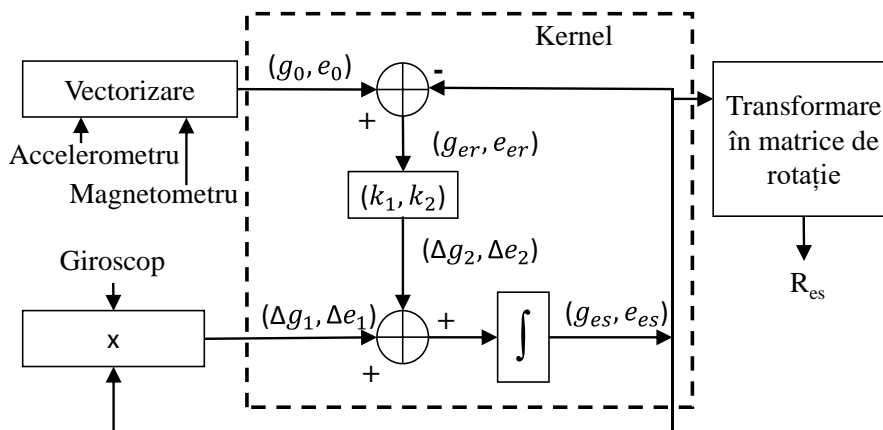
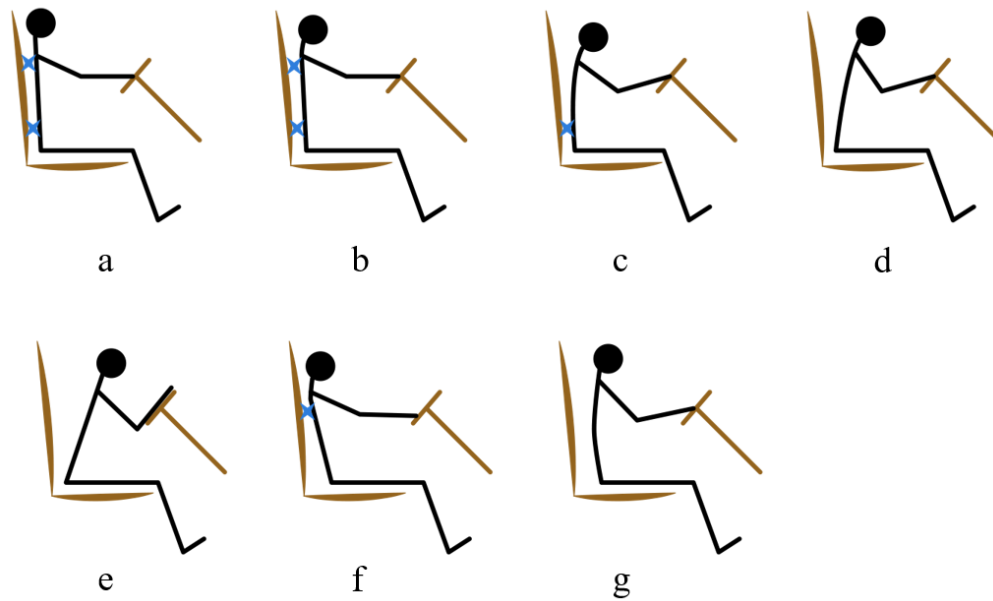


Fig. 2.15 Estimare parametrii de descriere a posturii corpului utilizând date de la accelerometru, magnetometru și giroscop [Gallagher, 2004]



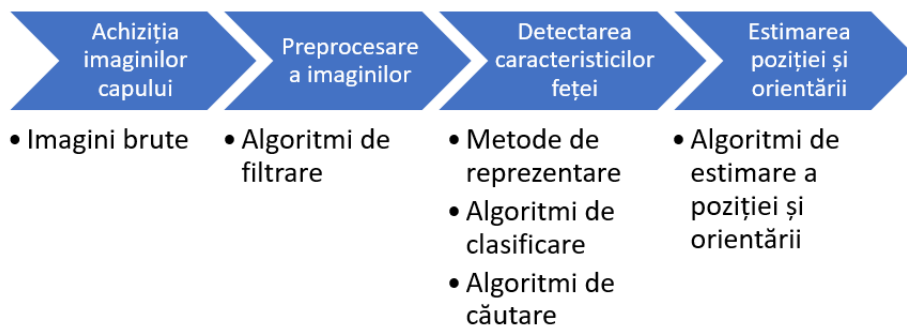
**Fig. 2.16** Posturi sagitale posibile ale conducătorului auto: **a** – contact integral; **b** - contact integral cu excepția capului; **c** - contact integral cu excepția capului și umerilor; **d** - fără contacte cu spătarul scaunului; **e** – aplecat în față; **f** – gârbovit cu contact în zona umerilor; **g** – gârbovit fără contact

## 2.8 SISTEME DE URMĂRIRE A PRIVIRII ȘI POSTURII CAPULUI CONDUCĂTORULUI AUTO

### 2.8.1 LOCALIZAREA ȘI URMĂRIREA VIDEO A CAPULUI

În timpul procesului de conducere, mișcările capului conducătorului auto sunt relativ limitate, acesta având capul și privirea orientate spre scena de trafic. Urmărirea privirii și a orientării capului oferă și posibilități de evaluare de stări psihice și fizice ale conducătorului auto. Astfel, în literatura de specialitate au fost propuși și testați numeroși algoritmi pentru a estima comportamentul acestuia în baza prelucrării informațiilor, mai ales, legate de frecvența unor mișcări ale capului și/sau privirii precum și a frecvenței clipirilor.

În fig. 2.17 este prezentat un algoritm general pentru recunoașterea, localizarea urmărirea și estimarea posturii capului și orientării ochilor conducătorului auto. Aceste procese au la bază



**Fig. 2.17** Algoritm general pentru localizarea și urmărirea video a capului și privirii conducătorului auto

seturi de puncte în 3D care pot fi folosite și pentru modelarea geometrică și cinematică a feței. Există o varietate de metode care iau în considerare caracteristici ale feței (gură, orificii nas, sprâncene) pentru recunoaștere, localizare și apoi pentru estimarea privirii [Diaz-Chito, 2016]. Frecvent, se consideră tripleta formată din vârful nasului și ochi printr-un triunghi care are unghiurile interioare cvasi constante pentru orice poziție a capului. Acesta poate fi folosit pentru validarea combinațiilor acestor caracteristici prin compararea cu unghiuri predefinite.

Poziția și orientarea capului pot fi obținute și prin utilizarea unei rețele neurale regresive, *POSEidon*, care analizează imagini obținute prin intermediul unei camere video de adâncime (depth camera) [Borghini, 2017]. În cadrul studiului din lucrarea [Martin, 2017], cu camere video, fără utilizarea de repere reflectorizante (markerless), s-a obținut o precizie medie de 5 cm.

## 2.8.2 METODE DE ESTIMARE A POSTURII CAPULUI

Metodele de estimare a posturii capului bazate pe imagini color, inclusiv imagini de adâncime, sunt prezentate în tab. 2.1. Cercetările din domeniul urmării posturii capului, precum și recunoașterea expresiilor faciale, au ajuns la un nivel avansat; în fig 2.18 sunt prezentați cei mai utilizați algoritmi.

Algoritmii bazați pe *caracteristici geometrice*, detectează în imagini forma și locațiile componentelor faciale majore (gura, nasul, ochii, sprâncenele) cu metodele: AAM (Active Appearance Models) [Senechal, 2012; Baker, 2004], PBVD (Piecewise Bezier Volume Deformation) [Sebe, 2007] și localizarea manuală a unui număr de puncte faciale. Metoda AAM are dezavantajul că urmărirea capului este posibilă doar în două dimensiuni, spre deosebire de modelele 3D Morphable (3DMM) [Blanz, 1999]. Urmărirea în 3D a capului conducătorului auto a fost studiată prin utilizarea unui filtru de particule bazat pe AAM și reprezentarea rezultatelor într-un mediu cu realitate augmentată [Murphy-Chutorian, 2010]. Recent, a fost propusă o metodă robustă și eficientă computațional care folosește trei caracteristici ale feței (centrele ochilor și vârful nasului) pentru monitorizarea posturii capului [Diaz-Chito, 2016]. În lucrarea [Valstar, 2012] se prezintă o analiză a tehnicilor de detecție și recunoaștere a expresiilor faciale care scoate în evidență faptul că preciziile cele mai ridicate au fost obținute când se folosește o combinație de caracteristici geometrice și aspectuale.

Pentru extragerea de *caracteristici aspectuale* au fost propuse mai multe metode și algoritmi, dintre care se evidențiază următoarele: PCA (Principal Component Analysis), analiza componentelor principale; ICA (Independent Component Analysis), analiza componentelor individuale [Bartlett, 2002]; LDA (Linear Discriminant Analysis), analiza discriminantă liniară [Zhao, 2012]; GW (Gabor Wavelet analysis), transformata Gabor; LBP (Local Binary Patterns), modele binare locale; LDP (Local Directional Pattern), modelul direcțional local [Lee, 2010]; FDA (Fisher Discriminant Analysis) discriminantul liniar Fisher [Grigorescu, 2002]; LFA (Local

**Tab. 2.1** Metode de estimare a posturii capului conducătorului auto

Nr.	Denumire	Descriere
1	Utilizarea de caracteristici (Feature based)	Urmărirea posturii capului funcționează doar când algoritmul detectează caracteristici faciale, precum nasul, ochii, gura ș.a.
2	Bazată pe detectarea formei/aspectului (Appearance based)	Această metodă folosește unul sau mai mulți clasificatori, antrenati special pentru estimarea posturii capului din imagini video neprocesate
3	Asociere model 3D (3D model registration)	Pe baza datelor de intrare se creează un model asociat capului; în general, este necesară o calibrare inițială

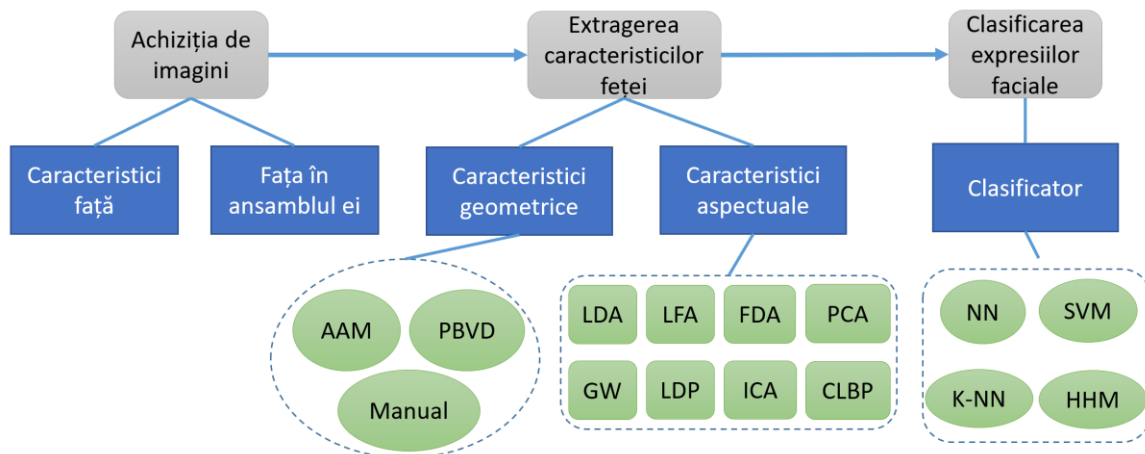


Fig. 2.18 Algoritm general de recunoaștere a expresiilor faciale ([El-Sayed, 2013])

Feature Analysis), analiza caracteristicilor locale; CLBP (Circular Local Binary Pattern), model binar local circular [Oliveira, 2010].

Ultima etapă a algoritmului general de recunoaștere facială este *clasificarea expresiilor faciale*. Clasificatorii sunt folosiți pentru a sintetiza diferite expresii faciale în funcție de caracteristicile extrase. Cele mai utilizate metode de clasificare sunt: NN (Nearest Neighbor), algoritmul celui mai apropiat eșantion; KNN (K-Nearest Neighbor), algoritmul k-nearest neighbor; SVM (Support Vector Machine), mașini cu suport vectorial [Kotsia, 2006] și HMM (Hidden Markov Mode), modelul Markov ascuns.

### 2.8.3 URMĂRIREA PRIVIRII

Din analiza cercetărilor din ultimul timp s-a evidențiat că accidentele au loc, cu precădere, ca o consecință a faptului că conducătorii auto nu își direcționează privirea către locul potrivit, la momentul potrivit [Lee, 2008]. În plus, urmărirea mișcărilor ochilor și a direcției priviri oferă informații pertinente despre modul în care sunt dezvoltate abilitățile de conducere și ce strategii (stil de conducere) adoptă conducătorii auto pentru a asigura conducerea în siguranță [Crundall, 2011].

Urmărirea direcției privirii într-un mediu real de conducere necesită, în general, o etapă preliminară de calibrare. În lucrarea [Fu, 2013] se prezintă o nouă metodă automată de calibrare care folosește o singură cameră video pentru determinarea orientării capului și utilizează ca puncte de calibrare oglinzile laterale, oglinda retrovizoare, consola cu instrumente și multiple zone ale parbrizului; pentru estimarea direcției privirii în condiții de conducere nocturnă sau diurnă s-a obținut eroarea medie de 5 grade

Aspecte legate de schimbarea și ajustarea direcției privirii conducătorului auto, în timp ce este implicat într-o sarcină secundară (cu distragere a atenției), a fost studiat cu ajutorul sistemului Smart Eye Pro [www8]. Deși, cea mai utilizată strategie abordată de conducătorii auto este să acționeze doar după ce își îndreaptă atenția vizuală către zona de interes, în practică, s-a observat și strategia prin care aceștia virează înainte de a se uita [Lehtonen, 2018]. În lucrarea [Zheng, 2015] a fost analizată direcția privirii conducătorului auto în timp ce utilizează un sistem GPS, precum și percepția subiectivă privind nivelele de acceptare și de oboseală.

Urmărirea direcției privirii conducătorului auto folosind un iluminator infraroșu, o cameră video, un model 3D al capului și un algoritm de detecție a fost propusă în lucrarea [Vicente, 2015]. Validarea acestui sistem care poate funcționa pe timp de zi sau de noapte a fost realizată prin teste într-un mediu real, unde s-a evidențiat o acuratețe de detecție EOR (Eyes Off Road) de peste 90%. Un alt avantaj major al sistemului propus este eliminarea procedurii de calibrare manuală. Un sistem similar, dar care folosește un model al feței cu formă elipsoidală și algoritmi de tip SVM

pentru determinarea unghiurilor yaw și pitch este prezentat în [Lee, 2011b], cu care s-au obținut precizii de până la 7 grade în condiții diurne sau nocturne.

Principalele provocări de luat în considerare pentru studiile de detecția feței, urmărirea mișcărilor capului și extragerea regiunilor cheie (ochii) cu acuratețe mărită, prin metode video, sunt următoarele [Meshram, 2015]:

- poziționarea camerei video ca să permită vizualizarea completă a capului indiferent de mișcările acestuia și să nu blocheze câmpul vizual al conducătorului auto;
- diminuarea efectelor imaginilor de fundal care se modifică continuu din cauza mișcărilor autovehiculului;
- eliminarea ocluziilor vizuale generate de diverse obiecte care pot obstrucționa câmpul vizual;
- diminuarea efectelor legate de condiții de iluminare necorespunzătoare;
- creșterea eficienței computaționale prin folosirea de resurse hardware performante și de algoritmi avansați de procesare a imaginilor.

## 2.9 PACHETE SOFTWARE UTILIZATE PENTRU DEZVOLTAREA SISTEMELOR DE MONITORIZARE A POSTURILOR

Pentru dezvoltarea aplicațiilor de monitorizare a posturilor trunchiului și capului conducătorului auto se impune folosirea de diverse medii de dezvoltare, de obicei, bazate pe sistemele de operare Windows și Android. Un mediu de dezvoltare reprezintă un set de programe și unelte integrate într-o platformă menită să faciliteze scrierea, testarea și depanarea de aplicații software prin intermediul unei interfețe grafice cu utilizatorul. În continuare, vor fi prezentate pe scurt, mediul de dezvoltare Arduino IDE și Android Studio, precum și mediul Microsoft Visual Studio.

## 2.10 CONCLUZII ȘI JUSTIFICAREA TEMATICII

Cercetările din domeniul siguranței rutiere au permis dezvoltarea de noi sisteme de asistență care au avut un rol major în reducerea numărului de accidente fatale, cum ar fi centura de siguranță și airbag-urile. Autovehiculele din prezent includ din ce în ce mai multe tehnologii care pot crește siguranța rutieră, precum sistemele de estimare a coliziunilor frontale cu obstacole fixe sau mobile (pietoni), de detecție a benzilor de circulație și a semnelor rutiere. Totuși, există numeroși factori, dependenți de comportamentul conducătorului auto, care determină riscul de implicare în accidente rutiere, precum: stabilitatea atenției, autocontrolul, timpul de reacție, coordonarea motorie, ș.a. Astfel, în cadrul analizei literaturii de specialitate, au fost abordate aspecte privind siguranța rutieră, cu precădere aspecte referitoare la urmărirea posturii corpului în timpul procesului de conducere.

Conducerea în condiții de siguranță necesită, în primul rând, o stare psihologică și fiziologică adecvată. Numeroase cercetări au scos în evidență efectele oboselii fizice și psihice, care se manifestă în special printr-o reacție întârziată (sau lipsa ei) la evenimente periculoase. Starea de sănătate poate fi degradată, în special în cazul persoanelor care conduc zilnic, de către afecțiuni musculo-scheletice datorate adoptării unei posturi corporale statice pe o perioadă îndelungată și de către vibrațiile autovehiculului. Ergonomia postului de conducere a crescut semnificativ față de primele autovehicule apărute, în special datorită simulărilor software cu modele cinematice detaliate ale corpului conducătorului auto.

Sistemele de asistență a conducătorului auto, care includ monitorizarea posturii corporale, pot crește siguranța rutieră, precum și confortul resimțit în timpul procesului de conducere. O caracterizare completă a posturii ar trebui să includă informații referitoare la poziția mâinilor și picioarelor, postura capului și a trunchiului, precum și direcția privirii. Prezenta lucrare a avut ca obiectiv monitorizarea posturii capului și trunchiului.

La momentul actual, există numeroase sisteme de achiziție a mișcărilor corpului uman, însă doar o parte dintre acestea sunt capabile de a monitoriza postura corpului în șezut. Dintre soluțiile prezentate, majoritatea au la bază sisteme optoelectronice care necesită cel puțin o cameră video și algoritmi avansați de procesare de imagini. Unitățile de măsură inerțiale (IMU) au fost alese pentru implementarea sistemului de monitorizare a posturii corpului conducătorului datorită dimensiunilor reduse, eficienței energetice, algoritmilor de fuziune a datelor și impactului minim asupra utilizatorului. În urma analizării stadiului actual, au fost identificate atât sisteme hardware, cât și software. În plus, au fost prezentate posturile teoretice (poziții sagitale și frontale) ale conducătorului auto.

Prin urmărirea mișcărilor capului, mai exact a orientării, se pot identifica momentele de neatenție, când conducătorul auto este implicat în alte sarcini secundare (de ex. utilizarea telefonului, socializarea cu pasagerii, ș.a.). Astfel de momente pot genera situații periculoase și în multe dintre cazuri, chiar accidente, neatenția la volan fiind printre principalele cauze de producere a accidentelor. Sistemele cu camere video sunt cele mai utilizate, acestea fiind deja integrate în anumite autovehicule de ultimă generație. Detecția direcției privirii oferă informații mai relevante despre activitatea conducătorului auto, în comparație cu orientarea capului, dar necesită, în general, echipament hardware specializat (de ex. Smart Eye Pro) sau o configurație cu cel puțin două camere video și algoritmi de inteligență artificială. Astfel, pentru a estima atenția conducătorului prin intermediul unui telefon mobil inteligent, s-a ales doar urmărirea orientării capului.

În ceea ce privește extragerea de informații din imagini, există o serie de provocări, dintre care principalele sunt condițiile de iluminare și poziția camerei video. Sensorii de imagine integrați în telefoanele inteligente devin din ce în ce mai performanți, oferind rezultate acceptabile chiar și în condiții de lumină redusă. Un sistem robust care nu depinde de iluminare este bazat pe senzori cu infraroșu, tehnologie care, la momentul actual, nu este regăsită în dispozitive mobile, precum tablete sau telefoane inteligente.

În concluzie, în cadrul acestui capitol au fost prezentate sintetic aspecte referitoare la siguranța rutieră, comportamente de conducere, afecțiunile la care sunt predispuși conducătorii auto și elemente de ergonomie în autovehicul. După introducerea în domeniul siguranței în timpul procesului de conducere, s-a continuat cu prezentarea sistemelor de urmărire a posturii corpului și capului conducătorului auto, cu accent pe componentele hardware și software, precum și metode și algoritmi de procesare a datelor, aspecte aflate în strânsă dependență cu obiectivele specifice enunțate în cap. 1.



### 3 MODELAREA POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI CONDUCĂTORULUI AUTO

Studiul, descrierea și modelarea posturii trunchiului și capului conducătorului auto conduc la îmbunătățirea confortului și siguranței la postul de conducere prin identificarea poziției optime la volan și atenționarea acestuia în cazurile în care stă pentru o perioadă de timp relativ mare în posturi clasificate drept neadecvate sau nesănătoase. În acest sens, modelele și algoritmi dezvoltati au fost integrați în aplicații de monitorizare implementate pe telefoane mobile inteligente care oferă informații în timp real despre posturile capului și trunchiului conducătorului auto, totodată și măsuri de corecție a situațiilor necorespunzătoare.

#### 3.1 MODELAREA POSTURII TRUNCHIULUI CONDUCĂTORULUI AUTO

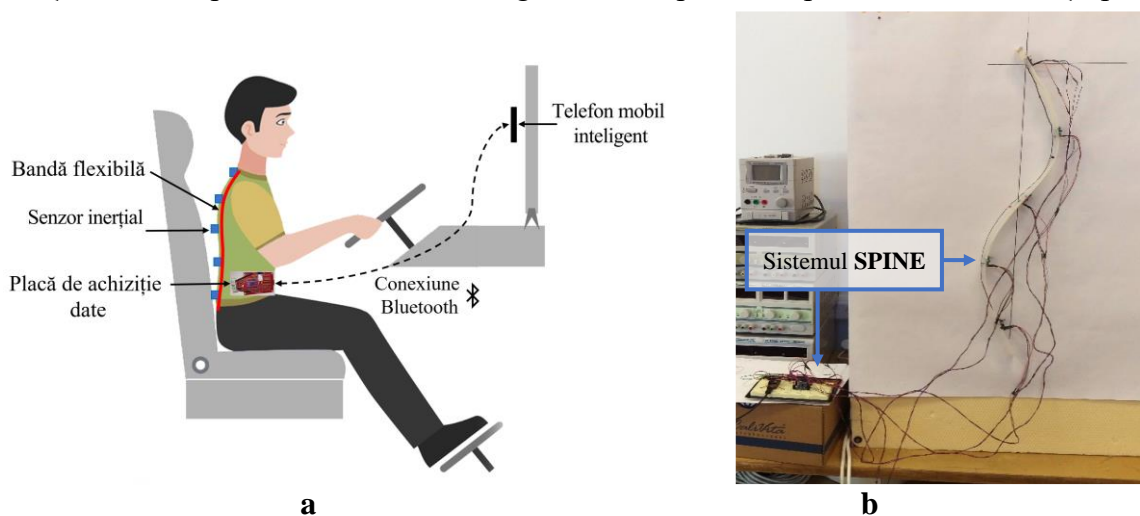
Prin urmărirea pozițiilor și mișcărilor coloanei vertebrale se poate descrie postura trunchiului conducătorului auto [Roussouly, 2010; Devedžić, 2012].

Pentru descrierea diverselor forme și posturi ale coloanei vertebrale s-a conceput și dezvoltat dispozitivul SPINE (v. subcap. 4.2) de măsurare cu senzori inerțiali cu precizie mărită. În fig. 3.1 se prezintă acest dispozitiv care este compus dintr-o bandă flexibilă pe care se fixează 5 senzori inerțiali de tip BNO055. Banda flexibilă se atașează pe spatele conducătorului auto urmărind coloana vertebrală. Ca urmare a mișcărilor trunchiului (coloanei), senzorii inerțiali, cu funcție de autocalibrare, oferă valori ale unghiurilor de orientare, folosite ca date de intrare pentru modelul matematic descris mai jos. Acest model permite și reconstrucția virtuală a posturii trunchiului conducătorului auto la volan.

##### 3.1.1 DESCRIEREA MODELULUI MATEMATIC

Dezvoltarea modelului matematic a pornit cu premisa că se vor cunoaște valorile distanțelor dintre senzorii inerțiali (prestabilite preliminar) și ale unghiurilor de orientare obținute prin măsurare.

Pentru determinarea numărului optim de senzori s-au realizat simulări și teste care au condus la concluzia că cinci unități inerțiale sunt suficiente pentru determinarea cu precizie ridicată a formelor și dimensiunilor coloanei vertebrale. În cazul adoptării unui număr mai mare de senzori, pe de-o parte, ar fi crescut greutatea totală a dispozitivului, senzorii comunicând cu unitatea de achiziție a datelor prin intermediul unor legături fizice prin multiple cabluri electrice și, pe de altă



**Fig. 3.1** Dispozitivul SPINE de identificare a posturilor coloanei vertebrale: **a** – poziționare pe spatele conducătorului auto; **b** – teste de măsurare pe stand



parte, volumul de semnale și date procesate s-ar fi mărit, conducând la resurse hardware mai complexe și timpi de calcul măriți. Având în vedere că lungimea coloanei vertebrale este diferită de la o persoană la alta, senzorii inerțiali, înainte de începerea măsurătorilor se fixează pe banda flexibilă, de obicei, echidistant.

În funcție de existența unei inflexiuni în unul din punctele intermediare s-au identificat curbe de tip C, fără inflexiuni, și de tip S cu o inflexiune (fig. 3.2). Cele 14 forme posibile ale curbei asociate coloanei vertebrale descrise folosind arce de cerc (v. tab. 3.2), ținând cont de numărul punctelor de maxim (determinate de coordonatele punctelor care se află la distanța cea mai mare față de axa de referință a coloanei), pot fi grupate pe patru clase: A – punctul de maxim al curbei este pozitiv, B - punctul de maxim al curbei este negativ, C- cele două puncte de maxim ale curbei sunt pozitive, D – cele două puncte de maxim ale curbei sunt negative. Clasele A și C sunt similare cu clasele B, și respectiv D. În acest fel s-au acoperit cele mai comune forme posibile ale coloanei vertebrale, dar și cele mai puțin obișnuite [Mieritz, 2014; Petersen, 2008; Verhaert, 2012; Devedžić, 2012; Roussouly, 2010].

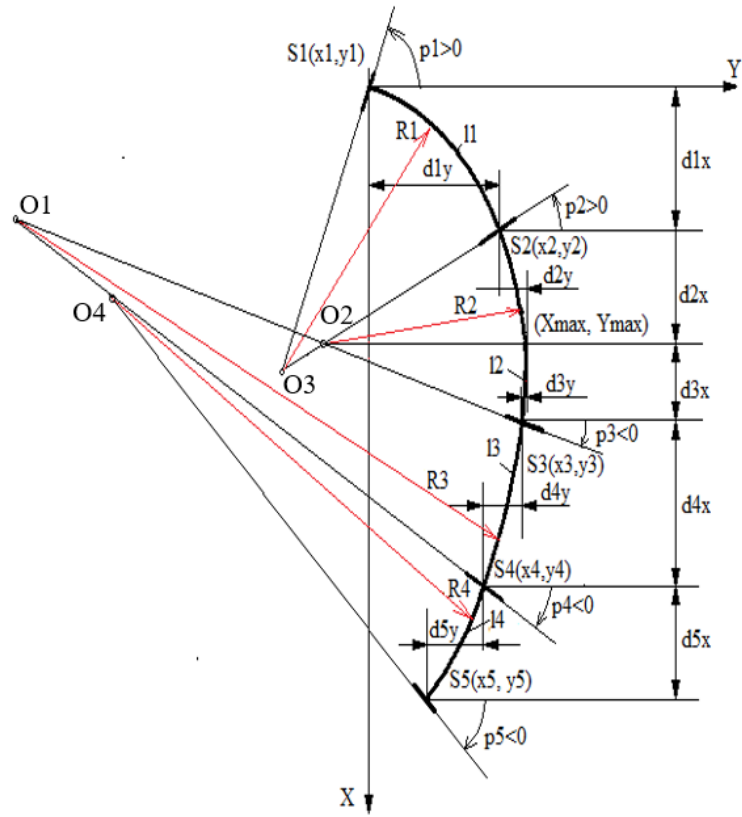
Pentru obținerea modelului matematic se impune parcurgerea următoarelor etape [Voinea, 2017]:

- a. Calcularea lungimii arcelor de cerc dintre doi senzori succesivi: 11, 12, 13 și 14, având la bază razele ( $R_1, R_2, R_3, R_4$ ) și unghiurile măsurate ( $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$ ).
- b. Calcularea distanțelor față de axele X și Y ( $d_{1x}, d_{1y}$ ), ( $d_{2x}, d_{2y}$ ), ( $d_{3x}, d_{3y}$ ), ( $d_{4x}, d_{4y}$ ), ( $d_{5x}, d_{5y}$ ), asociate punctelor (senzorilor)  $S_2(x_2, y_2)$ ,  $S_3(x_3, y_3)$ ,  $S_4(x_4, y_4)$ ,  $S_5(x_5, y_5)$ , considerând punctul  $S_1(x_1, y_1)$  de referință (asociat centrului sistemului de coordonate XY) cu  $x_1 = 0$  și  $y_1 = 0$ .
- c. Rezolvarea sistemului liniar de 14 ecuații (tab. 3.1) cu 14 necunoscute ( $R_1, R_2, R_3, R_4, d_{1x}, d_{1y}, d_{2x}, d_{2y}, d_{3x}, d_{3y}, d_{4x}, d_{4y}, d_{5x}, d_{5y}$ ).
- d. Calcularea coordonatelor ( $x_2, y_2$ ), ( $x_3, y_3$ ), ( $x_4, y_4$ ), ( $x_5, y_5$ ) și a punctului de maxim ( $X_{max}, Y_{max}$ );
- e. Calcularea coordonatelor centrelor cercurilor  $O_1, O_2, O_3, O_4$  de care aparțin arcele de cerc dintre senzori.

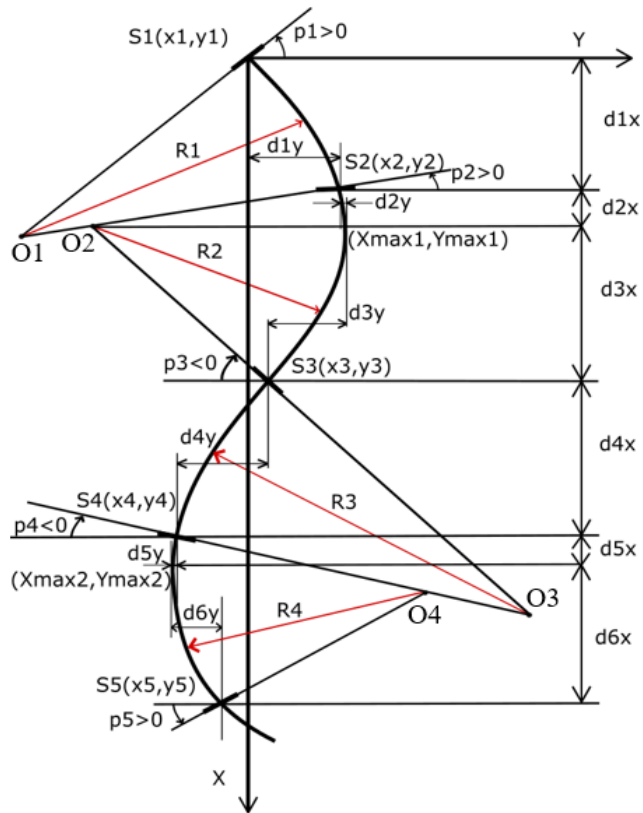
### 3.1.2 RELAȚIILE MODELULUI MATEMATIC AL POSTURII TRUNCHIULUI

În tab. 3.1 se prezintă relațiile analitice de calcul asociate celor două cazuri posibile (curbă de tip C sau S) prin care se determină parametrii necunoscuți în funcție de cei cunoscuți (11, 12, 13 și 14 și unghiurile ( $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$ ) măsurate).

Relațiile (3.1) definesc dependențele lungimilor 11, 12, 13 și 14 de razele  $R_1, R_2, R_3$  și  $R_4$  ale arcelor de cerc și unghiurile ( $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$ ). Următoarele relații (3.2-3.17) sunt folosite pentru a calcula distanțele ( $d_{1x}, d_{1y}$ ), ( $d_{2x}, d_{2y}$ ), ( $d_{3x}, d_{3y}$ ), ( $d_{4x}, d_{4y}$ ), ( $d_{5x}, d_{5y}$ ), coordonatele ( $x_2, y_2$ ), ( $x_3, y_3$ ), ( $x_4, y_4$ ), ( $x_5, y_5$ ) și coordonatele centrelor arcelor de cerc ( $x_{c1}, y_{c1}$ ), ( $x_{c2}, y_{c2}$ ), ( $x_{c3}, y_{c3}$ ), ( $x_{c4}, y_{c4}$ ). În Anexa 1 se prezintă seturile de relații corespunzătoare cu toate cazurile posibile de aproximare folosind arce de cerc. În final, se obține câte un sistem liniar de 14 ecuații cu 14 necunoscute (lungimile 11, 12, 13 și 14, razele arcelor de cerc  $R_1, R_2, R_3$  și  $R_4$ ) și unghiurile măsurate  $p_1, p_2, p_3, p_4$  și  $p_5$  care poate fi rezolvat prin intermediul unui pachet software, precum Matlab sau Maple (Anexa 2).



a



b

Fig. 3.2 Parametrii modelului matematic: a - curbă de tip C, b - curbă de tip S

Tab. 3.1 Relațiile de calcul ale modelul matematic

Curbă de tip C	Curbă de tip S	Nr. relație
$l1 = R1 * (p1 - p2)$ $l2 = R2 * (p2 + p3)$ $l3 = R3 * (p4 - p3)$ $l4 = R4 * (p5 - p4)$	$l1 = R1 * (p1 - p2)$ $l2 = R2 * (p2 + p3)$ $l3 = R3 * (p3 - p4)$ $l4 = R4 * (p4 + p5)$	(3.1)
$d1x = R1 * (\sin(p1) - \sin(p2))$ $d1y = R1 * (\cos(p2) - \cos(p1))$	$d1x = R1 * (\sin(p1) - \sin(p2))$ $d1y = R1 * (\cos(p2) - \cos(p1))$	(3.2)
$d2x = R2 * \sin(p2)$ $d2y = R2 * (1 - \cos(p2))$	$d2x = R2 * \sin(p2)$ $d2y = R2 * (1 - \cos(p2))$	(3.3)
$d3x = R2 * \sin(p3)$ $d3y = R2 * (1 - \cos(p3))$	$d3x = R2 * \sin(p3)$ $d3y = R2 * (1 - \cos(p3))$	(3.4)
$d4x = R3 * (\sin(p4) - \sin(p3))$ $d4y = R3 * (\cos(p3) - \cos(p4))$	$d4x = R3 * (\sin(p3) - \sin(p4))$ $d4y = R3 * (\cos(p4) - \cos(p3))$	(3.5)
$d5x = R4 * (\sin(p5) - \sin(p4))$ $d5y = R4 * (\cos(p4) - \cos(p5))$	$d5x = R4 * (\sin(p4))$ $d5y = R4 * (1 - \cos(p4))$	(3.6)
	$d6x = R4 * (\sin(p5))$ $d6y = R4 * (1 - \cos(p5))$	(3.7)
$x2 = d1x$ $y2 = d1y$	$x2 = d1x$ $y2 = d1y$	(3.8)
$xmax = x2 + d2x$ $ymax = y2 + d2y$	$xmax1 = x2 + d2x$ $ymax1 = y2 + d2y$	(3.9)
$x3 = xmax + d3x$ $y3 = ymax - d3y$	$x3 = xmax1 + d3x$ $y3 = ymax1 - d3y$	(3.10)
$x4 = x3 + d4x$ $y4 = y3 - d4y$	$x4 = x3 + d4x$ $y4 = y3 - d4y$	(3.11)
$x5 = x4 + d5x$ $y5 = y4 - d5y$	$xmax2 = x4 + d5x$ $ymax2 = y4 - d5y$	(3.12)
	$x5 = xmax2 + d6x$ $y5 = ymax2 + d6y$	(3.13)
$xc1 = R1 * \sin(p1)$ $yc1 = -(R1 * \cos(p1))$	$xc1 = R1 * \sin(p1)$ $yc1 = -(R1 * \cos(p2) - d1y)$	(3.14)
$xc2 = d1x + R2 * \sin(p2)$ $yc2 = -(R2 - d1y - d2y)$	$xc2 = d1x + R2 * \sin(p2)$ $yc2 = -(R2 - d1y - d2y)$	(3.15)
$xc3 = d1x + d2x + d3x - R3 * \sin(p3)$ $yc3 = -(R3 * \cos(p3) - d1y - d2y + d3y)$	$xc3 = d1x + d2x + d3x + R3 * \sin(p3)$ $yc3 = R3 * \cos(p3) + d1y + d2y - d3y$	(3.16)
$xc4 = d1x + d2x + d3x + d4x + d5x - R4 * \sin(p5)$ $yc4 = -(R4 * \cos(p4) - d1y - d2y + d3y + d4y)$	$xc4 = d1x + d2x + d3x + d4x + R4 * \sin(p4)$ $yc4 = R4 + d1y + d2y - d3y - d4y - d5y$	(3.17)

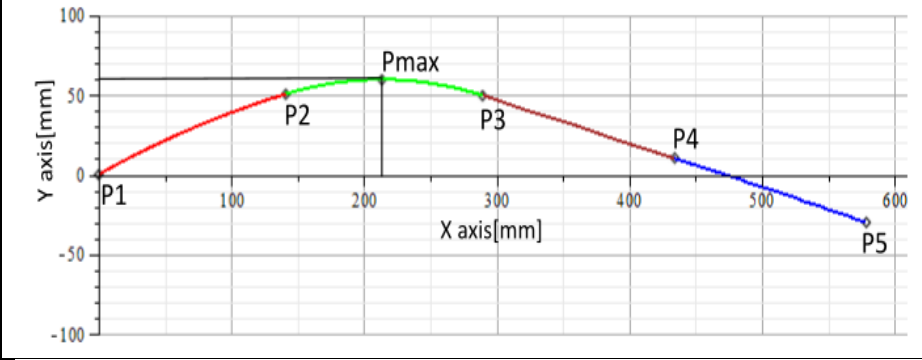
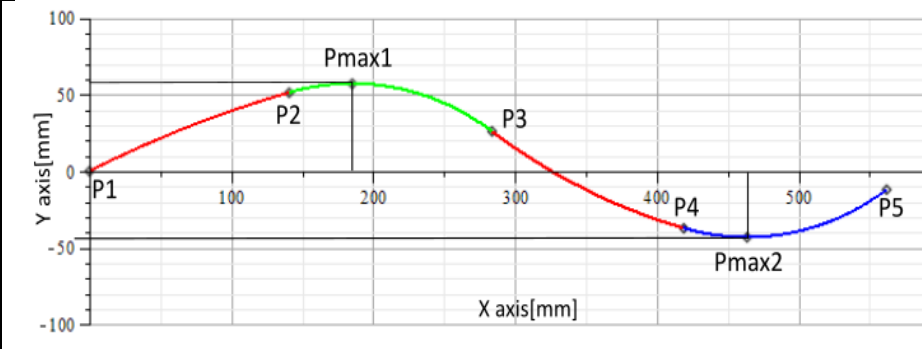
### 3.1.3 SIMULAREA MODELULUI MATEMATIC

Modelul matematic dezvoltat a fost simulat pentru mai multe cazuri posibile cu seturi ale valorilor unghiurilor de orientare corespunzătoare criteriilor de clasificare și considerând distanța dintre senzori, 150 mm. Această valoare a fost aleasă pe baza lungimii medii a coloanelor vertebrale, aprox. 700 mm. În tab. 3.2 sunt prezentate cele 14 scenarii posibile identificate prin seturi de *condiții respectate de valorile unghiurilor de orientare*, simulate în mediul Maple [Voinea, 2017]. Criteriile de clasificare în subgrupe ale celor patru clase (A, B, C și D) asociate coloanei vertebrale se bazează pe dependențele dintre valorile unghiurilor de orientare măsurate

de cei cinci senzori inerțiali și poziția punctului de inflexiune. Astfel s-au identificat câte patru subgrupe, pentru clasele A și B, și câte trei subgrupe, pentru clasele C și D.

Formele celor 14 cazuri posibile descrise prin seturi distincte ale valorilor unghiurilor de orientare măsurate se pot asocia și cu forme nesănătoase specifice unor afecțiuni ale coloanei vertebrale. Astfel, de ex., curba C corespunzătoare cazului A4 se asociază cu afecțiunea **cifoză**, iar curba S corespunzătoare cazului D3 se asociază cu afecțiunea **lordoză** (v. subcap. 2.5).

**Tab. 3.2** Studii de caz privind posturile identificate prin simularea modelului matematic în Maple

Denumire	Set condiții	Rezultat
A1 (maxim între P2 și P3)	$P1 > P2$ , $P2 < P3$ , $P3 < P4$ , $P4 < P5$ .	
C2 (maxime între P2 și P3, P3 și P4)	$P1 > P2$ , $P2 < P3$ , $P3 > P4$ , $P4 < P5$	

### 3.1.4 MODELAREA COLOANEI VERTEBRALE ÎN MEDIUL VIRTUAL

Pentru a genera reprezentarea tridimensională a coloanei vertebrale asociată trunchiului conducătorului auto s-a utilizat pachetul software CATIA [www11]. Modificarea modelului tridimensional are la bază datele salvate (coordonatele punctelor) într-un fișier text la identificarea posturii trunchiului cu sistemul SPINE (v. fig. 3.1).

Aplicația de vizualizare în trei dimensiuni a modelului coloanei vertebrale are scopul de a facilita observarea/urmărirea vizuală a mișcărilor corpului conducătorului auto în timpul procesului de conducere. În fig. 3.3 este prezentată fereastra în care se pot introduce/modifica următoarele date: lungimea coloanei vertebrale; factorul de scalare global (valoare inițială, 1); factorul de scalare pe lungimea coloanei, axa y (valoare inițială, 1), opțiunea de vizualizare a modelului 3D al coloanei vertebrale cu factorul de scalare real; acesta se determină ca raport dintre noua valoare a lungimii coloanei vertebrale și valoarea de referință, 736,912 mm. Interfața cu utilizatorul oferă următoarele funcții: scalarea vertebrelor coloanei ținând cont de lungimea acesteia; scalarea coloanei vertebrale păstrând distanța dintre vertebre proporțională cu factorul de scalare.

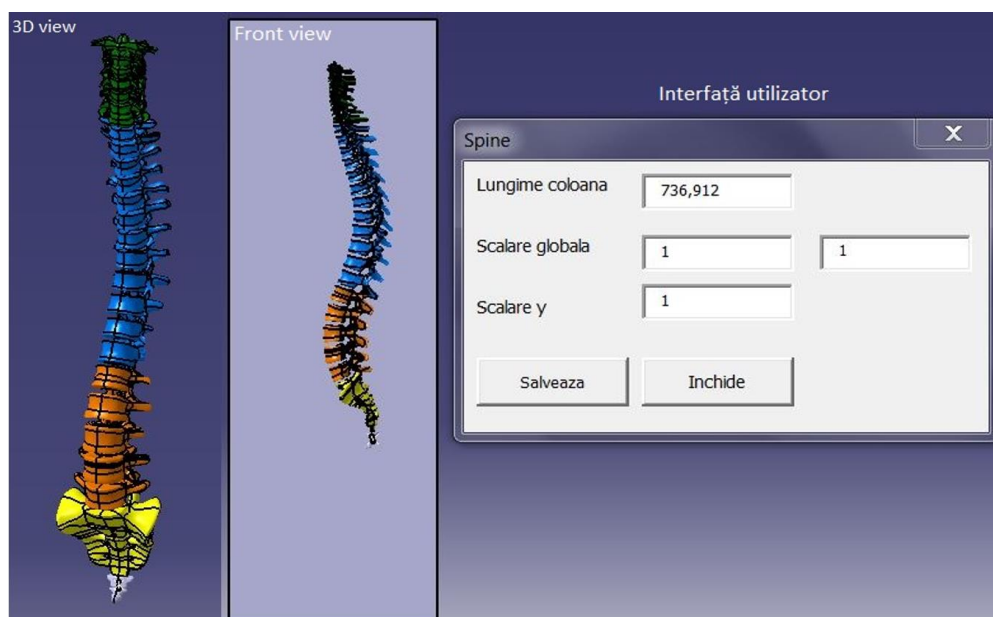


Fig. 3.3 Model virtual tridimensional al coloanei vertebrale și interfața utilizator

Postura coloanei vertebrale virtuale se determină în funcție de valorile coordonatelor punctelor  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$ ,  $(x_4, y_4)$ ,  $(x_5, y_5)$ , unde sunt fixați senzorii, și coordonatele centrelor arcelor de cerc  $(x_{c1}, y_{c1})$ ,  $(x_{c2}, y_{c2})$ ,  $(x_{c3}, y_{c3})$ ,  $(x_{c4}, y_{c4})$ ; aceste valori sunt preluate din fișierul de tip text care este generat în urma simulării modelului matematic (Anexa 3).

## 3.2 MODELAREA POSTURII CAPULUI CONDUCĂTORULUI AUTO

Distragerea atenției sau neatenția la volan, frecvent, se manifestă prin modificări de urmărire vizuală a mediului de rulare, cognitive de luare a deciziilor sau mecanice (mișcări necorespunzătoare) la nivelul conducătorului auto [Liang, 2012; www12]. Aceste manifestări se pot sesiza și evalua și prin identificarea posturilor neadecvate ale capului conducătorului auto. Astfel, prin urmărirea posturii capului conducătorului auto și, desigur, prin avertizarea acestuia când apar posturi necorespunzătoare, se poate crește nivelul siguranței rutiere în cazul unor distrageri ale atenției [Dumitru, 2018].

## 3.3 MODELAREA POSTURILOR CAPULUI ȘI TRUNCHIULUI

În subcapitolele de mai sus s-au modelat posturile corpului și capului separat, fapt ce nu acoperă toate situațiile din realitate, mai ales, acele posturi care se manifestă corelat. Astfel, pentru apropierea de cazurile reale, în continuare, se prezintă un model simplificat care consideră mișcările capului împreună cu ale trunchiului conducătorului auto. Acest model aproximează coloana vertebrală asociată trunchiului prin două segmente de dreaptă B0B1 și B1B2 cu lungimile  $l_1$  și respectiv  $l_2$  (fig. 3.4). Porțiunea superioară gât-cap se aproximează cu segmentul B2H cu lungimea  $l_3$ . Pentru urmărirea posturii trunchiului se vor folosi doi senzori inerțiali fixați în punctele B1 și B2 (pot fi primul și al treilea senzor ai dispozitivului SPINE) iar, pentru urmărirea orientării capului, camera frontală a telefonului inteligent.

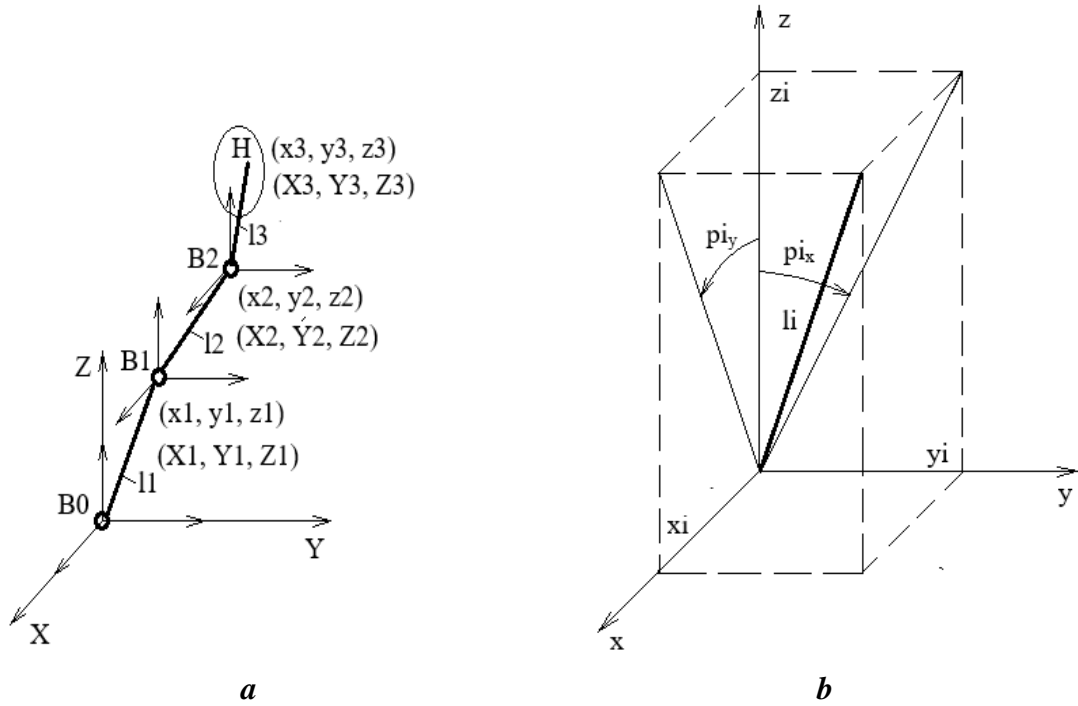


Fig. 3.4 Model geometric simplificat: **a** – structura generală; **b** – reprezentarea elementului *i* în raport cu sistemul de coordonate local

### 3.4 DETERMINAREA DISTANȚEI PÂNĂ LA UN OBSTACOL DIN MEDIUL DE NAVIGARE

Prin intermediul telefonului mobil inteligent dual camera poziționat pe bordul sau parbrizul autovehiculului, se poate monitoriza mediul de navigare concomitent cu urmărirea posturii capului conducătorului auto. Poziționarea adecvată a dispozitivului mobil se determină având în vedere asigurarea unei acoperiri corespunzătoare a mediului de navigare din câmpul vizual al conducătorului auto, dar și o urmărire optimă a capului acestuia.

În fig. 3.5 se prezintă modelul geometric de determinare a distanței până la un obstacol prin prelucrarea informației provenite de la o cameră video a unui dispozitivului mobil.

Calculul distanței până la un obstacol se face cu relația [Gat, 2005],

$$d = \frac{f \cdot H}{y_{ob} - y_{PF}} \quad (3.35)$$

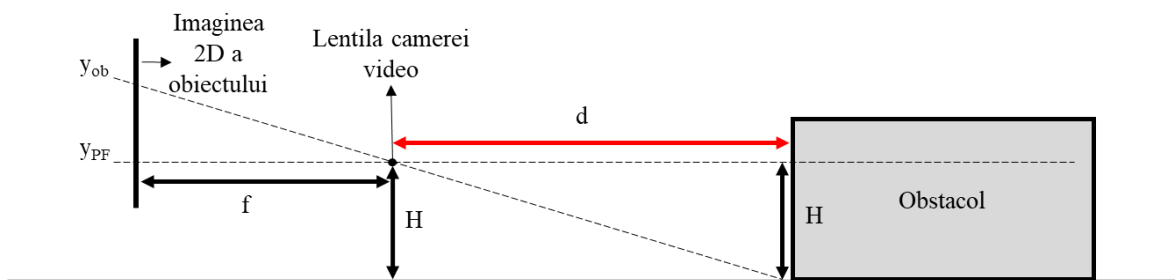


Fig. 3.5 Model pentru determinarea distanței până la un obstacol

în care,  $H$  reprezintă înălțimea la care este montat dispozitivul mobil (camera video a telefonului mobil),  $f$  - distanța focală a camerei,  $y_{ob}$  - înălțimea proiecției bazei obstacolului și  $y_{PF}$  - înălțimea punctului de fugă.

### 3.5 CONCLUZII

Descrierea prin modele a comportării obiectelor/proceselor permite obținerea de date tangibile care pot fi utilizate pentru studiul parametrilor asociați acestora, precum și a situațiilor limită. În acest capitol au fost prezentate modelele matematice dezvoltate și implementate într-un sistem de monitorizare a posturii trunchiului și capului conducătorului auto, atât separat, cât și împreună. Algoritmii asociați acestor modele permit identificarea unui număr mare de posturi posibile care pot să fie atinse de conducătorul auto în timpul procesului de conducere. De remarcat ca o contribuție originală a prezentei lucrări este și modelul matematic care are ca date de intrare valorile unghiurilor de orientare provenite de la senzori inerțiali fixați la nivelul coloanei vertebrale (v. subcap. 3.1), model implementat în sistemul din subcap. 4.2 și evaluat în subcap. 5.1. În urma prelucrării datelor s-au evidențiat posturi virtuale ale coloanei vertebrale care prezintă abateri de maxim 3,1% față de posturile de referință.

Reprezentarea virtuală tridimensională a coloanei vertebrale a fost utilizată în cadrul GUI pentru a oferi vizualizări grafice lizibile, ușor de înțeles, pentru procesele de urmărire a mișcărilor coloanei vertebrale.

## 4 SISTEM DE MONITORIZARE A POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI CONDUCĂTORULUI AUTO

Introducerea sistemelor de asistență a conducătorului auto a avut un impact major asupra siguranței rutiere și asupra interacțiunii om-mașină. Soluția propusă, dezvoltată și testată în cadrul acestei lucrări de doctorat permite monitorizarea cu precizie ridicată a posturilor trunchiului și capului conducătorului auto prin combinarea de sisteme senzoriale video și inerțiale. Componentele hardware care alcătuiesc sistemul dezvoltat au fost alese în urma analizelor din stadiului actual și corelat cu limitările impuse de posturile de conducere auto. În acest capitol se descrie un sistem hibrid de monitorizare a posturilor trunchiului și capului conducătorului auto, numit în continuare NAVIPOSTURE, care va sta la baza cercetărilor experimentale prezentate în cap. 5. Prin validarea experimentală a rezultatelor obținute se pun bazele dezvoltării de noi sisteme de asistență precum și a altor aplicații care conduc la îmbunătățirea performanțelor de conducere în condiții de siguranță și sănătate ridicate.

### 4.1 ARHITECTURA SISTEMULUI DE MONITORIZARE, NAVIPOSTURE

Sistemul de monitorizare a posturii trunchiului și capului conducătorului auto, NAVIPOSTURE, are două componente: subsistemul de urmărire a coloanei vertebrale (SPINE) și subsistemul de urmărire a orientării capului și a traficului rutier (NAVIEYES) (fig. 4.1).

Subsistemul SPINE dedicat urmăririi posturii trunchiului utilizează datele provenite de la senzori inerțiali. Prin aplicarea unui algoritm bazat pe modelul matematic dezvoltat și prezentat în subcap. 3.1 se descriu cu precizie ridicată posturi ale coloanei vertebrale (trunchiului) a conducătorului auto. Rezultatele obținute au fost validate prin simulări precum și, prin realizarea unor teste experimentale cu prototipul dezvoltat. S-au dezvoltat două aplicații software pentru urmărirea posturii trunchiului, pentru sistemele de operare Windows și Android. Folosind acest subsistem se pot identifica și preveni posturi incorecte care pot conduce la afecțiuni (boli) profesionale ale conducătorului auto.

Subsistemul NAVIEYES utilizează fluxul video de la camera principală (aflată pe spatele telefonului) pentru urmărirea traficului și a obstacolelor, în timp ce fluxul video de la camera

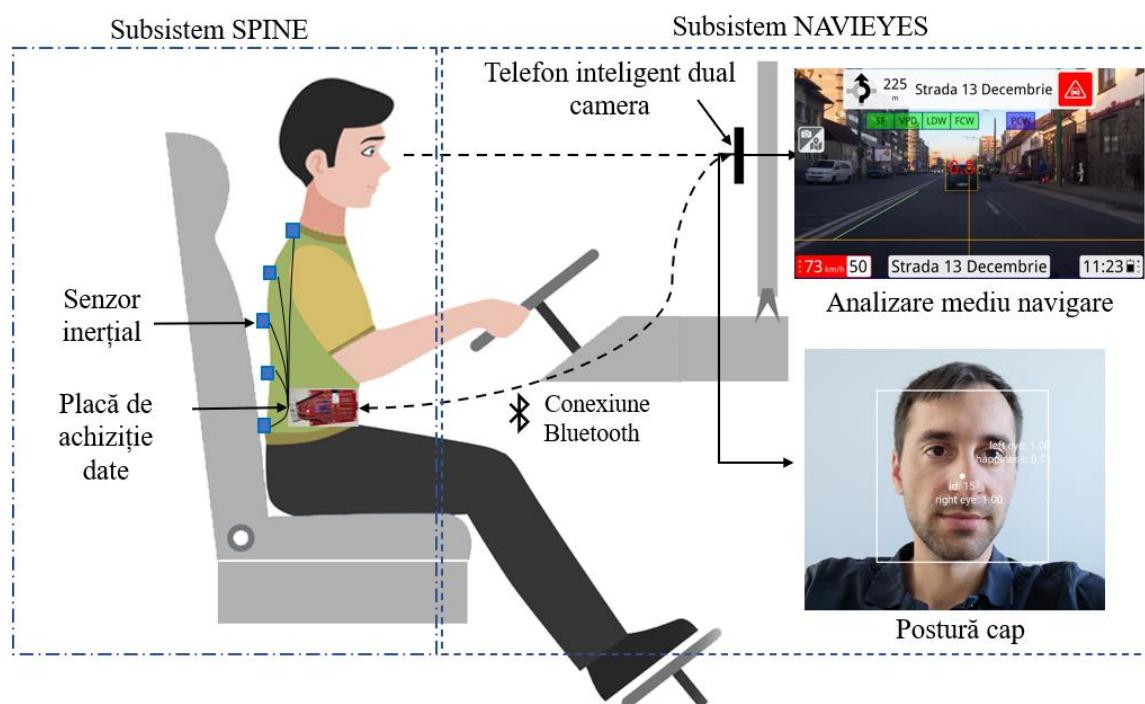


Fig. 4.1 Structura generală a sistemului de monitorizare a conducătorului auto, NAVIPOSTURE



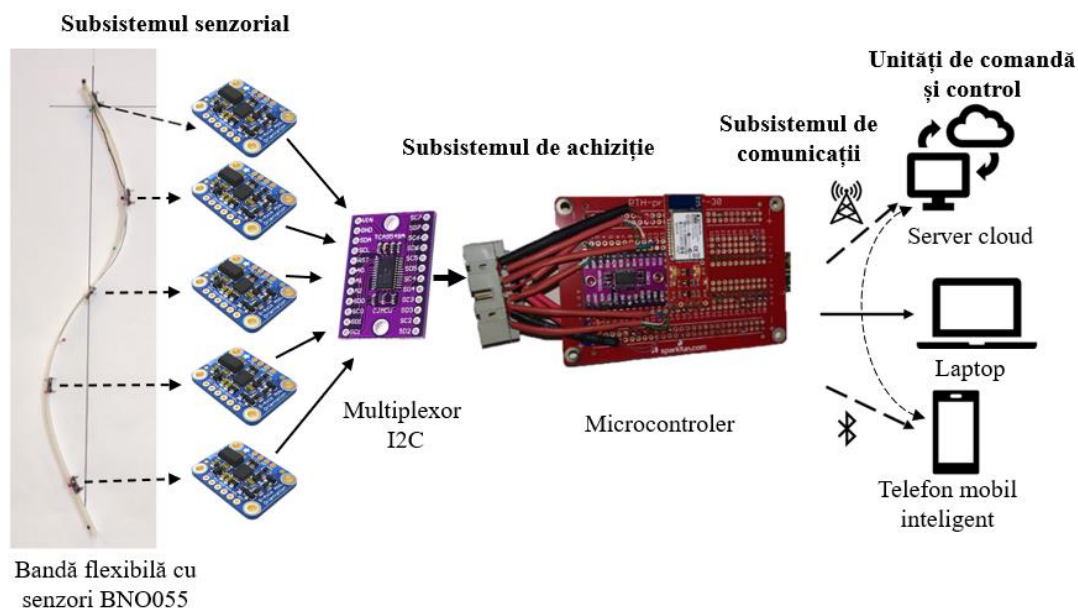
frontală (din fața telefonului) este analizat pentru detectarea posturii capului conducătorului auto în raport cu evenimentele, obstacolele și semnalele din trafic.

## 4.2 SUBSISTEMUL DE URMĂRIRE A POSTURII TRUNCHIULUI CONDUCĂTORULUI AUTO (SPINE)

Dezvoltarea sistemului de urmărire a posturii trunchiului conducătorului auto a început cu analiza critică a sistemelor actuale și identificarea avantajelor și dezavantajelor soluțiilor realizate (v. subcap. 2.7). De evidențiat ca premisă de plecare pentru concepția de sisteme de urmărire portabile sunt și progresele remarcabile din ultima perioadă de timp privind tehnologiile de obținere a senzorilor miniaturali care au performanțe superioare legate de gama de variație a mărimilor măsurate, consumul de energie, precizie etc. la costuri reduse.

### 4.2.1 STRUCTURA HARDWARE A SUBSISTEMULUI SPINE

Componentele hardware care alcătuiesc sistemul de urmărire a posturii trunchiului conducătorului auto sunt următoarele (fig. 4.2): module de achiziție a datelor, modul de multiplexare a datelor, microcontroler (MC), modul de comunicare fără fir prin Bluetooth. Pentru a stabili microcontrolerul adecvat cu specificații pentru un sistem purtabil din punct de vedere al performanței tehnice precum și a dimensiunii și greutateii s-au analizat trei microcontrolere comerciale. Arduino este cea mai populară platformă pentru dezvoltarea de aplicații cu traductori și actuatori, având mai multe variante constructive (Arduino Uno, Due, Pro, ș.a.). Intel Edison este un mini-calculator care oferă o capacitate computațională ridicată într-un pachet de dimensiuni mici și este, în general, folosit pentru sisteme de tipul IoT (Internet of Things) sau în care se utilizează un display electronic. Microcontrolerul Teensy reprezintă o alternativă la Arduino, care oferă mai multă versatilitate din punct de vedere al numărului de pini și al standardelor de comunicație integrate (SPI, I2C) într-un format fizic cu dimensiuni cuprinse între 36 mm x 17,78 mm (Teensy 3.2) și 60 mm x 17,78 mm (Teensy 3.6). În urma analizei comparative s-a ales microcontrolerul *Teensy* pentru sistemul de urmărire a posturii trunchiului conducătorului auto.



**Fig. 4.2** Componentele hardware ale sistemului de urmărire a posturii trunchiului conducătorului auto

## 4.2.2 STRUCTURA SOFTWARE A SUBSISTEMULUI SPINE

Pentru dezvoltarea aplicației SPINE au fost utilizate platforme software specializate pentru achiziția de date, implementare algoritmi matematici și vizualizare/audiere rezultate. Astfel, pentru dezvoltarea programului de achiziție a datelor de la senzorii inerțiali și pentru verificarea funcționalității tuturor componentelor hardware ale sistemului, anterior integrării acestora, s-a utilizat mediul de dezvoltare Arduino IDE. Implementarea modelelor matematice prezentate în subcap. 3.1, cu preluarea de date de la senzorii inerțiali, s-a realizat, inițial, cu pachetul Maple și apoi s-a salvat ca un subprogram Java pentru sistemele mobile de tip Android. În urma testării componentelor hardware care alcătuiesc sistemul SPINE și verificarea modelelor, au fost dezvoltate aplicații de procesare și vizualizare a datelor pentru platformele Windows și Android.

### 4.2.2.1 Aplicația de urmărire a posturii trunchiului pentru platforma Windows

Pentru dezvoltarea aplicației *SpineMonitoringWindows* de achiziție și procesare a datelor (valorile unghiurilor de rotație de orientare) de la microcontrolerul Teensy, pentru Windows s-a folosit pachetul Microsoft Visual Studio IDE. Prin intermediul acestei aplicații sunt testate funcționalitățile componentelor hardware ale subsistemului de urmărire a posturii trunchiului conducătorului auto, precum și restricțiile impuse de modelele matematice. Comunicarea cu subsistemul hardware de urmărire a posturii s-a realizat printr-un cablu de date USB. Interfața cu utilizatorul include următoarele funcții/module (fig. 4.3): opțiuni de alegere a utilizatorului cu două variante (înregistrare utilizator nou, utilizator existent); calibrare (profil nou de calibrare, salvare profil de calibrare, încărcare profil de calibrare existent); monitorizare serială (start, stop, configurare); aplicare model matematic.

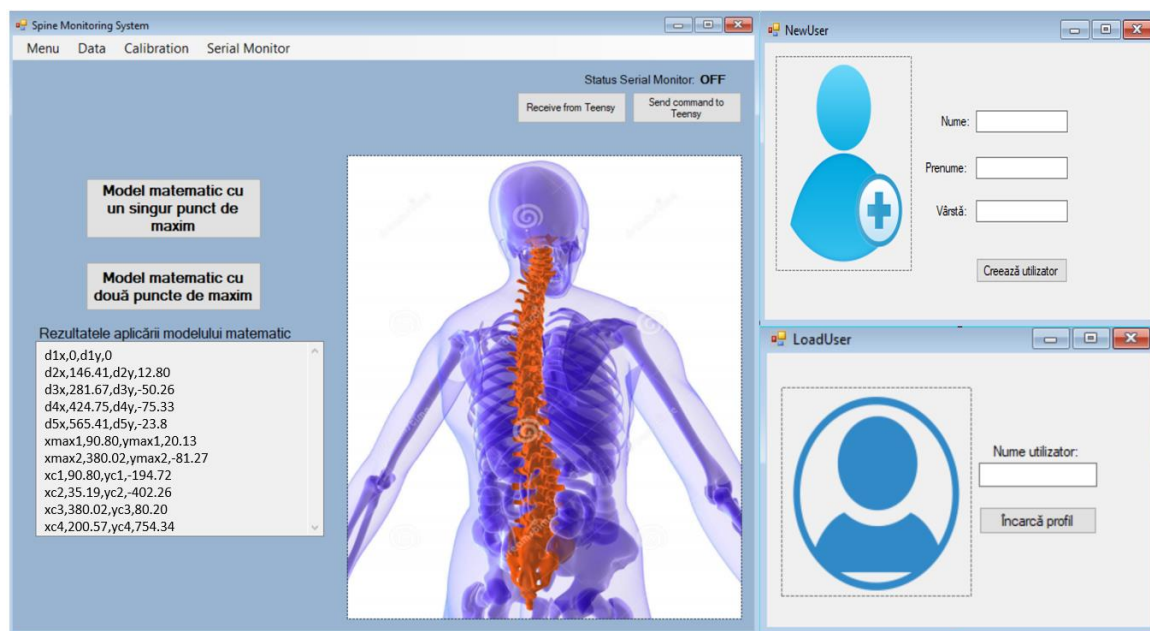


Fig. 4.3 Interfața cu utilizatorul a aplicației SPINE pentru platforma Windows

### 4.2.2.2 Aplicația de urmărire a posturii trunchiului pentru platforma Android

Integrarea pe telefoane mobile inteligente a sistemului SPINE a necesitat dezvoltarea unei aplicații Android care să îndeplinească următoarele sarcini: să permită conectarea prin Bluetooth a sistemului de urmărire a posturii coloanei vertebrale cu un telefon inteligent; interfața GUI să

permite introducerea datelor utilizatorilor și salvarea acestora în fișiere cu extensia .csv; să prelucreze datele conform modelului matematic dezvoltat și să salveze rezultatele obținute, de asemenea, într-un fișier cu extensia .csv; să afișeze în timp real, atât grafic cât și analitic, unghiurile de orientare și posturile incorecte; să ofere posibilitatea salvării online a fișierelor rezultate pe un server (cloud).

În tab. 4.1 este prezentată aplicația Android de achiziție și prelucrare a datelor cu cele trei activități (ferestre de utilizare). Aplicația *SpineMonitoringAndroid* lucrează cu trei fișiere text, două care conțin date și informații procesate (fișiere de ieșire) și un fișier de intrare (de configurare) care conține date referitoare la postura recomandată (de referință).

### 4.3 SUBSISTEMUL DE URMĂRIRE A POSTURII CAPULUI (NAVIEYES)

Având în vedere importanța monitorizării posturii capului conducătorului auto în timpul procesului de conducere s-a conceput și dezvoltat un subsistem de urmărire a posturii capului care să poată fi integrat într-un sistem de monitorizare a conducătorului auto pe telefoane mobile inteligente. Această abordare se justifică în primul rând prin inexistența încă a unor aplicații de acest tip instalabile pe telefoanele mobile inteligente și în al doilea rând prin numărul din ce în ce mai mare al utilizatorilor de telefoane mobile inteligente (aprox. 3,8 miliarde în anul 2021 cu o creștere constantă cu 0,3 miliarde/an). Deși utilizarea acestora este interzisă în timpul procesului de conducere, peste 70% dintre conducătorii auto au declarat că îl folosesc pentru conversații, mesaje, emailuri, jocuri sau aplicații de socializare (Facebook, Twitter) [www14]. Astfel, se poate deduce acceptanța ridicată a conducătorilor auto privind utilizarea de sisteme de asistență/monitorizare implementate pe telefoanele mobile inteligente și poziționate în suporturi fixate la nivelul bordului autovehiculului.

#### 4.3.1 STRUCTURA HARDWARE A SUBSISTEMULUI NAVIEYES

Subsistemul NAVIEYES are la bază algoritmi de procesare a imaginilor care provin de la camerele unui telefon mobil inteligent. Fluxul video de la camera frontală este procesat pentru a determina postura capului în raport cu repere/obstacole din trafic identificate în cadrele video de la camera principală. Astfel, se poate estima dacă conducătorul auto este atent sau nu la traficul din fața autovehiculului. În același timp, sunt analizate prin intermediul unor module de estimare a coliziunilor frontale cu obstacole fixe sau mobile (pietoni), de detecție a benzilor de circulație și a semnelor rutiere. Accelerometrul și giroscopul telefonului mobil pot fi utilizate pentru a determina orientarea telefonului, respectiv a accelerației și vitezei autovehiculului.

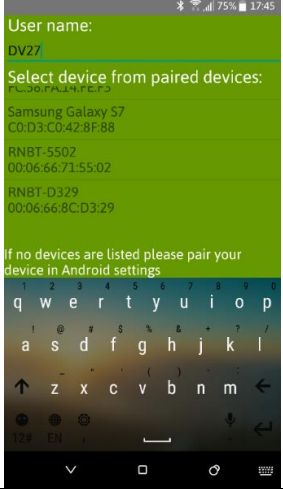
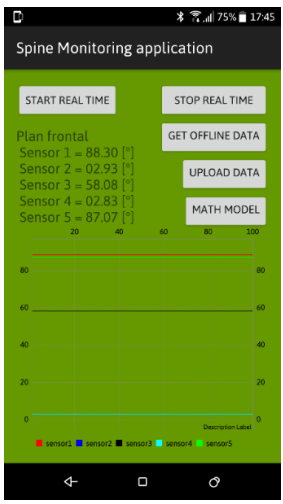
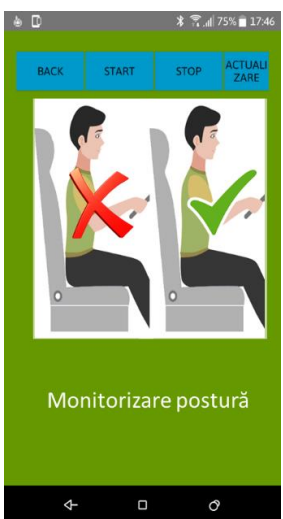
Sistemul de urmărire a capului conceput și dezvoltat, integrat într-un telefon mobil inteligent, are la bază procesarea de imagini pentru descrierea diverselor poziționări ale capului conducătorului auto în raport cu sarcinile impuse de procesul de conducere a autovehiculului.

#### 4.3.2 STRUCTURA SOFTWARE A SUBSISTEMULUI NAVIEYES

##### 4.3.2.1 Algoritmi și programe de urmărire a capului

Aplicația de monitorizare a posturii capului a fost dezvoltată pentru platforma Android. Librăria Face API poate fi folosită pentru urmărirea orientării capului prin intermediul unghiurilor Euler Y și Euler Z. Unghiul Euler Z al feței este disponibil întotdeauna, spre deosebire de unghiul Euler Y, care este disponibil doar când detectorul de față este setat pe modul precis (pe modul rapid detecția capului este realizată mai repede, dar doar pe o axă). La prima rulare a unei aplicații Android care utilizează API-ul *Vision*, pentru detecția feței, se va descărca automat în memoria internă a telefonului o bibliotecă de clasificatori. Aplicația nu va funcționa corespunzător dacă descărcarea fișierelor nu se realizează cu succes.

Tab. 4.1 Descrierea aplicației SpineMonitoringAndroid

Denumire activitate	Descriere	Captură de ecran
<b>Activitatea inițială</b>	Se folosește pentru introducerea datelor utilizatorului și conectarea prin Bluetooth la subsistemul SPINE. Este afișată o listă cu toate dispozitivele Bluetooth la care a fost conectat dispozitivul mobil. Se alege denumirea adaptorului Bluetooth, RNBT-D329. În cazul în care adaptorul Bluetooth nu este găsit, este necesară efectuarea operației de asociere (pairing), astfel: se intră în meniul Setări Bluetooth; se caută dispozitive; se alege adaptorul, RNBT-D329; se introduce parola inițială, 1234	
<b>Activitatea principală</b>	Permite vizualizarea în timp real a valorilor unghiurilor de orientare de la senzorii inerțiali. Utilizatorul are următoarele opțiuni: butonul <i>Start Real time</i> care inițiază începerea afișării în timp real a datelor; Butonul <i>Stop Real time</i> , oprește recepția datelor; butonul <i>Get Offline Data</i> , inițiază stocare locală a datelor pe cardul microSD. Ca urmare a acțiunii a acestui buton, conținutul fișierului stocat este transmis prin Bluetooth și este salvat într-un fișier în memoria telefonului mobil, după care este încărcat pe serverul cloud; butonul <i>Math Model</i> inițiază prelucrarea datelor conform modelului și oferă feedback în timp real privind postura trunchiului	
<b>Activitatea secundară</b>	Oferă feedback vizual și audio atunci când postura la postul de conducere este diferită față de cea de referință. Utilizatorul are următoarele posibilități: butonul <i>Back</i> se folosește pentru revenirea la ecranul principal; butonul <i>Start</i> se folosește pentru a porni monitorizarea posturii trunchiului prin aplicarea în timp real a modelului matematic. butonul <i>Stop</i> pentru oprirea sesiunii de urmărire a posturii; butonul actualizare permite descărcarea de pe serverul online a unui set de valori ce definesc postura recomandată de conducere	

Dezactivarea proprietății *TrackingEnabled* a obiectului de tip *FaceDetector* este recomandată pentru detecția fețelor din imagini individuale care nu au legătură (spre deosebire de imagini video sau de o serie de imagini statice captate consecutiv), deoarece acest lucru va oferi

un rezultat mai precis. Pentru detectarea imaginilor consecutive, care pot apărea și în cazul urmării orientării capului conducătorului auto, este necesară activarea proprietății *TrackingEnabled* pentru a continua urmărirea feței detectate.

#### 4.4 SISTEMUL DE MONITORIZARE A POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI (NAVIPOSTURE)

##### 4.4.1 STRUCTURA SOFTWARE

Sistemul de monitorizare a posturilor trunchiului și capului conducătorului auto a presupus integrarea celor două subsisteme, SPINE și NAVIEYES (fig. 4.4). Datele de intrare pentru sistemul NAVIPOSTURE includ: unghiurile de orientare de la senzorii inerțiali pentru postura trunchiului, fluxul video de la cele două camere video ale telefonului mobil inteligent pentru postura capului și detecția situațiilor periculoase din trafic, date de la senzorii integrați (accelerometru, GPS), precum și valorile limită care definesc posturile corecte. Monitorizarea procesului de conducere cu sistemul NAVIPOSTURE presupune analiza datelor rezultate din cele două subsisteme și generarea de alerte sonore și/sau vizuale cu scopul evitării posturilor necorespunzătoare ale trunchiului și capului conducătorului auto în timpul procesului de conducere. Datele obținute prin măsurare de la senzorii inerțiali și video, precum și cele din monitorizare sunt stocate atât în memoria telefonului inteligent, cât și într-un server online (cloud).

În fig. 4.5 se prezintă interfața cu utilizatorul a aplicației de urmărire a posturilor trunchiului și capului, NAVIPOSTURE, în modul *portret* (fig. 4.5, a) și *landscape* (fig. 4.5, b, c). La început se setează o destinație, după care telefonul mobil trebuie poziționat pe orizontală (*landscape*) pentru pornirea modulelor de procesare a fluxurilor video.

Valorile limită ale posturilor trunchiului și capului, precum și pragul pentru TTC sunt programate direct în codul sursă, astfel utilizatorul nu poate să le modifice în timpul conducerii. De asemenea, în fig. 4.5, b, c se poate observa că interfața cu utilizatorul presupune suprapunerea de informații peste fluxul imaginilor video, concept care poartă denumirea de realitate augmentată.

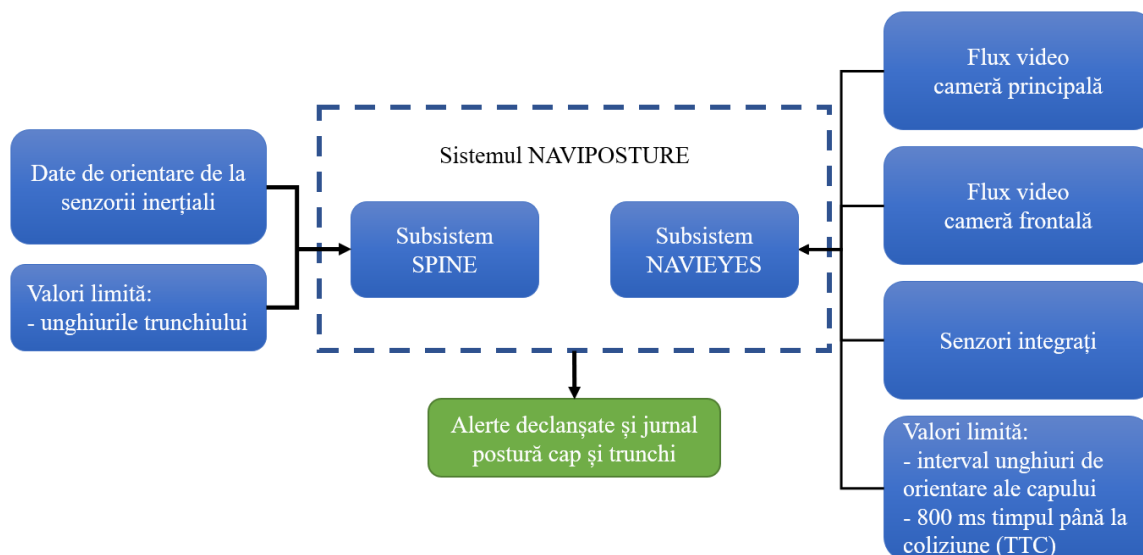


Fig. 4.4 Structura funcțională a sistemului NAVIPOSTURE





**Fig. 4.5** Interfața cu utilizatorul: **a** – pentru vizualizare rute (portret); **b** – pentru detecție vehicule din față și declanșare alerte; **c** – pentru detecție pietoni (landscape)

## 4.5 CONCLUZII

În cadrul acestui capitol a fost prezentat sistemul NAVIPOSTURE de monitorizare a posturilor trunchiului și capului conducătorului auto, atât din punct de vedere hardware, cât și software. Acesta are la bază două subsisteme, SPINE și NAVIEYES, care pot funcționa independent sau integrate într-o singură aplicație: SPINE utilizează senzori inerțiali pentru urmărirea posturii trunchiului conducătorului auto, iar NAVIEYES este bazat pe procesarea de imagini video de la camerele telefonului mobil inteligent pentru a detecta și urmări postura capului conducătorului auto, precum și pentru identificarea de situații necorespunzătoare din mediul de navigare din fața vehiculului.

## 5 TESTE ȘI STUDII EXPERIMENTALE

Realizarea de teste și experimente de validare a unui model/prototip este o etapă necesară și obligatorie în domeniul științelor ingineresti. Deoarece, aceste etape sunt costisitoare atât ca perioade de timp cât și costuri, în ultima perioadă de timp odată cu evoluțiile spectaculoase în domeniile calculatoarelor și tehnologiilor informatice multe din procesele de testare și experimentare sunt realizate prin simulări în medii virtuale. Astfel, timpul de validare a unui model/prototip dar și costurile implicate sunt mult diminuate.

### 5.1 STUDII EXPERIMENTALE PRIVIND DETERMINAREA FORMELOR COLOANEI VERTEBRALE PRIN MĂSURARE

#### 5.1.1 PLANIFICAREA ȘI REALIZAREA EXPERIMENTELOR

Prototipul hardware bazat pe senzori inerțiali (SPINE), prezentat în *subcap. 4.2* și modelul matematic de descriere a posturii trunchiului prezentat în *subcap. 3.1* au fost integrate și verificate prin intermediul studiilor experimentale care au avut ca scop *validarea funcționalităților hardware* și testarea *repetabilității* rezultatelor obținute prin aplicarea modelului matematic având ca inputuri *date măsurate* cu senzorii inerțiali BNO055.

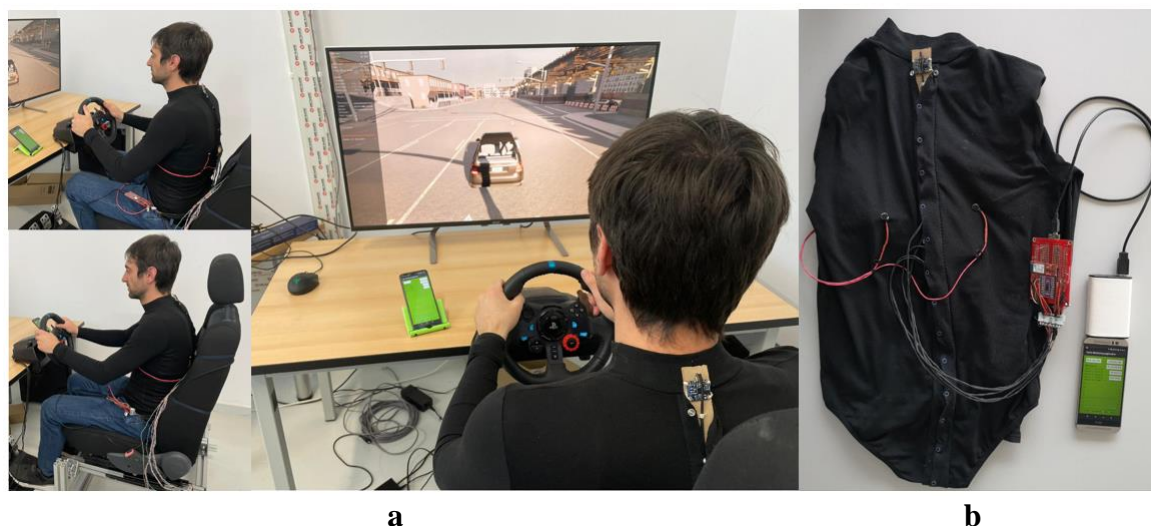
#### 5.1.2 PRELUCRAREA ȘI ANALIZA REZULTATELOR

Pentru determinarea curbelor obținute prin măsurare s-a folosit aplicația *SpineMonitoringWindows* (v. subcap. 4.2.2.1) asociată modelului matematic descris în subcap. 3.1.1, folosind ca date de intrare mediile aritmetice ale unghiurilor obținute prin măsurare (v. tab. 5.1 și 5.2). După analizarea rezultatelor obținute, s-a ajuns la concluzia că erorile se propagă de la al doilea punct până la ultimul, deoarece modelul matematic cuprinde ecuații care se rezolvă în cascadă. Pentru forma de tip A4, abaterea nu depășește 6,3 mm, însă în cazul formei de tip C2 aceasta ajunge până la 17,2 mm, deoarece erorile sunt cu același semn (la cumulare cresc continuu) spre deosebire de cazul curbei A4 erorile sunt cu semne diferite (la cumulare pot și scădea). Având în vedere că lungimea curbei de referință este 557,4 mm, se obțin valori ale erorilor mai mici de 3,1%.

În concluzie, procedeul de determinare a posturii coloanei vertebrale folosind date măsurare este valid și abaterile dintre curbele obținute, prin măsurare și calcul, și cele de referință sunt acceptabile. Modelul matematic precum și algoritmul de calcul dezvoltate reproduc cu precizie curbele asociate formelor coloanei vertebrale și sunt potrivite pentru utilizarea în aplicații de urmărire a posturii coloanei vertebrale.

### 5.2 TESTE EXPERIMENTALE DE MONITORIZARE A POSTURII TRUNCHIULUI CONDUCĂTORULUI AUTO ÎN MEDII VIRTUALE

Subsistemul SPINE a fost configurat și implementat și într-o structură independentă de simulator virtual (fig. 5.1, a) cu scopul monitorizării mișcărilor trunchiului conducătorului auto pentru, pe de o parte, *atenționarea* acestuia când apar posturi instantanee (în perioade scurte de timp) necorespunzătoare cu procesul de conducere și, pe de altă parte, memorarea datelor despre posturile nesănătoase cu perioade de timp îndelungate (stabilite preliminar) care pot conduce la apariția unor afecțiuni/boli profesionale legate de coloana vertebrală sau la limitarea



**Fig. 5.1** Structura sistemului SPINE pentru urmărirea trunchiului conducătorului auto în realitate virtuală: **a** – vederi laterale și din spate; **b** – vesta cu senzori inerțiali, modul de alimentare și telefonul mobil inteligent

evoluției la recuperare [Voinea, 2017a]. În fig. 5.1,b se prezintă vesta echipată cu banda flexibilă cu senzori (v. subcap. 4.2.1) care a fost folosită pentru realizarea experimentelor în medii controlate de simulator.

### 5.3 STUDII EXPERIMENTALE DE MONITORIZARE A POSTURII CAPULUI ÎN CONDIȚII REALE DE TRAFIC

#### 5.3.1 DESCRIEREA SISTEMULUI ȘI PLANIFICAREA EXPERIMENTELOR

În fig. 5.2 este prezentată o poză a postului de conducere pregătit pentru experimente de urmărire și de monitorizare a posturii capului în raport cu scenele de trafic ale mediului de navigare prin intermediul subsistemului NAVIEYES [Voinea, 2020b]. Pentru a înregistra video întregul experiment de conducere (simultan conducătorul auto și mediul de navigare), cu scopul verificării tuturor avertismentelor și al alertelor emise s-a folosit al doilea telefon mobil HTC One M9. Acest dispozitiv a fost ales deoarece, în momentul studiului, tehnologia Android permitea dezvoltarea de aplicații cu accesarea simultan a fluxurilor video ale camerei frontale și a celei principale. Camera principală este utilizată pentru urmărirea în timp real a mediului de navigare, în timp ce camera frontală pentru monitorizarea orientării capului conducătorului auto. Fluxul video de la camera principală este procesat cu modulul de detecție a părăsirii benzii de rulare, precum și cu module de coliziune cu obstacole mobile (vehicule, pietoni etc.).

#### 5.3.2 CALIBRAREA CAMERELOR VIDEO

Telefonul mobil inteligent se amplasează pe parbrizul sau bordul autovehiculului într-o locație care permite camerei frontale să detecteze și să urmărească fața conducătorului auto, în timp ce camera principală trebuie să cuprindă cât mai mult din mediul de navigare, conform cu procedura de calibrare prezentată în lucrarea [Duguleana, 2015]. Astfel, posibilele obstacole (vehicule, bicicliști, pietoni etc.) identificate cu detectorul bazat pe coduri LBP (Local Binary Patterns) și clasificatorul în cascadă Adaboost, sunt validate de un filtru bazat pe rețele HOG (Histogram of Oriented Gradients). Dacă rezultatul este pozitiv, un filtru Kalman actualizat recursiv este utilizat pentru urmărirea obstacolului.



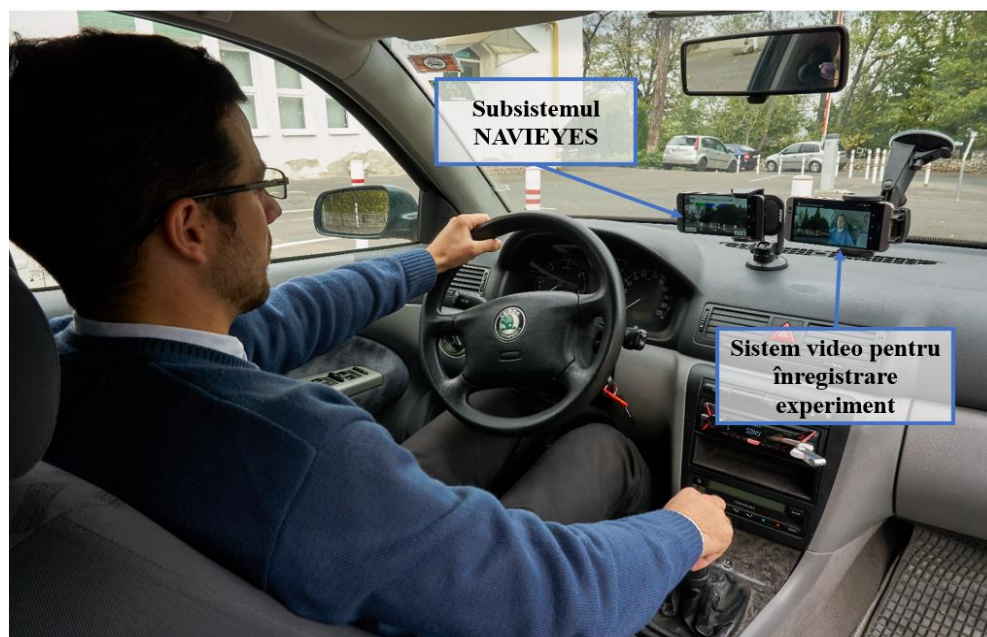


Fig. 5.2 Postul de conducere cu sistemul experimental implementat

### 5.3.3 CHESTIONARUL ȘI IPOTEZELE TAM

TAM, ca model general de explicare și predicție a acceptanței unui sistem a fost folosit pentru a evalua interacțiunea și percepția utilizatorilor privind utilizarea aplicației NAVIEYES. Acest model are la bază un chestionar cu 17 afirmații (v. Anexa 9 și 10) care analizează trei componente ale *intenției comportamentale de utilizare (BI - Behavioural Intention)*: *atitudine față de utilizare (ATT - Attitude Toward Behaviour)*, *utilitate percepută (PU - Perceived Usefulness)* și *ușurința percepută în utilizare (PEoU - Perceived Ease of Use)*. Potrivit teoriei TAM, ATT pozitiv, PU și PEoU ridicate indică o intenție ridicată de a utiliza o tehnologie. ATT este asociată cu starea emoțională (sumă a emoțiilor pozitive sau negative) pe care o persoană o are față de utilizarea unei tehnologii [Fishbein, 1975]. PU relevă gradul în care o persoană crede că performanța sa ar putea fi îmbunătățită prin utilizarea unui sistem specific [Davis, 1989]. Gradul de dificultate în utilizarea unei anumite tehnologii este evaluat de PEoU.

### 5.3.4 PRELUCRAREA STATISTICĂ A DATELOR

Datele colectate în scenariul de referință (*baseline*) și cu NAVIEYES au fost salvate în fișiere .csv și prelucrate ulterior utilizând programul specializat de statistică SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Numărul de avertismente și alerte emise a fost verificat prin analiza vizuală a înregistrărilor video ale experimentelor pentru fiecare participant, după care a fost efectuată o analiză *t-test* pentru a găsi diferențe statistice între scenariile *baseline* și NAVIEYES.

În fig. 5.3 ponderile asociate săgeților reprezintă estimările de regresie standardizate ( $\beta$ s); valoarea asociată săgeții punctată indică efecte ne semnificative.

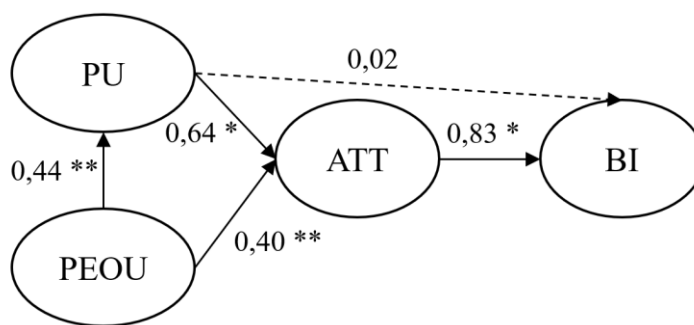


Fig. 5.3 Rezultatele regresiei ierarhice liniare asociate ipotezelor TAM

### 5.3.5 ANALIZA REZULTATELOR EXPERIMENTELOR

#### 5.3.5.1 Analiza caracteristicilor de performanță a conducerii

Rezultatele obținute indică, în mod clar, că utilizarea subsistemului de urmărire NAVIEYES are un *impact pozitiv* asupra comportamentului conducătorului auto. Cele mai importante efecte reprezintă creșterea timpului headway și o viteză medie mai mică, astfel se poate considera că s-a redus riscul de producere al unui accident, coroborat și cu concluziile din lucrarea [Vogel, 2003]. O altă constatare relevantă este *creșterea timpului până la coliziune* (TTC) datorită utilizării aplicației NAVIEYES, ajungând la  $11,67 \pm 0,963$  s. Deoarece un interval TTC, 3,6-5,6 s, corespunde unui timp critic în care conducătorul auto trebuie să răspundă rapid și să acționeze prompt pentru a evita un accident [Kiefer, 2006], se poate concluziona că participanții au adoptat un stil de conducere defensiv în cadrul scenariilor cu NAVIEYES.

În urma analizei statistice, viteza medie a fost semnificativă statistic și ușor mai mică în scenariul NAVIEYES. Nu s-au evidențiat diferențe majore în ceea ce privește numărul de părăsiri ale benzii de circulație între scenariile baseline și NAVIEYES, constatare previzibilă din cauza contextului urban în care a avut loc experimentul.

#### 5.3.5.2 Analiza rezultatelor statistice bazate pe chestionarul TAM

Aplicarea chestionarului TAM și prelucrarea statistică a rezultatelor au fost utilizate pentru a evalua factorii care influențează intenția de utilizare a aplicației NAVIEYES de către conducătorii auto. În urma verificării consistenței interne pentru variabilele TAM s-a constatat că aceasta are un nivel ridicat, cu un interval al parametrului Cronbach alfa ( $\alpha$ ) cuprins între 0,70 și 0,87 (valori mai mari decât 0,60 indică o consistență acceptabilă [Hair Jr, 2010]). Intercorelațiile dintre variabilele TAM sunt semnificative.

În baza rezultatelor obținute s-a ajuns la concluzia că intenția comportamentală de a utiliza sistemul NAVIEYES este influențată, cu precădere, de două variabile TAM: atitudinea (ATT) și utilitatea percepută (PU). Regresia ierarhică liniară a dezvăluit, de asemenea, că PEoU are semnificație statistică asupra predicției intențiilor comportamentale ale conducătorilor auto. Influența parametrilor PU și ATT asupra BI este în concordanță cu datele din literatura TAM referitoare la aplicațiile de asistență a conducătorului auto [Ghazizadeh, 2012; Rahman, 2017].

Prezentul studiu a evidențiat, de asemenea, un efect mai mare al PU asupra ATT comparativ cu PEoU, astfel, un conducător auto este dispus să utilizeze un sistem de asistență dacă îl consideră util și ușor de utilizat [Hörtl, 2013]. Caracteristica PEoU măsoară percepția utilizatorului cu privire la efortul necesar pentru a utiliza sistemul NAVIEYES. Interfața cu utilizatorul oferă o interacțiune clară și ușor de înțeles, fără a necesita cunoștințe tehnice avansate. Limitarea numărului de avertismente prin corelarea orientării capului cu evenimentele din trafic, împreună cu funcția de navigare GPS și o interfață cu utilizatorul care folosește realitate

augmentată, reprezintă principalele aspecte care au determinat participanții la experiment să evalueze pozitiv caracteristica PEOU. Rezultatele modelului 3 al regresiei ierarhice au demonstrat că PEOU determină o variație semnificativă de 22% a BI.

Primirea de avertismente auditive (pentru evitarea coliziunilor) care nu au fost utile, considerate false, generează reacții negative sau deranjante [Botzer, 2017; Marshall, 2007]. În general, participanții nu au fost deranjați de avertismente și au arătat o reacție pozitivă la aplicația NAVIEYES.

## 5.4 TESTE EXPERIMENTALE DE MONITORIZARE A POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI ÎN MEDII VIRTUALE

### 5.4.1 STRUCTURA SISTEMULUI EXPERIMENTAL

În cadrul acestui subcapitol, pentru a evidenția performanțele sistemului NAVIPOSTURE, sunt prezentate cercetările efectuate în mediul virtual pentru monitorizarea posturii trunchiului și capului conducătorului auto prin intermediul a trei proceduri diferite: NAVIPOSTURE, Kinect și OpenPose. Pentru monitorizarea posturii trunchiului și capului conducătorului auto a fost dezvoltat simulatorul din fig. 5.4, care include un Kinect 2.0 pentru achiziția de imagini video stereoscopice, un scaun cu cadru reglabil, volan și pedale Logitech G29 și un display cu diagonala de 110 cm, amplasat la o distanță de aproximativ 100 cm față de capul conducătorului auto. Volanul G29 Logitech a fost montat pe o masă la o înălțime de 60 cm, monitorul 4K a fost poziționat la 20 cm în spatele acestuia și camera Kinect a fost amplasată la un unghi de 45° și la o înălțime de 150 cm într-o poziție care să permită urmărirea capului participanților la experimente [Voinea, 2020a]. Poziția camerei Kinect în simulator corespunde cu poziția oglinzii retrovizoare dintr-un autovehicul real, o poziție fezabilă pentru urmărirea capului conducătorului auto prin intermediul unei camere video. Astfel, s-au putut identifica posturi în timpul procesului de conducere auto când acesta execută mișcări de înclinare față-spate și stânga-dreapta.

### 5.4.2 MONITORIZAREA POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI CU SISTEMUL NAVIPOSTURE

Testele efectuate au avut ca scop principal detectarea de posturi incorecte în timpul procesului de conducere și emiterea de mesaje/alerte pe aplicația Android instalată pe telefonul mobil inteligent. Aplicația *SpineMonitoringAndroid* a fost adaptată pentru a utiliza date (valorile unghiurilor de orientare) de la cei 2 senzori inerțiali și de la camera frontală a telefonului mobil inteligent. Această aplicație procesează în timp real datele și emite alerte vizuale și audio atunci când este detectată o poziție care deviază semnificativ de la cea de referință. În plus, aplicația salvează datele procesate într-un fișier .csv pentru a permite analizarea posturii determinate pe o perioadă de timp îndelungată.

În fig. 5.5, 5.6 și 5.7 sunt evidențiate și marcate cu chenar roșu coordonatele devierilor de la poziția normală, care reprezintă valori ale coordonatelor punctelor asociate posturilor necorespunzătoare ale conducătorului auto în planele frontal (înclinare spre stânga sau dreapta), axial (înclinare spre în față sau în spate) și, respectiv, pe verticală. Coordonatele X1 și X2, corespunzătoare posturii trunchiului (coloanei vertebrale), prezintă variații mai mici de maxim 35,9 mm, respectiv 40,5 mm, spre deosebire de X3 care ia valori între -100 și 150 mm (domeniul de variație de până la 250mm). Deviațiile pe axa Y (fig. 5.6) descriu posturi necorespunzătoare frontale în care conducătorul este aplecat în față înregistrându-se variații pentru Y1, Y2 și Y3 de 82,2 mm, 86,6 mm și 160,3 mm. Coordonatele Z1, Z2, Z3 prezintă variații minore de 38,7 mm, 41,6 mm și 87,9 mm, deoarece mișcările în această direcție sunt reduse (fig. 5.7).

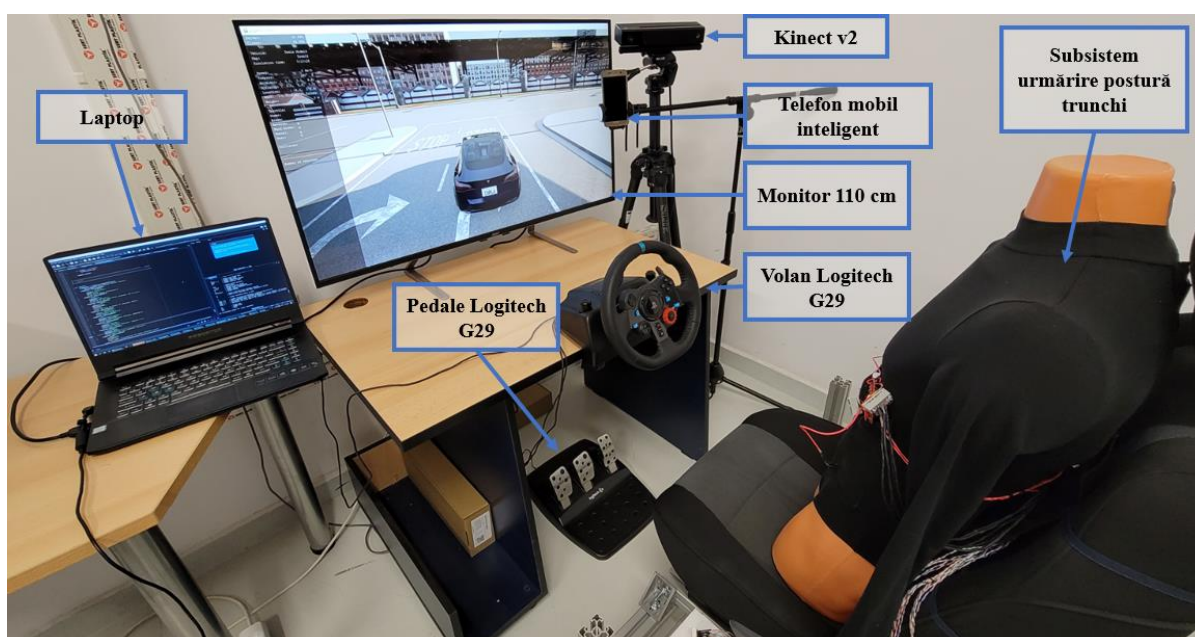


Fig. 5.4 Structura sistemului experimental de urmărirea posturilor capului și trunchiului

### 5.4.3 MONITORIZAREA POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI CU SISTEMUL KINECT

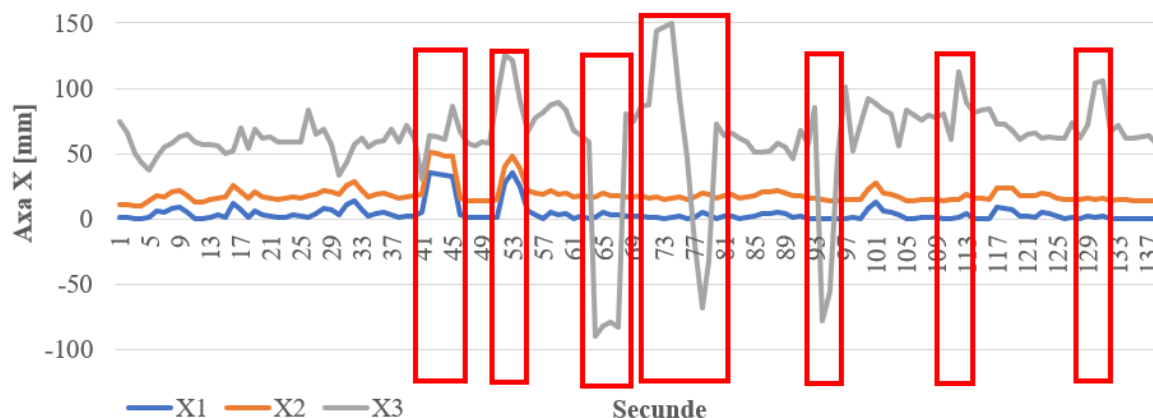
Microsoft Kinect 2.0 este un dispozitiv dezvoltat pentru consola de jocuri Xbox One și poate fi folosit și pentru detecția și urmărirea corpului uman. Practic, Kinect generează imagini color cu precizia și a datelor privind distanțele în adâncime care sunt procesate pentru a extrage puncte cheie ale corpului uman prin intermediul unei camere de adâncime împreună cu un senzor ce are la bază principiul Time-of-Flight (ToF), care presupune iluminarea scenei cu lumină infraroșie și determinarea distanței prin măsurarea timpului în care razele de lumină sunt reflectate de către obiectele din scenă.

În fig. 5.8 se prezintă sistemul de coordonate ecran cu coordonatele exprimate în pixeli. În condiții de verificare (persoana urmărită este în picioare la o distanță de minim 1 m), Kinect poate urmări 25 de puncte cheie, fiecare caracterizat de 11 valori: culoare ( $x, y$ ), adâncime ( $x, y$ ), cameră ( $x, y, z$ ) și orientare ( $x, y, z, w$ ). Pentru realizarea achiziției de date, procesarea datelor, stocarea rezultatelor în fișiere text și vizualizarea grafică în timp real a posturii conducătorului auto s-a folosit pachetul Visual Studio 2017 cu o versiune adaptată a aplicației de urmărire a corpului oferită de producător. Pentru evidențierea posturilor necorespunzătoare la volan s-a conceput și dezvoltat un algoritm cu auto-calibrare, care pornește de la presupunerea că postura inițială, în momentul lansării în execuție a aplicației, reprezintă postura de referință. Astfel, sistemul va compara în mod continuu datele obținute în timp real cu datele din primele cadre video și va emite avertismente sonore când diferența dintre cele două depășește anumite valori limită (*threshold\_posture\_value*) stabilite la autocalibrarea individuală (la începutul experimentului).

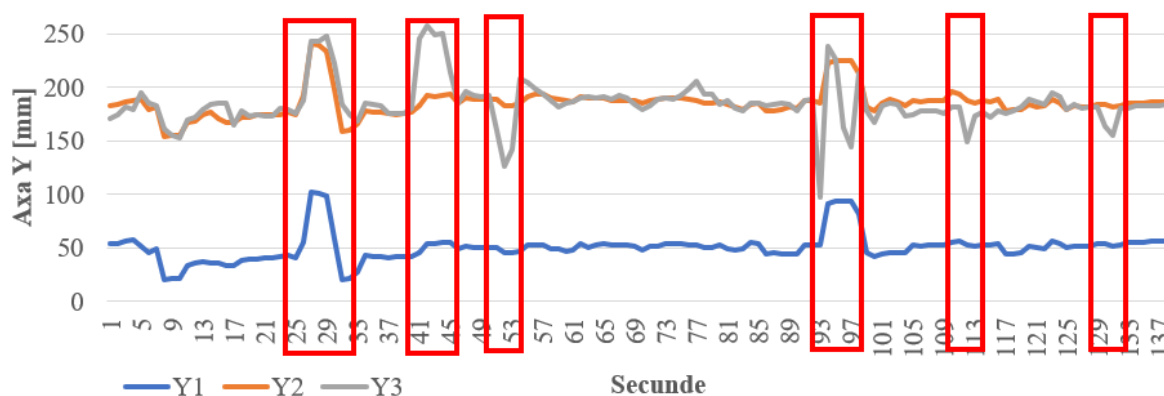
Valorile parametrului *head* sunt folosite pentru algoritmul de detecție a posturilor necorespunzătoare. Datele, care reprezintă coordonatele X și Y ale punctelor cheie detectate, au fost salvate în fișiere de tip .csv. În fig. 5.9, a, b, c sunt prezentate capturi de ecran din timpul testelor, iar în fig. 5.9,d sunt reprezentate grafic variațiile coordonatelor punctului *head*. Astfel, în cazul posturilor necorespunzătoare (marcate cu chenare roșii în fig. 5.9, d) se evidențiază abateri de la pozițiile de referință de maxim 55 pixeli pe axa X și 94 pixeli pe axa Y.

Pentru calibrarea inițială se impune ca participantul să repete o serie de mișcări, până când sunt detectate punctele cheie ale corpului. Astfel, s-a observat o dificultate în a urmări simultan

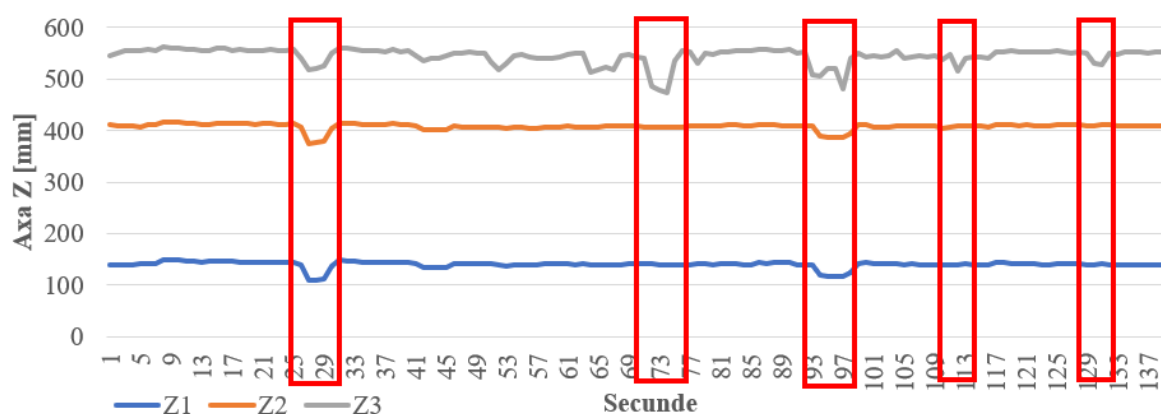
toate punctele cheie asociate corpului, deoarece aceste nu sunt vizibile în toate pozițiile acestuia; excepție fac punctele asociate capului și trunchiului care sunt vizibile chiar și în posturile necorespunzătoare.



*Fig. 5.5 Variațiile valorilor coordonatelor X1, X2, X3 ale punctelor cheie*



*Fig. 5.6 Variațiile valorilor coordonatelor Y1, Y2, Y3 ale punctelor cheie*



*Fig. 5.7 Variațiile valorilor coordonatelor Z1, Z2, Z3 ale punctelor cheie*



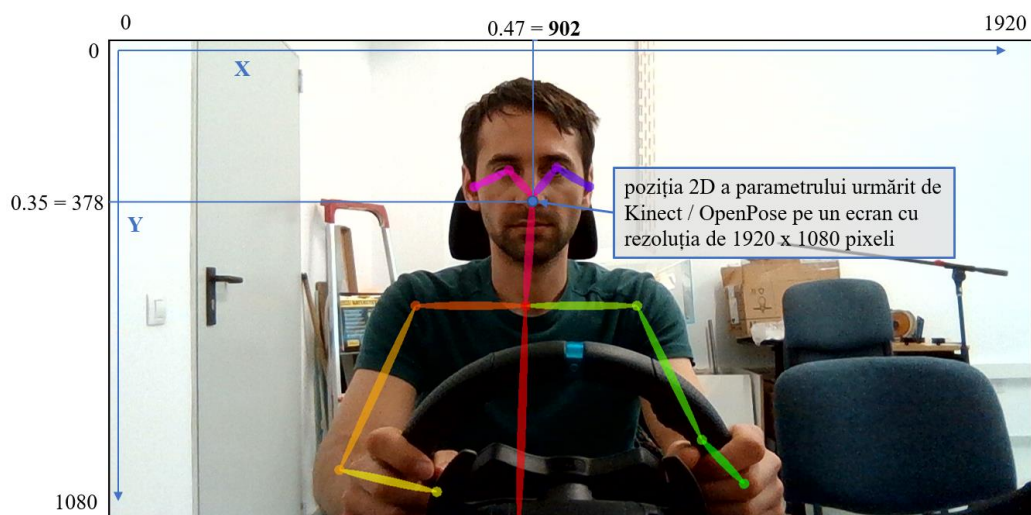


Fig. 5.8 Sistemul de coordonate ecran, folosit de Kinect și OpenPose

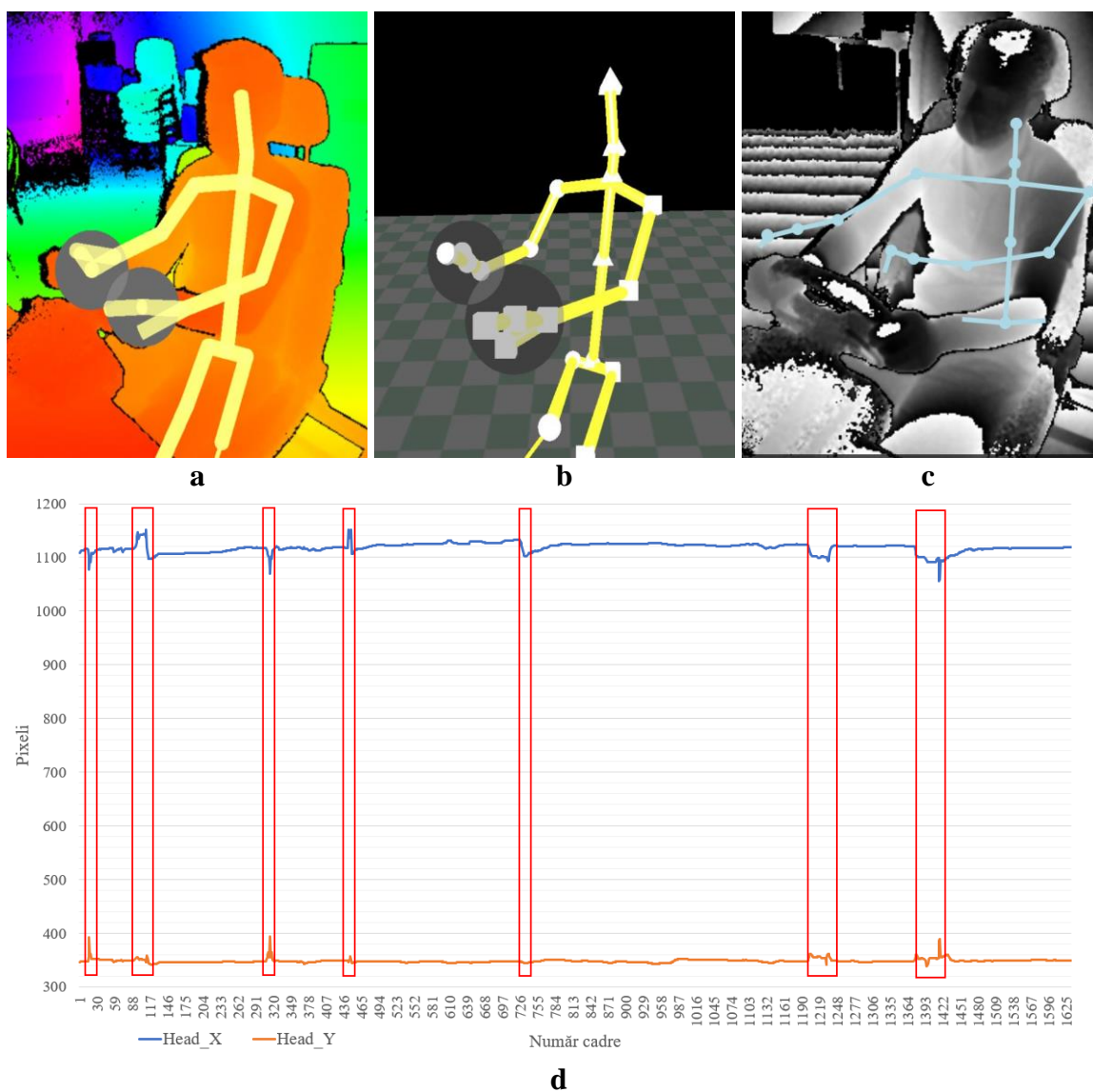
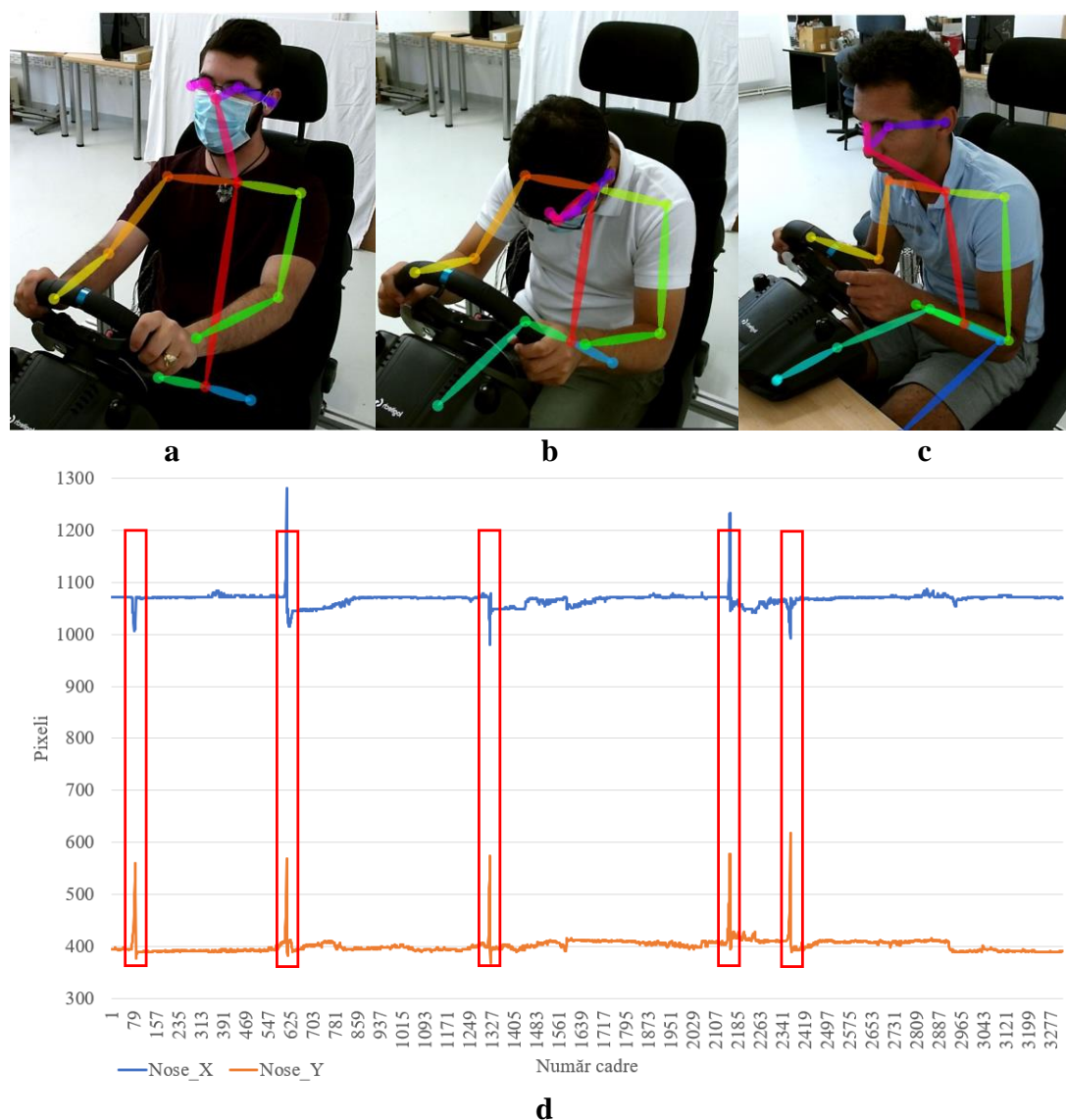


Fig. 5.9 Rezultatele monitorizării posturii trunchiului și capului cu sistemul Kinect; **a** - imagine de la camera RGB; **b** - imagine schelet obținut cu Kinect; **c** - schelet suprapus peste imaginea de la camera de adâncime; **d** - grafic cu coordonatele X și Y pentru punctul cheie head

#### 5.4.4 MONITORIZAREA POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI CU SISTEMUL OPENPOSE

OpenPose este un pachet software *open-source*, care poate identifica puncte cheie ale corpului uman dintr-o poză sau dintr-o captură video prin intermediul unei **rețele neuronale convoluționale** și **algoritmi de învățare supervizată**. OpenPose este disponibil în două versiuni, una care rulează pe GPU și alta care utilizează procesorul CPU. În fig. 5.10a, b, c sunt prezentate capturi de ecran cu posturi ale conducătorului auto și un grafic cu reprezentarea coordonatelor nasului. Coordonatele X și Y ale punctului *nose* au fost folosite pentru algoritmul de detecție al posturilor necorespunzătoare în procesul de conducere. Și în acest caz, la începutul testului conducătorul auto adoptă o postură de referință pentru care se salvează coordonatele punctului nose, care apoi sunt comparate cu valorile obținute pe parcursul testului. În momentul în care apar abateri semnificative de la valorile de referință, aplicația OpenPose (v. Anexa 9) emite o alertă auditivă și, în consecință, conducătorul auto revine spre postura de referință. Aceste abateri sunt evidențiate și în fig. 5.10, d, unde sunt marcate în chenare roșii 5 momente din cadrul testului cu deviații semnificative față de cele de referință.



**Fig. 5.10** Rezultatele monitorizării posturilor trunchiului și capului cu OpenPose: **a** - postură de referință; **b** - postură necorespunzătoare (capul înclinat în față); **c** - postură necorespunzătoare (trunchiul înclinat în față); **d** - grafic cu coordonatele X și Y ale punctului nose

### 5.4.5 ANALIZA REZULTATELOR DE MONITORIZARE A POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI ÎN MEDII VIRTUALE

Monitorizarea posturii trunchiului și capului conducătorului auto în medii virtuale de simulator a fost realizată prin intermediul a trei sisteme, NAVIPOSTURE, Kinect și OpenPose. Participanții au fost instruiți să adopte o serie de posturi necorespunzătoare în timpul procesului de navigare în mediul virtual care au fost detectate, în mare parte, cu succes de fiecare sistem. Cele trei sisteme au la bază tehnologii de achiziție a datelor cu diferite limitări. Astfel, sistemele Kinect și OpenPose, fiind bazate pe datele de la camere video, nu funcționează corespunzător când conducătorul auto are mișcări neobișnuite sau apare un obstacol în fața camerei, situații care pot conduce la pierderea punctelor cheie urmărite și/sau a calibrării (în cazul sistemului Kinect). Un alt dezavantaj al sistemului OpenPose este că necesită un calculator cu performanțe ridicate pentru a detecta și urmări cu cel puțin 10 de cadre pe secundă.

Sistemul NAVIPOSTURE utilizează o metodă hibridă, combinând tehnologii video cu senzori inerțiali, pentru urmărirea posturii trunchiului și capului conducătorului auto. Aplicația dezvoltată este implementată într-un telefon mobil inteligent. Din punct de vedere al accesibilității și flexibilității, sistemul NAVIPOSTURE este cel mai avantajos deoarece nu depinde de senzori de imagine specializați și nici de o unitate de calcul extrem de performantă. Rezultatele obținute în urma testelor derulate cu sistemul NAVIPOSTURE în condiții de simulator sunt promițătoare, fiind detectate cu succes posturile necorespunzătoare în raport cu o postura de referință.

## 5.5 TESTE EXPERIMENTALE DE MONITORIZARE A POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI ÎN MEDII REALE

### 5.5.1 INSTALAREA SISTEMULUI NAVIPOSTURE LA POSTUL DE CONDUCERE

În fig. 5.11 este prezentată configurația experimentală de testare a sistemului NAVIPOSTURE într-un mediu real. Telefonul mobil inteligent este poziționat astfel încât să permită camerei principale să urmărească mediul de conducere, în timp ce camera frontală urmărește postura capului conducătorului auto. Monitorizarea posturii trunchiului este realizată prin intermediul subsistemului SPINE, care este integrat într-un articol vestimentar elastic. Spre deosebire de testele din mediul virtual, unde nu sunt exercitate alte forțe inerțiale asupra corpului, în mediul real apar accelerări și deplasări datorită procesului de rulare a autovehiculului. Astfel, s-a instalat un senzor inerțial suplimentar, fixat pe scaunul conducătorului auto, pentru a evidenția diferența dintre valorile unghiurilor măsurate cu senzorii inerțiali consecință a mișcărilor corpului conducătorului auto diferite de mișcările acestuia în timpul rulării autovehiculului.



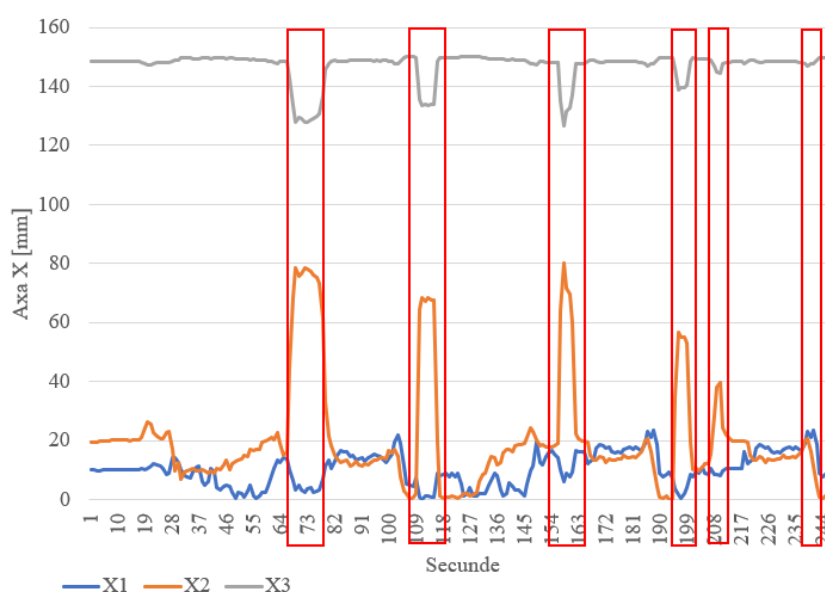
**Fig. 5.11** Instalarea sistemului NAVIPOSTURE la postul de conducere: **a** - vedere din spate, **b** – vedere laterală



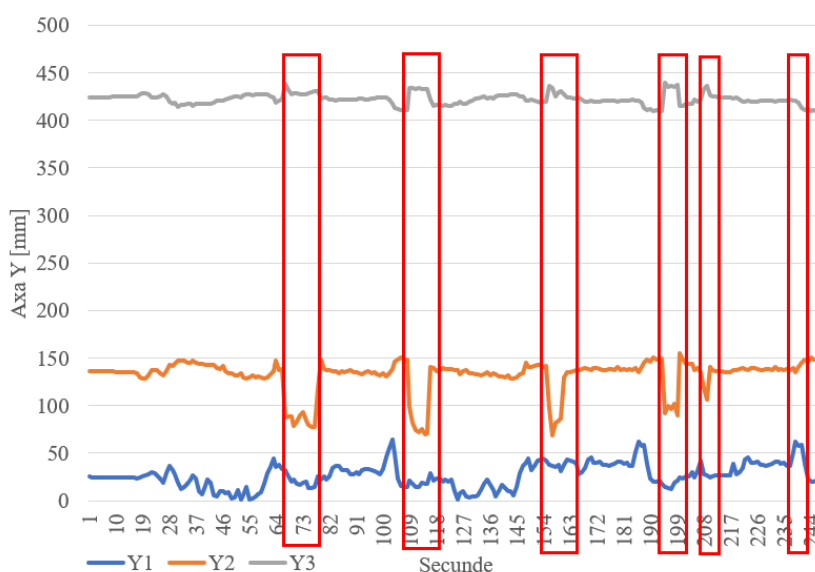
### 5.5.2 ANALIZA REZULTATELOR OBTINUTE ÎN CADRUL TESTELOR DE MONITORIZARE A POSTURILOR TRUNCHIULUI ȘI CAPULUI

În fig. 5.12 și 5.13 sunt prezentate coordonatele punctelor B1(X1,Y1), B2(X2,Y2) și H(X3,Y3), corespunzătoare celor doi senzori inerțiali și capului (v. subcap. 3.3). Astfel, pe axele X și Y se observă 6 momente în care conducătorul auto a adoptat o postură necorespunzătoare. Pentru centralizarea și generarea graficelor s-a utilizat Microsoft Excel.

Performanțele de urmărire a posturilor capului sunt influențate de poziționarea adecvată a telefonului mobil pe bordul autovehiculului. În schimb, prin monitorizarea posturii trunchiului cu subsistemul SPINE se pot detecta abateri de la postura de referință consecință a mișcării caroseriei vehiculului. Valorile unghiurilor obținute de la senzorul inerțial de referință au fost înregistrate și analizate pentru a verifica influența modificărilor orientărilor caroseriei vehiculului (consecință a forțelor de inerție). Având în vedere că, de regulă, conducerea vehiculului pentru testele experimentale s-a făcut defensiv (fără accelerări și frânări bruște) s-au evidențiat variații reduse



**Fig. 5.12** Valorile coordonatelor X1, X2, X3 ale punctelor B1, B2 și H



**Fig. 5.13** Valorile coordonatelor Y1, Y2, Y3 ale punctelor B1, B2 și H

ale unghiului de orientare măsurat cu senzorul de referință și deci, nu au fost influențe de luat în considerare la determinarea unghiurilor de orientare pentru identificarea punctelor coloanei vertebrale.

## 5.6 TESTE DE EVALUARE A CONFORTULUI PRIVIND FOLOSIREA VESTEI CU BANDĂ FLEXIBILĂ CU SENZORI INERȚIALI

*Utilizabilitatea* unui echipament care este integrat în îmbrăcăminte este influențată direct de conceptul de *purtabilitate*. Utilizarea pe termen lung a unui astfel de echipament este improbabilă dacă aceasta este incomodă sau cauzează stres. Studiarea nivelului de *confort* poate evidenția potențiale probleme și indică faptul că designul produsului trebuie îmbunătățit.

Banda flexibilă a subsistemului SPINE a fost integrată într-un articol vestimentar (vestă) pentru a putea fi folosită cu ușurință pentru teste în vederea evaluării *purtabilității* sau a *confortului* la utilizare [Voinea, 2017b]. Pentru evaluarea confortului s-a utilizat chestionarul de tip CRS (Comfort Rating Scales) [Knight, 2005]. Această metodă este, frecvent utilizată pentru evaluarea calitativă a nivelului unei activități psihice [Hancock, 1988], fiind analizate următoarele stări: emoție, atașament, durere, percepție, mișcări, anxietate etc. Astfel, în acest studiu s-a realizat o analiză a confortului perceput de utilizator în timpul folosirii sistemului SPINE utilizând un instrument validat de literatura de specialitate.

## 5.7 CONCLUZII

În acest capitol se prezintă testele și studiile experimentale realizate la nivel de componente precum și de sistem, în vederea stabilirii performanțelor și caracteristicilor de integrare în practică. Pentru fiecare test sau studiu experimental s-au descris structurile hardware și planificarea și metodele de realizare a experimentelor, achiziția datelor, prelucrarea datelor, analiza rezultatelor. Pentru obținerea de informații concludente privind eficiența și utilitatea sistemului dezvoltat au fost realizate experimente atât în mediul virtual, cât și în medii reale.

Rezultatele experimentale din cadrul acestui capitol sunt promițătoare și evidențiază potențialul ridicat al utilizării sistemului de monitorizare NAVIPOSTURE integrat în telefoane mobile inteligente pentru creșterea siguranței rutiere și asigurarea unui confort ridicat al conducătorului auto.

## 6 CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII PROPRII, VALORIFICAREA REZULTATELOR ȘI NOI DIRECȚII DE CERCETARE

### 6.1 CONCLUZII FINALE

Obiectivul principal al cercetărilor din cadrul acestei lucrări constă în creșterea siguranței și confortului conducătorului auto la volan prin concepția, modelarea, dezvoltarea și implementarea unui sistem de monitorizare a posturilor trunchiului și capului acestuia care să fie supervizat de dispozitive mobile (telefoane inteligente sau tablete). Sistemele de asistență a conducătorului auto, în ultimul timp au progresat într-un ritm constant și din ce în ce mai multe tehnologii noi, chiar au devenit obligatoriu de integrat în autovehiculele actuale. Totuși, trecerea la autovehicule inteligente cu capabilități de monitorizare a activităților conducătorului auto precum și celor de rulare din fața autovehiculului (indicatoare rutiere, obstacole încadrarea în banda de circulație etc.) este relativ lentă.

Pentru atingerea obiectivului principal au fost formulate obiective specifice (v. subcap. 1.3) pentru a căror îndeplinire în continuare, se prezintă sintetic concluziile referitoare la cercetările teoretice și experimentale efectuate în cadrul acestei lucrări.

În urma analizei cercetărilor din literatura de specialitate, s-a evidențiat că realizările actuale din domeniul sistemelor de asistență a conducătorului auto sunt limitate în ceea ce privește monitorizarea comportamentului și activităților de conducere corelat cu evenimentele din trafic. Pe de altă parte, analiza stadiului actual a scos în evidență și unele boli profesionale, mai ales legate de coloana vertebrală, care pot fi cauzate sau agravate prin adoptarea unor posturi necorespunzătoare pentru o perioadă îndelungată, precum și necesitatea studierii impactului pe care îl are utilizarea sistemelor de asistență asupra comportamentului conducătorului auto. În plus, în cadrul acestui capitol au fost prezentate principalele tehnologii utilizate pentru urmărirea posturilor unor părți ale corpului conducătorului auto, precum și constrângerile impuse de către mediul de conducere. Pe lângă identificarea unor modele de posturi corporale la volan studiate, s-au evidențiat și pachete software ce pot fi utilizate pentru dezvoltarea de sisteme de monitorizare care pot detecta posturi necorespunzătoare la volan.

Cercetările desfășurate s-au concretizat prin dezvoltarea teoretică și practică a unui sistem de monitorizare a posturilor trunchiului și capului conducătorului auto, pentru care s-a conceput și implementat o aplicație pentru dispozitivele mobile cu sistemul de operare Android și o vestă cu un dispozitiv cu senzori inerțiali. Această abordare a fost aleasă deoarece nu necesită echipamente hardware costisitoare, sistemul obținut oferind flexibilitate, eficiență și portabilitate. Procesul de monitorizare implică achiziția și prelucrarea datelor de la subsistemul senzorial, afișarea rezultatelor și lansarea de avertizări/alarme prin intermediul unei interfețe cu utilizatorul integrată în aplicația Android.

În baza concluziilor în urma analizei stadiului actual, s-a ales o metodă hibridă de urmărire a mișcărilor trunchiului și capului conducătorului auto folosind senzori inerțiali și, respectiv, camerele video a telefonului inteligent. Astfel, a fost necesară dezvoltarea de algoritmi și modele matematice care să reproducă postura corporală folosind unghiuri de orientare ce provin de la cele două sisteme de achiziție a datelor. Într-o primă etapă, s-a conceput, dezvoltat și simulat un model ce folosește date de la 5 senzori inerțiali pentru determinarea cu acuratețe ridicată a posturii trunchiului (coloanei vertebrale). În continuare, a fost prezentat un model matematic al posturii capului în raport mediul de rulare cu date de la camerele video ale telefonului mobil inteligent. Pentru a descrie posturile trunchiului și capului conducătorului auto a fost dezvoltat un model matematic care integrează cele două modele anterioare.

Implementarea sistemului *NAVIPOSTURE* a necesitat conceperea și dezvoltarea a două subsisteme de urmărire a posturii trunchiului prin intermediul datelor de orientare de la senzorii inerțiali (*SPINE*) și de la cap, în corelație cu evenimentele din trafic, prin intermediul senzorilor CMOS ai telefonului mobil (*NAVIEYES*). Structura sistemului *NAVIPOSTURE* este modulară, din punct de vedere hardware și software, cele două subsisteme fiind dezvoltate să funcționeze separat, și apoi integrate într-un singur sistem care asigură funcționarea integrat, implementabil cu ușurință la postul de conducere.

Dezvoltarea subsistemului *SPINE*, prezentat în subcap. 4.2, a debutat cu o analiză a componentelor hardware fezabile pentru urmărirea posturii trunchiului, în urma căreia au fost aleși senzorii inerțiali Bosch BNO055, microcontrolerul Teensy 3.6, modulul de transmitere a datelor prin Bluetooth SBMR și multiplexorul I2C TCA9548A. Pentru conducerea și coordonarea funcționării sistemului au fost dezvoltate aplicații pentru sistemele de operare Windows și Android care în urma implementării modelelor matematice propuse, algoritmizate și programate, oferă feedback-uri, informații suport și avertizări/alarme vizuale, auditive și/sau haptice/tactile pe întreg parcursul procesului de conducere cu scopul de a corecta posturile necorespunzătoare detectate.

Modulul *NAVIEYES* de urmărire a orientării capului conducătorului auto, integrat în telefoane mobile inteligente dual camera, are la bază o librărie software optimizată care a permis achiziția și procesarea de imagini în timp real. Cadrele video de la camera frontală sunt analizate pentru estimarea direcției în care se uită conducătorul auto, iar cele de la camera principală sunt prelucrate pentru identificarea de obstacole și indicatoare (de ex. pietoni, vehicule, marcaje de circulație etc.) și estimarea distanțelor până la acestea. În funcție de anumite valori limită, aplicația va genera mesaje vizuale/audio/tactile de atenționare cu scopul reducerii corectării situațiilor nedorite și deci, a riscului de producere a unui accident. Pentru a evalua gradul de acceptare al tehnologiei propuse s-a realizat un studiu cu 20 participanți folosind chestionarul TAM (Technology Acceptance Model). În urma analizei statistice a rezultatelor, s-a găsit o corelație/influență semnificativă statistic a parametrilor atitudine (ATT) și utilitate percepută (PU) asupra intenției de folosire a aplicației *NAVIEYES*. Astfel, se poate concluziona că participanții vor folosi sistemul dacă le inspiră încredere (au o părere pozitivă) și dacă consideră că acesta le-ar îmbunătăți performanțele. În plus, s-a arătat că utilizarea aplicației a avut efecte benefice privind creșterea siguranței rutiere prin conștientizarea participanților pentru adoptarea unui stil de conducere defensiv.

Sistemul *NAVIPOSTURE*, de asemenea, integrat în telefoane mobile inteligente, unește din punct de vedere funcțional subsistemele *SPINE* și *NAVIEYES* privind analiza și monitorizarea posturilor trunchiului și capului conducătorului auto corelat cu scena de trafic din fața vehiculului. În plus, a fost propusă și o metodă originală de interacționare vibro-tactilă cu conducătorul auto bazată pe actuatori electrice cu dimensiuni reduse și oferă posibilitatea de a fi integrate în scaun sau în volan.

Pentru evaluarea performanțelor sistemului dezvoltat, precum și a subsistemelor, au fost realizate experimente atât în *medii virtuale*, cât și în *condiții de trafic real*. Studiile experimentale derulate în medii virtuale au avut ca scop principal validarea modelelor matematice dezvoltate, algoritmizate și programate. Pentru studiile experimentale în medii virtuale a fost dezvoltat un simulator auto și au fost efectuate cercetări de monitorizare a posturii trunchiului și capului conducătorului auto prin intermediul a trei sisteme diferite: *NAVIPOSTURE*, Kinect și OpenPose. S-a urmărit identificarea, în timpul procesului de conducere auto, abaterilor de la postura de referință când sunt executate mișcări atipice de înclinare față-spate și laterală, stânga-dreapta. În baza rezultatelor obținute și a constrângerilor induse de mediile de conducere, s-a ajuns la concluzia că sistemul *NAVIPOSTURE* este cel mai eficient din punct de vedere performanțe și cost pentru monitorizarea posturilor conducătorului auto.

Testele experimentale din mediul real de conducere au avut ca scop verificarea funcționării sistemului *NAVIPOSTURE* în condiții impuse precum și verificarea influenței mișcărilor vehiculului consecință a forțelor de inerție asupra unghiurilor de orientare măsurate de senzorii

inerțiali. Rezultatele obținute au confirmat că sistemul NAVIPOSTURE poate urmări cu acuratețe posturi ale trunchiului și capului conducătorului, evidențind și avertizând posturi necorespunzătoare ale conducătorului auto în procesul de conducere.

Având în vedere rezultatele obținute atât în mediul virtual, cât și în cel real, se poate concluziona că sistemul propus aduce beneficii concrete privind siguranța și confortul conducătorului auto. Totodată, sistemul dezvoltat în cadrul acestei lucrări este accesibil, purtabil, cu un cost scăzut și potențial ridicat de utilizare deoarece este integrat pe dispozitive mobile inteligente.

În cadrul cercetărilor realizate în prezenta lucrare de doctorat s-au adus contribuții proprii care au atât caracter teoretic, prin concepția de modele matematice pentru descrierea posturii trunchiului și capului conducătorului auto în raport cu mediul de rulare, cât și caracter experimental-aplicativ, prin verificarea conceptelor elaborate în medii virtuale și efectuarea de studii și teste experimentale în medii reale. Astfel, au fost parcurse toate etapele activității de cercetare prezentate în subcap. 1.4 și au fost îndeplinite toate obiectivele specifice stabilite, de la analiza cercetărilor din domeniu, la concepția, modelarea, proiectarea și dezvoltarea de sisteme de urmărire a posturii conducătorului auto, precum și efectuarea de teste și studii experimentale și analiza statistică a rezultatelor experimentale obținute.

## 6.2 CONTRIBUȚII PROPRII

Prezenta teză de doctorat are un caracter inovativ, autorul aducând numeroase contribuții proprii în ceea ce privește conceperea, implementarea și testarea în medii virtuale și reale a unor sisteme de urmărire a posturii trunchiului și capului conducătorului auto coordonate de aplicații integrate pe telefoane mobile inteligente. În baza unei metodologii de cercetare care acoperă aspecte variate referitoare la scopul și obiectivele tezei, prin efectuarea cercetărilor și ca urmare a analizei rezultatelor obținute, se sintetizează următoarele contribuții proprii:

1. Analiza critică a cercetărilor teoretice și experimentale privind siguranța și confortul conducătorului auto la volan, sisteme de achiziție de date, metode de urmărire a posturilor unor părți ale corpului conducătorului auto precum și pachete software dezvoltate în acest scop.
2. Concepția și elaborarea modelelor matematice pentru urmărirea posturilor trunchiului și capului conducătorului auto folosind ca date de intrare valorile unghiurilor de orientare de la senzori inerțiali și imagini de la cele două camere video ale telefoanelor mobile inteligente.
3. Conceperea, modelarea, dezvoltarea, implementarea în mediile Visual Studio și Android Studio și testarea subsistemului SPINE, care are la bază un model matematic și algoritmul asociat, pentru urmărirea cu precizie ridicată a mișcărilor trunchiului folosind date de orientare de la senzori inerțiali.
4. Conceperea, modelarea, dezvoltarea, implementarea în Android Studio și testarea subsistemului NAVIEYES de urmărire a capului conducătorului auto și a traficului rutier folosind imagini de la camerele video ale unui telefon mobil inteligent.
5. Conceperea, modelarea, dezvoltarea, implementarea în Android Studio și testarea sistemului NAVIPOSTURE pentru urmărirea trunchiului și capului conducătorului auto prin date de la senzori inerțiali și de la camerele video ale unui telefon mobil inteligent.
6. Conceperea, modelarea, dezvoltarea și implementarea unui subsistem cu stimuli tactili pentru atenționarea multicriterială a conducătorului auto prin intermediul unei matrice formată din 12 actuatori vibro-tactile.
7. Planificarea, realizarea și prelucrarea datelor experimentelor pentru validarea și evaluarea sistemului SPINE din punct de vedere funcțional, dar și al nivelului de confort în utilizare.

8. Planificarea, realizarea și prelucrarea datelor experimentelor pentru validarea și evaluarea sistemului NAVIEYES din punct de vedere funcțional și al performanțelor atinse, prin determinarea factorilor chestionarului TAM care determină intenția utilizatorilor de a folosi aplicația propusă.
9. Modelarea și prelucrarea statistică a datelor experimentale urmate de analize cantitative și calitative a rezultatelor experimentale obținute.

## 6.3 VALORIFICAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

### 6.3.1 LUCRĂRI PUBLICATE

În cadrul cercetărilor desfășurate pe parcursul elaborării tezei de doctorat, s-au publicat 24 lucrări științifice, dintre care 11 ca prim autor și 13 coautor, publicate în reviste cotate ISI, jurnale și buletine ale conferințelor de specialitate:

#### *Lucrări publicate în domeniul tezei de doctorat*

1. **Voinea, G. D.**, Butnariu, S. *Design of a Scoliosis Monitoring System Using Inertial Sensors*. Applied Mechanics and Materials, Vol. 772, pp. 597-602, 2015, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.772.597 (indexată BDI, Scientific.net).
2. **Voinea, G. D.**, Mogan, G. (2015). *Development of a Wearable Scoliosis Monitoring System Using Inertial Sensors*. Applied Mechanics and Materials, Vol. 811, pp. 353-358, 2015, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.811.353 (indexată BDI, Scientific.net).
3. Postelnicu, C.C., Machidon, O.M., Girbacia, F., **Voinea, G.D.**, Duguleana, M. *Effects of Playing Mobile Games while Driving*. Communications in Computer and Information Science series Springer Volume 19, LNCS\_9749, 2016, DOI: 10.1007/978-3-319-39862-4\_27 (indexată Web of Science și BDI SCOPUS).
4. **Voinea, G. D.**, Postelnicu, C., Butnariu, S. *Challenges Involved in the Design of an e-Health Application for a Wearable Scoliosis Monitoring System*. In International Conference on Human-Computer Interaction, Springer, Cham., pp. 339-344, 2016, DOI: 10.1007/978-3-319-40542-1\_56 (indexată Web of Science și BDI SCOPUS).
5. **Voinea, G.-D.**; Butnariu, S.; Mogan, G. *Measurement and Geometric Modelling of Human Spine Posture for Medical Rehabilitation Purposes Using a Wearable Monitoring System Based on Inertial Sensors*. Sensors, 2017, 17, 0003, (indexată Web of Science, **factor de impact 3,275**).
6. **Voinea, G.D.**, Butnariu, S. *Wearability Assessment of an Equipment for Spine Posture Monitoring*. IEEE E-Health and Bioengineering Conference (EHB), 2017 (indexată Web of Science și BDI SCOPUS).
7. **Voinea, G.D.**, Postelnicu, C., Duguleana, M. *Towards using an augmented reality mobile assistant for improving driving skills*. International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, Springer, Cham. pp. 52-55, 2017 (indexată Web of Science și BDI SCOPUS).
8. **Voinea, G.D.**, Boboc, R.G., Girbacia, F., Postelnicu, C.C. *Low Annoyance Smartphone Based ADAS – Design Evaluation Using AttrakDiff*. The International Congress of Automotive and Transport Engineering, AMMA 2018 (indexată BDI)
9. Girbacia, F., **Voinea, G.D.**, Girbacia, T. *Vibrotactile Patterns for Smartphone Based ADAS Warnings*. In International Congress of Automotive and Transport Engineering, Springer, Cham., pp. 122-127, 2018 (indexată Web of Science și BDI SCOPUS).

10. Boboc, R.G., Gîrbacia, F., Postelnicu, C.C., **Voinea, G.D.** *Evaluation of using Mobile Devices for 3D Reconstruction of Accidents*. The International Congress of Automotive and Transport Engineering, AMMA, 2018
11. **Voinea, G. D.**, Gîrbacia, F. *Vision-Based System for Driver Posture Tracking to Prevent Musculoskeletal Disorders*. In 2020 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB), pp. 1-4, 2020 (indexată Web of Science și BDI SCOPUS).
12. **Voinea, G. D.**, Postelnicu, C. C., Duguleana, M., Mogan, G. L., Socianu, R. *Driving performance and technology acceptance evaluation in real traffic of a smartphone-based driver assistance system*. International journal of environmental research and public health, 17(19), 7098, 2020 (indexată Web of Science, **factor de impact 2,849**).

#### **Lucrări publicate în domenii conexe**

1. Gîrbacia, F., Butnariu, S., **Voinea, D.**, Tolea, B., Gîrbacia, T., Pîsla, D. *A Virtual Reality System for Pre-Planning of Robotic-Assisted Prostate Biopsy*. In Applied Mechanics and Materials, vol. 772, pp. 585-590, 2015, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.772.585
2. Corciova F., **Voinea, G.D.**, Marcu, A., Knezevic, I., Rackov, M. *Development and manufacturing of sensor cases for MEMS inertial measurement units*, Proceedings in Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering. The 9th International Symposium KOD Balatonfured Hungary, 2016.
3. Duguleana, M., **Voinea, G. D.** *Enhancing the Experience of Visiting Outdoor Heritage Sites Using Handheld AR*. In International Conference on Human-Computer Interaction, Springer, Cham., pp. 184-191, 2018.
4. Postelnicu, C., Gîrbacia, F., Machidon, O.M., **Voinea, G.D.** *Long Term Use Effects of a P300-Based Spelling Application*. In Augmented Cognition: Intelligent Technologies, Springer, 2018, DOI: 10.1007/978-3-319-91470-1\_15
5. **Voinea, G. D.**, Gîrbacia, F., Postelnicu, C. C., Marto, A. *Exploring Cultural Heritage Using Augmented Reality Through Google's Project Tango and ARCore*. In International Conference on VR Technologies in Cultural Heritage, Springer, Cham., pp. 93-106, 2018.
6. Postelnicu, C. C., Gîrbacia, F., **Voinea, G. D.**, Boboc, R. *Towards Hybrid Multimodal Brain Computer Interface for Robotic Arm Command*. In International Conference on Human-Computer Interaction, Springer, Cham., pp. 461-470, 2019.
7. Gîrbacia, F., Postelnicu, C., **Voinea, G. D.** *Towards Using Natural User Interfaces for Robotic Arm Manipulation*. In International Conference on Robotics in Alpe-Adria Danube Region, Springer, Cham., pp. 188-193, 2019.
8. Postelnicu, C., **Voinea, D.**, Gîrbacia, F. *Comparison of White/Gray Flicker Matrices for P300 Brain-Computer Interface*. In PERCEPTION (Vol. 48, pp. 43-43). 1 Olivers Yard, 55 City Road, London Ecl1 1sp, England: Sage Publications Ltd., 2019.
9. Carrozzino, M., **Voinea, G. D.**, Duguleana, M., Boboc, R. G., Bergamasco, M. *Comparing Innovative XR Systems in Cultural Heritage. a Case Study*. In ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4211, 373-378, 2019.
10. Boboc, R. G., Duguleană, M., **Voinea, G. D.**, Postelnicu, C. C., Popovici, D. M., Carrozzino, M. *Mobile Augmented Reality for Cultural Heritage: Following the Footsteps of Ovid among Different Locations in Europe*. In Sustainability, 11(4), 1167, 2019.
11. **Voinea, G. D.**, Boboc, R. G., Gîrbacia, F., Postelnicu, C. C. *Technology acceptance of a hybrid brain-computer interface for instruction manual browsing*. Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Learning, ICVL, 2019.
12. Boboc, R. G., Gîrbacia, F., Postelnicu, C. C., **Voinea, G. D.** *Usability assessment of a multimodal hybrid interface for robotic arm command*. Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Learning, ICVL, 2019.

### 6.3.2 PARTICIPĂRI LA CONFERINȚE

În perioada studiilor doctorale am participat, pentru susținerea lucrărilor științifice elaborate, la următoarele conferințe:

1. The 10-th International Conference on Aerospace, Robotics, Mechanical Engineering, Manufacturing Systems, Neurorehabilitation and Human Motricities (OPTIROB 2015), Mangalia, România, 27-30 iunie, 2015.
2. International Conference on Aerospace, Robotics, Mechanical Engineering, Manufacturing Systems, Neurorehabilitation and Human Motricities (ICMERA 2015), București, România, 29-31 Octombrie, 2015.
3. IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB2017), Sinaia, România, 22-24 iunie, 2017.
4. The 11th International Conference on E-Learning and Games (Edutainment 2017), Bournemouth, United Kingdom, 26-28 iunie, 2017.
5. ITN-DCH: Digital Heritage Conference 2017, Olimje, Slovenia, 23-25 mai, 2017.
6. 40th European Conference on Visual Perception (ECVP 2017), Berlin, Germania, 27-31 august, 2017.
7. 1st International Conference on VR Technologies in Cultural Heritage (VRTCH'18), Brașov, România, 29-30 mai, 2018.
8. 26th ENCATC Congress on Cultural Management and Policy, București, România, 27-28 septembrie, 2018.
9. Forumul Anul European al Patrimoniului Cultural. București, România, 28–29 noiembrie, 2018.
10. IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB2020); Iași (*web-conference*), România, 29-30 octombrie, 2020.

### 6.3.3 PARTICIPĂRI LA PROIECTE DE CERCETARE-DEZVOLTARE

În perioada elaborării tezei de doctorat am participat ca membru în cadrul a *cinci* proiecte de cercetare:

1. *SPINE - Sistem de diagnosticare și terapie a afecțiunilor coloanei vertebrale*, PN-II-PT-PCCA-2013-4-1596, nr. contract: 227/2014, 2014-2017.
2. *NAVIEYES - Intelligent car navigation assistant for mobile devices based on eye gaze tracking and head pose*, PN-II-PT-PCCA-2013-4-2023, nr. contract 240 din 01/07/2014, 2014-2017.
3. *eHERITAGE - Extinderea capacității de C&I în domeniul aplicațiilor de conservare a patrimoniului cultural cu ajutorul tehnologiilor de realitate virtuală*, H2020-TWINN-2015, 2015-2018, nr contract 692103.
4. *BRAINSPACE - Interacțiunea multimodală pentru aplicații spațiale bazate pe biopotențiale umane*, cod proiect: ROSA-566/2016.
5. *BISOLAR -Building Integrated Solar thermal collectors with solar selective coatings*, nr. proiect: 20/1996, PNCDI III.

### 6.4 DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Cercetările efectuate împreună cu rezultatele teoretice și experimentale obținute, precum și diseminarea acestora, au acoperit doar parțial problematicile evidențiate în urma concluziilor stadiului actual. Astfel, pentru continuarea studiilor elaborate în cadrul acestei teze de doctorat, se pun în evidență următoarele direcții de cercetare:



- Concepția și dezvoltarea unui sistem inteligent de urmărire a comportamentului conducătorului auto prin autoînvățare bazat pe procesarea imaginilor video considerând și alți factori de influență (lumină, vibrații, temperatură etc.). Prin urmare, cercetările viitoare ar trebui să se concentreze pe urmărirea corpului conducătorului auto prin integrarea unui iluminator infraroșu și algoritmi de machine learning pentru a obține rezultate corecte și consistente, indiferent de mediile de conducere și de trafic.
- Extinderea și evaluarea interacțiunii om-mașină prin utilizarea de alerte/avertismente vocale specifice în detrimentul stimulilor auditivi/vizuali, deseori, non-specifici.
- Studii privind integrarea de noi tipuri de senzori și dispozitive de calcul de ultimă generație pentru urmărirea comportamentului conducătorului auto.

## BIBLIOGRAFIE

- 1 [Alessandretti, 2014] Alessandretti, G., Amditis, A., Metzner, S., Johannson, E., Fahrenkrog, F. Deliverable D1.9 | *Final Report of the project interactIVe* (accident avoidance by active intervention for Intelligent Vehicles), 2014, Retrieved on 01.01.2019 from: [http://www.interactive-ip.eu/index.dhtml/docs/interactIVe\\_SP1\\_20140506v1.2-D19-Final\\_Report.pdf](http://www.interactive-ip.eu/index.dhtml/docs/interactIVe_SP1_20140506v1.2-D19-Final_Report.pdf)
- 2 [Andersson, 1975] Andersson, B. G., Örtengren, R., Nachemson, A. L., Elfström, G., & Broman, H. The sitting posture: an electromyographic and discometric study. *Orthopedic Clinics of North America*, 6(1), 105-120, 1975.
- 3 [Andersson, 1987] Andersson, G. B. J. Biomechanical aspects of sitting: An application to VDT terminals. *Behaviour & Information Technology*, 6(3), 257-269, 1987.
- 4 [Anwar Zawawi, 2013] Anwar Zawawi, M., O'Keffe, S., Lewis, E. Intensity-modulated fiber optic sensor for health monitoring applications: a comparative review. *Sensor Review*, 33(1), 57-67, 2013.
- 5 [Atombo, 2017] Atombo, C., Wu, C., Tettehfiio, E. O., Nyamuame, G. Y., Agbo, A. A. Safety and health perceptions in work-related transport activities in Ghanaian industries. *Safety and health at work*, 8(2), 175-182, 2017.
- 6 [Bachmann, 2003] Bachmann, E. R., Yun, X., & McGhee, R. B. Sourceless tracking of human posture using small inertial/magnetic sensors. In *Proceedings 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation. Computational Intelligence in Robotics and Automation for the New Millennium (Cat. No. 03EX694)*, Vol. 2, pp. 822-829, 2003.
- 7 [Baker, 2004] Baker, S., Matthews, I., Xiao, J., Gross, R., Kanade, T., shikawa, T. Real-time non-rigid driver head tracking for driver mental state estimation. In *11th World Congress on Intelligent Transportation Systems, 2004*.
- 8 [Bartlett, 2002] Bartlett, M. S., Movellan, J. R., & Sejnowski, T. J. Face recognition by independent component analysis. *IEEE Transactions on neural networks*, 13(6), 1450-1464, 2002.
- 9 [Baten, 2002] Baten, C. T. M. Ambulatory spinal curvature estimation applying 3D motionanalysis through inertial sensing for use in net spinal moment estimation. In *Seventh International Symposium on the 3-D Analysis of Human Movement*, Newcastle, 2002.
- 10 [Bengler, 2018] Bengler, K., Druke, J., Hoffmann, S., Manstetten, D., Neukum, A. UR: BAN Human Factors in Traffic. In *Approaches for Safe, Efficient and Stress-free Urban Traffic*. Springer Wiesbaden, Germany, 2018.
- 11 [Blanz, 1999] Blanz, V., Vetter, T. A morphable model for the synthesis of 3D faces. In *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 187-194, 1999.
- 12 [Borghi, 2017] Borghi, G., Venturelli, M., Vezzani, R., Cucchiara, R. Poseidon: Face-from-depth for driver pose estimation. In *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 5494-5503, 2017.
- 13 [Bowden, 2000] Bowden, R., Mitchell, T. A., Sarhadi, M. Non-linear statistical models for the 3D reconstruction of human pose and motion from monocular image sequences. *Image and Vision Computing*, 18(9), 729-737, 2000.
- 14 [Brigante, 2011] Brigante, C. M., Abbate, N., Basile, A., Faulisi, A. C., Sessa, S. Towards miniaturization of a MEMS-based wearable motion capture

- system. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(8), 3234-3241, 2011.
- 15 [Bubb, 2003] Bubb, H., Kluth, K., Rausch, H., Strasser, H. Quality of Work and Products in Enterprise of the Future. *Product Ergonomics. Ergonomia Verlag OHG, Stuttgart*, 36, 2003.
- 16 [Buonocunto, 2014] Buonocunto, P., Marinoni, M. Tracking limbs motion using a wireless network of inertial measurement units. In *Proceedings of the 9th IEEE International Symposium on Industrial Embedded Systems (SIES 2014)*, Pisa, Italy, 2014, pp. 66-76, 2014.
- 17 [Cheng, 2005] Cheng, S. Y., Park, S., Trivedi, M. M. Multiperspective thermal IR and video arrays for 3D body tracking and driver activity analysis. In *Computer Vision and Pattern Recognition-Workshops, 2005. CVPR Workshops. IEEE Computer Society Conference on* (pp. 3-3), 2005.
- 18 [Crundall, 2011] Crundall, D., Underwood, G. Visual attention while driving: measures of eye movements used in driving research. In *Handbook of traffic psychology*, pp. 137-148, 2011.
- 19 [Cuesta-Vargas,2010] Cuesta-Vargas, A. I., Galán-Mercant, A., Williams, J. M. The use of inertial sensors system for human motion analysis. *Physical Therapy Reviews*, 15(6), 462-473, 2010.
- 20 [Davis, 1989] Davis, F. D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly* 13 (3), 319-340, 1989, DOI:10.72307/249008.
- 21 [De Looze, 2003] De Looze, M. P., Kuijt-Evers, L. F., Van Dieen, J. A. A. P. Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures. *Ergonomics*, 46(10), 985-997, 2003.
- 22 [Diaz-Chito, 2016] Diaz-Chito, K., Hernández-Sabaté, A., López, A. M. A reduced feature set for driver head pose estimation. *Applied Soft Computing*, 45, 98-107, 2016.
- 23 [Duguleana, 2015] Duguleana, M., Girbacia, F., Postelnicu, C., Beraru, A., Mogan, G. Aspects Concerning the Calibration Procedure for a Dual Camera Smartphone Based ADAS. In *International Conference on Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions*, Springer, Cham., pp. 408-417, 2015.
- 24 [Dumitru, 2018] Dumitru, A. I., Girbacia, T., Boboc, R. G., Postelnicu, C. C., Mogan, G. L. Effects of smartphone based advanced driver assistance system on distracted driving behavior: A simulator study. *Computers in Human Behavior*, 83, 1-7, 2018.
- 25 [Elander, 1993] Elander, J., West, R., French, D. Behavioral correlates of individual differences in road-traffic crash risk: An examination of methods and findings. *Psychological bulletin*, 113(2), 279, 1993.
- 26 [Ellegast, 2009] Ellegast, R., Hermanns, I., Schiefer, C. Workload assessment in field using the ambulatory CUELA system. In *International Conference on Digital Human Modeling* (pp. 221-226). Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- 27 [El-Sayed, 2013] El-Sayed, R. S., El Kholy, A., & El-Nahas, M. Y. Robust facial expression recognition via sparse representation and multiple gabor filters. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 4(3), 2013.
- 28 [Fazeen, 2012] Fazeen, M., Gozick, B., Dantu, R., Bhukhiya, M., González, M. C. Safe driving using mobile phones. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(3), 1462-1468, 2012.
- 29 [Fishbein, 1975] Fishbein, M., Ajzen, I. Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research. A.-W. *Series in Soc. Psych*, ISBN-13: 978-0201020892, 1975.

- 30 [Fu, 2013] Fu, X., Guan, X., Peli, E., Liu, H., Luo, G. Automatic calibration method for driver's head orientation in natural driving environment. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(1), 303-312, 2013.
- 31 [Fuller, 1984] Fuller, R. A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance. *Ergonomics*, 27(11), 1139-1155, 1984.
- 32 [Gallagher, 2004] Gallagher, A., Matsuoka, Y., Ang, W. T. An efficient real-time human posture tracking algorithm using low-cost inertial and magnetic sensors. In *2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)(IEEE Cat. No. 04CH37566)*, Vol. 3, pp. 2967-2972, 2004.
- 33 [Gebre-Egziabher, 2000] Gebre-Egziabher, D., Elkaim, G. H., Powell, J. D., Parkinson, B. W. A gyro-free quaternion-based attitude determination system suitable for implementation using low cost sensors. In *IEEE 2000. Position Location and Navigation Symposium (Cat. No. 00CH37062)*, pp. 185-192, 2000.
- 34 [Ghazizadeh, 2012] Ghazizadeh, M., Peng, Y., Lee, J. D., & Boyle, L. N. Augmenting the technology acceptance model with trust: Commercial drivers' attitudes towards monitoring and feedback. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 56, no. 1, pp. 2286-2290, 2012.
- 35 [Goodvin, 2006] Goodvin, C., Park, E. J., Huang, K., Sakaki, K. Development of a real-time three-dimensional spinal motion measurement system for clinical practice. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 44(12), 1061-1075, 2006.
- 36 [Grigorescu, 2002] Grigorescu, S. E., Petkov, N., Kruizinga, P. Comparison of texture features based on Gabor filters. *IEEE Transactions on Image processing*, 11(10), 1160-1167, 2002.
- 37 [Gyi, 2013] Gyi, D. E. Driving posture and healthy design. *Automotive Ergonomics: Driver-Vehicle Interaction*, 123-132, 2013.
- 38 [Hagl, 2020] Hagl, M., & Kouabenan, D. R. Safe on the road—Does Advanced Driver-Assistance Systems Use affect Road Risk Perception?. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 73, 488-498, 2020.
- 39 [Hair Jr, 2010] Hair Jr, J. F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E. Multivariate data analysis. *Vectors*, 7th Edition, 2010.
- 40 [Hancock, 1988] Hancock, P. A. The effect of gender and time of day upon the subjective estimate of mental workload during the performance of a simple task. In *Advances in Psychology*, vol. 52, pp. 239-250, 1988.
- 41 [Hartung, 2006] Hartung, J. *Objektivierung des statischen Sitzkomforts auf Fahrzeugsitzen durch die Kontaktkräfte zwischen Mensch und Sitz*. Doctoral dissertation, Technische Universität München, 2006.
- 42 [Herriotts, 2012] Herriotts, P., & Johnson, P. Are you sitting comfortably? A guide to occupant packaging in automotive design. *Automot. Ergon. Drivervehicle Interact*, 17-39, 2012.
- 43 [Hinz, 2008] Hinz, B., Seidel, H., Hofmann, J., Menzel, G. The significance of using anthropometric parameters and postures of European drivers as a database for finite-element models when calculating spinal forces during whole-body vibration exposure. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(9-10), 816-843, 2008.
- 44 [Hörtl, 2013] Hörtl, A., & Trommer, S. Driver assistance systems for transport system efficiency: Influencing factors on user acceptance. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 17(3), 245-254, 2013.

- 45 [Ishibashi, 2007] Ishibashi, M., Okuwa, M., Doi, S. I., Akamatsu, M. Indices for characterizing driving style and their relevance to car following behavior. In *SICE, 2007 Annual Conference*, pp. 1132-1137, 2007.
- 46 [Iwamoto, 2002] Iwamoto, M., Kisanuki, Y., Watanabe, I., Furusu, K., Miki, K., Hasegawa, J. Development of a finite element model of the total human model for safety (THUMS) and application to injury reconstruction. In *Proceedings of the international IRCOBI Conference*, vol. 30, pp. 12, 2002.
- 47 [Jensen, 2008] Jensen, A., Kaerlev, L., Tüchsen, F., Hannerz, H., Dahl, S., Nielsen, P. S., Olsen, J. Locomotor diseases among male long-haul truck drivers and other professional drivers. *International archives of occupational and environmental health*, 81(7), 821-827, 2008.
- 48 [Kabara, 2005] J. Kabara. Class notes from TELECOM 2721, "Wireless Data Networks". Lecture number 5, 2005
- 49 [Kanarachos, 2018] Kanarachos, S., Christopoulos, S. R. G., Chronos, A. Smartphones as an integrated platform for monitoring driver behaviour: The role of sensor fusion and connectivity. *Transportation research part C: emerging technologies*, 95, 867-882, 2018.
- 50 [Kiefer, 2006] Kiefer, R. J., Flannagan, C. A., & Jerome, C. J. Time-to-collision judgments under realistic driving conditions. *Human factors*, 48(2), 334-345, 2006.
- 51 [Knapper, 2015] Knapper, A.S.; Hagenzieker, M.P.; Brookhuis, K.A. Do in-car devices affect experienced users' driving performance? *IATSS Res.*, 39, 72-78, 2015.
- 52 [Knight, 2005] Knight, J. F., & Baber, C. A tool to assess the comfort of wearable computers. *Human factors*, 47(1), 77-91, 2005.
- 53 [Kobayashi, 1988] Kobayashi, T. Human factors in driving. *International journal of vehicle design*, 9(4-5), 586-599, 1988.
- 54 [Kolitsi, 2007] Kolitsi, Z., Maria, F. C. U. Conference on "Personal Health Systems: Deployment opportunities and ICT research challenges", February 12-13, Brussels, European Commission, 2007.
- 55 [Kompier, 1996] Kompier, M. A. *Bus drivers: Occupational stress and stress prevention*. Geneva: International Labour Office, ISBN 92-2-110255-6, 1996.
- 56 [Kotsia, 2006] Kotsia, I., Pitas, I. Facial expression recognition in image sequences using geometric deformation features and support vector machines. *IEEE transactions on image processing*, 16(1), 172-187, 2006.
- 57 [Kuorinka, 1987] Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., Jørgensen, K. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied ergonomics*, 18(3), 233-237, 1987.
- 58 [Lajunen, 2011] Lajunen, T., Özkan, T. Self-report instruments and methods. In *Handbook of traffic psychology*, pp. 43-59, 2011.
- 59 [Le, 2014] Le, P., Rose, J., Knapik, G., Marras, W. S. Objective classification of vehicle seat discomfort. *Ergonomics*, 57(4), 536-544, 2014.
- 60 [Lee, 2002a] Lee, R. Measurement of movements of the lumbar spine. *Physiotherapy theory and practice*, 18(4), 159-164, 2002.
- 61 [Lee, 2003] Lee, R. Y., Laprade, J., Fung, E. H. A real-time gyroscopic system for three-dimensional measurement of lumbar spine motion. *Medical engineering & physics*, 25(10), 817-824, 2003.
- 62 [Lee, 2008] Lee, J. D. Fifty years of driving safety research. *Human Factors*, 50, 521-528, 2008.
- 63 [Lee, 2010] Lee, H., Chung, Y., Kim, J., & Park, D. Face image retrieval using sparse representation classifier with gabor-lbp histogram. In

- 64 [Lee, 2011b] Lee, S. J., Jo, J., Jung, H. G., Park, K. R., Kim, J. Real-time gaze estimator based on driver's head orientation for forward collision warning system. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(1), 254-267, 2011.
- 65 [Lee, 2012] Lee, B. G., Chung, W. Y. A smartphone-based driver safety monitoring system using data fusion. *Sensors*, 12(12), 17536-17552, 2012.
- 66 [Lehtonen, 2018] Lehtonen, E., Lappi, O., Koskiahde, N., Mansikka, T., Hietamäki, J., Summala, H. Gaze doesn't always lead steering. *Accident Analysis & Prevention*, 121, 268-278, 2018.
- 67 [Liang, 2012] Liang, Y., Lee, J. D., & Yekhshatyan, L. How dangerous is looking away from the road? Algorithms predict crash risk from glance patterns in naturalistic driving. *Human Factors*, 54(6), 1104-1116, 2012.
- 68 [Luinge, 2005] Luinge, H. J., Veltink, P. H. Measuring orientation of human body segments using miniature gyroscopes and accelerometers. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 43(2), 273-282, 2005.
- 69 [Ma, 2008] Ma, H. T., Yang, Z., Griffith, J. F., Leung, P. C., Lee, R. Y. A new method for determining lumbar spine motion using Bayesian belief network. *Medical & biological engineering & computing*, 46(4), 333-340, 2008.
- 70 [Măirean, 2017] Măirean, C., Havârneanu, G. M., Popușoi, S. A., Havarneanu, C. E. Traffic locus of control scale–Romanian version: psychometric properties and relations to the driver's personality, risk perception, and driving behavior. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 45, 131-146, 2017.
- 71 [Mannion, 2004] Mannion, A. F., Knecht, K., Balaban, G., Dvorak, J., Grob, D. A new skin-surface device for measuring the curvature and global and segmental ranges of motion of the spine: reliability of measurements and comparison with data reviewed from the literature. *European Spine Journal*, 13(2), 122-136, 2004.
- 72 [Mantouka, 2020] Mantouka, E., Barmponakis, E., Vlahogianni, E., & Golias, J. Smartphone sensing for understanding driving behavior: Current practice and challenges. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 2020.
- 73 [Marins, 2001] Marins, J. L., Yun, X., Bachmann, E. R., McGhee, R. B., Zyda, M. J. An extended Kalman filter for quaternion-based orientation estimation using MARG sensors. In *Proceedings 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Expanding the Societal Role of Robotics in the the Next Millennium (Cat. No. 01CH37180)*, vol. 4, pp. 2003-2011, 2001.
- 74 [Marshall, 2007] Marshall, D. C., Lee, J. D., Austria, P. A. Alerts for in-vehicle information systems: Annoyance, urgency, and appropriateness. *Human factors*, 49(1), 145-157, 2007.
- 75 [Martin, 2017] Martin, M., Stuehmer, S., Voit, M., Stiefelhagen, R. Real time driver body pose estimation for novel assistance systems. In *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2017 IEEE 20th International Conference on pp. 1-7*, 2017.
- 76 [Mayagoitia, 2002] Mayagoitia, R. E., Nene, A. V., Veltink, P. H. Accelerometer and rate gyroscope measurement of kinematics: an inexpensive alternative to optical motion analysis systems. *Journal of biomechanics*, 35(4), 537-542, 2002.

- 77 [McGhee, 2001] McGhee, R. B., Bachmann, E. R., Yun, X., Zyda, M. J. An investigation of alternative algorithms for singularity-free estimation of rigid body orientation from earth gravity and magnetic field measurements. *Naval Postgraduate School, Monterey, California, Tech. Rep.*, 2001.
- 78 [McGill, 1992] McGill, S. M., Brown, S. Creep response of the lumbar spine to prolonged full flexion. *Clinical Biomechanics*, 7(1), 43-46, 1992.
- 79 [Meshram, 2015] Meshram, P., Auti, N., Agrawal, H. Monitoring Driver Head Postures to Control Risks of Accidents. *Procedia Computer Science*, 50, 617-622, 2015.
- 80 [Monnier, 2009] Monnier, G., Wang, X., Trasbot, J. A motion simulation tool for automotive interior design. *Handbook of Digital Human Modeling: Research for Applied Ergonomics and Human Factors Engineering*, 2009.
- 81 [Murphey, 2009] Murphey, Y. L., Milton, R., Kiliaris, L. Driver's style classification using jerk analysis. In *Computational Intelligence in Vehicles and Vehicular Systems, 2009. CIVVS'09*. pp. 23-28, 2009.
- 82 [Murphy-Chutorian, 2010] Murphy-Chutorian, E., Trivedi, M. M. Head pose estimation and augmented reality tracking: An integrated system and evaluation for monitoring driver awareness. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 11(2), 300-311, 2010.
- 83 [Newnam, 2002] Newnam, S. A., Watson, B. C., Murray, W. A comparison of the factors influencing the safety of work-related drivers in work and personal vehicles. In *2002 Road Safety Research, Policing and Education Conference*, Adelaide, Australia, pp. 179-186, 2002.
- 84 [Oliveira, 2010] Oliveira, L., Mansano, M., Koerich, A., de Souza Britto, A. 2D principal component analysis for face and facial-expression recognition. *Computing in Science & Engineering*, 13(3), 9-13, 2010.
- 85 [Onken, 1994] Onken, R. DAISY, an adaptive, knowledge-based driver monitoring and warning system. In *Proceedings of the Intelligent Vehicles' 94 Symposium*, pp. 544-549, 1994.
- 86 [Öz, 2013] Öz, B., Özkan, T., Lajunen, T. An investigation of professional drivers: Organizational safety climate, driver behaviours and performance. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 16, 81-91, 2013.
- 87 [Patel, 2012] Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L., Rodgers, M. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 9(1), 21, 2012.
- 88 [Plamondon, 2007] Plamondon, A., Delisle, A., Larue, C., Brouillette, D., McFadden, D., Desjardins, P., Larivière, C. Evaluation of a hybrid system for three-dimensional measurement of trunk posture in motion. *Applied Ergonomics*, 38(6), 697-712, 2007.
- 89 [Pope, 2002] Pope, M. H., Goh, K. L., Magnusson, M. L. Spine ergonomics. *Annual review of biomedical engineering*, 4(1), 49-68, 2002.
- 90 [Rahman, 2017] Rahman, M. M., Lesch, M. F., Horrey, W. J., Strawderman, L. Assessing the utility of TAM, TPB, and UTAUT for advanced driver assistance systems. *Accident Analysis & Prevention*, 108, 361-373, 2017.
- 91 [Ranavolo, 2013] Ranavolo, A., Don, R., Draicchio, F., Bartolo, M., Serrao, M., Padua, L., Sandrini, G. Modelling the spine as a deformable body: Feasibility of reconstruction using an optoelectronic system. *Applied Ergonomics*, 44(2), 192-199, 2013.
- 92 [Reese, 2008] Reese, C. D. *Industrial safety and health for infrastructure services*. CRC Press, 2008.

- 93 [Roetenberg, 2003] Roetenberg, D., Luinge, H., & Veltink, P. Inertial and magnetic sensing of human movement near ferromagnetic materials. In *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings.*, pp. 268-269, 2003.
- 94 [Roetenberg, 2005] Roetenberg, D., Luinge, H. J., Baten, C. T., Veltink, P. H. Compensation of magnetic disturbances improves inertial and magnetic sensing of human body segment orientation. *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 13(3), 395-405, 2005.
- 95 [Roetenberg, 2006] Roetenberg, D. *Inertial and magnetic sensing of human motion*. PhD. Thesis. *University of Twente*, 2006, Retrieved from: [https://nit.felk.cvut.cz/~dark/Petr/Jirka5/Pohyb/Prace/thesis\\_Roetenberg.pdf](https://nit.felk.cvut.cz/~dark/Petr/Jirka5/Pohyb/Prace/thesis_Roetenberg.pdf).
- 96 [Sagberg, 2015] Sagberg, F., Selpi, Bianchi Piccinini, G. F., Engström, J. A review of research on driving styles and road safety. *Human factors*, 57(7), 1248-1275, 2015.
- 97 [Schmid, 2016] Schmid, S., Studer, D., Hasler, C. C., Romkes, J., Taylor, W. R., Lorenzetti, S., Brunner, R. Quantifying spinal gait kinematics using an enhanced optical motion capture approach in adolescent idiopathic scoliosis. *Gait & posture*, 44, 231-237, 2016.
- 98 [Sebe, 2007] Sebe, N., Lew, M. S., Sun, Y., Cohen, I., Gevers, T., Huang, T. S. Authentic facial expression analysis. *Image and Vision Computing*, 25(12), 1856-1863, 2007.
- 99 [Senechal, 2012] Senechal, T., Rapp, V., Salam, H., Segquier, R., Bailly, K., Prevost, L. Facial action recognition combining heterogeneous features via multikernel learning. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 42(4), 993-1005, 2012.
- 100 [Senthanaar, 2018] Senthanaar, S., & Bigelow, P. L. Factors associated with musculoskeletal pain and discomfort among Canadian truck drivers: A cross-sectional study of worker perspectives. *Journal of Transport & Health*, 244-252, 2018.
- 101 [Simancek, 2012] Simancek, J. *Deep Tissue Massage Treatment-E-Book: A Handbook of Neuromuscular Therapy*. Elsevier Health Sciences, 2012.
- 102 [Theobald, 2011] Theobald, P. S., Jones, M. D., Williams, J. M. Do inertial sensors represent a viable method to reliably measure cervical spine range of motion?. *Manual therapy*, 17(1), 92-96, 2012.
- 103 [Toth-Taşcău, 2011] Toth-Taşcău, C., Săftescu-Jescu, M., Bugariu, D., Paşca, O., "Variation of posturographic parameters during lumbar spine movements", *Proceedings of the 3rd International Conference on E-Health and Bioengineering*, EHB 2011, pp. 1-4, 2011.
- 104 [Troup, 1978] Troup, J. D. G. Driver's back pain and its prevention: A review of the postural, vibratory and muscular factors, together with the problem of transmitted road-shock. *Applied Ergonomics*, 9(4), 207-214, 1978.
- 105 [Useche, 2018] Useche, S. A., Cendales, B., Montoro, L., Esteban, C. Work stress and health problems of professional drivers: a hazardous formula for their safety outcomes. *PeerJ*, 6, e6249, 2018, DOI:10.7717/peerj.6249.
- 106 [Utriainen, 2003] Utriainen, S., Dahlman, S., Osvalder, A. L. Sitting behaviour of truck drivers during long-haul driving—A study of sitting posture and discomfort. In *Proceedings of the 35th NES Conference*, pp. 10-13, 2003.
- 107 [Valstar, 2012] Valstar, M. F., Mehu, M., Jiang, B., Pantic, M., Scherer, K. Meta-analysis of the first facial expression recognition challenge. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 42(4), 966-979, 2012.



- 108 [Van Acht, 2007] Van Acht, V., Bongers, E., Lambert, N., Verberne, R. Miniature wireless inertial sensor for measuring human motions. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE*, pp. 6278-6281, 2007.
- 109 [Várhelyi, 2015] Várhelyi, A., Kaufmann, C., & Persson, A. User-related assessment of a Driver Assistance System for Continuous Support—A field trial. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 30, 128-144, 2015.
- 110 [Veltink, 2003] Veltink, P. H., Slycke, P., Hemssems, J., Buschman, R., Bultstra, G., Hermens, H. Three dimensional inertial sensing of foot movements for automatic tuning of a two-channel implantable drop-foot stimulator. *Medical engineering & physics*, 25(1), 21-28, 2003.
- 111 [Verver, 2005] Verver, M. M., De Lange, R., van Hoof, J. F. A. M., Wismans, J. S. Aspects of seat modelling for seating comfort analysis. *Applied Ergonomics*, 36(1), 33-42, 2005.
- 112 [Vicente, 2015] Vicente, F., Huang, Z., Xiong, X., De la Torre, F., Zhang, W., Levi, D. Driver gaze tracking and eyes off the road detection system. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(4), 2014-2027, 2015.
- 113 [Vink, 2007] Vink, P., Van Eijk, D. J. The effect of a participative product design process on user performance. *Safety science*, 45(5), 567-577, 2007.
- 114 [Vogel, 2003] Vogel, K. A comparison of headway and time to collision as safety indicators. *Accident analysis & prevention*, 35(3), 427-433, 2003.
- 115 [Voinea, 2015a] Voinea, G. D., Butnariu, S. Design of a Scoliosis Monitoring System Using Inertial Sensors. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 772, pp. 597-602, 2015.
- 116 [Voinea, 2015b] Voinea, G. D., G. Mogan. Development of a Wearable Scoliosis Monitoring System Using Inertial Sensors. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 811, pp. 353-358, 2015.
- 117 [Voinea, 2016] Voinea, G. D., Postelnicu, C., Butnariu, S. Challenges Involved in the Design of an e-Health Application for a Wearable Scoliosis Monitoring System. In *Volume 618 of the Communications in Computer and Information Science series Springer*, 2016 DOI: 10.1007/978-3-319-40542-1\_56.
- 118 [Voinea, 2017a] Voinea, G. D., Butnariu, S., Mogan, G. Measurement and geometric modelling of human spine posture for medical rehabilitation purposes using a wearable monitoring system based on inertial sensors. *Sensors*, 17(1), 3, 2017.
- 119 [Voinea, 2017b] Voinea, G. D., Butnariu, S. Wearability assessment of an equipment for spine posture monitoring. In *2017 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*, pp. 25-28, 2017.
- 120 [Voinea, 2020a] Voinea, G. D., Girbacia, F. Vision-Based System for Driver Posture Tracking to Prevent Musculoskeletal Disorders. In *2020 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB)* (pp. 1-4). IEEE, 2020.
- 121 [Voinea, 2020b] Voinea, G. D., Postelnicu, C. C., Duguleana, M., Mogan, G. L., & Socianu, R. Driving performance and technology acceptance evaluation in real traffic of a smartphone-based driver assistance system. *International journal of environmental research and public health*, 17(19), 7098, 2020.
- 122 [Williamson, 2001] Williamson, R., Andrews, B. J. Detecting absolute human knee angle and angular velocity using accelerometers and rate gyroscopes. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 39(3), 294-302, 2001.

- 123 [Winkler, 2016] Winkler, S., Werneke, J., Vollrath, M. Timing of early warning stages in a multi stage collision warning system: Drivers' evaluation depending on situational influences. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 36, 57-68, 2016.
- 124 [Wunderlich, 2011] Wunderlich, M., R  ther, T., Essfeld, D., Erren, T. C., Piekarski, C., Leyk, D. A new approach to assess movements and isometric postures of spine and trunk at the workplace. *European Spine Journal*, August 2011, Volume 20, Issue 8, pp 1393-1402, 2011.
- 125 [Yang, 2005] Yang, Z., Griffith, J.F., Leung, P.C., Pope, M., Sun, L.W., Lee, R. The accuracy of surface measurement for motion analysis of osteoporotic thoracolumbar spine", *Proceedings of the 27th Annual Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, EMBS 2005, pp. 6871-4, 2005.
- 126 [Yang, 2007] Yang, H. D., Lee, S. W. Reconstruction of 3D human body pose from stereo image sequences based on top-down learning. *Pattern Recognition*, 40(11), 3120-3131, 2007.
- 127 [Zaharia, 2005] Zaharia, L. Sisteme de m  surare computerizate pentru achiziția de date. Suport de curs. *Departamentul de Știința Materialelor*, Iași, 2005.
- 128 [Zhang, 1996] Zhang, L., Helander, M. G., Drury, C. G. Identifying factors of comfort and discomfort in sitting. *Human factors*, 38(3), 377-389, 1996.
- 129 [Zhang, 2018] Zhang, T., Hajiseyedjavadi, F., Wang, Y., Samuel, S., Qu, X., Fisher, D. Training interventions are only effective on careful drivers, not careless drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 693-707, 2018.
- 130 [Zhao, 2012] Zhao, X., & Zhang, S. Facial expression recognition using local binary patterns and discriminant kernel locally linear embedding. *EURASIP journal on Advances in signal processing*, 2012(1), 20, 2012.
- 131 [Zheng, 2015] Zheng, R., Nakano, K., Ishiko, H., Hagita, K., Kihira, M., Yokozeki, T. Eye-gaze tracking analysis of driver behavior while interacting with navigation systems in an urban area. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 46(4), 546-556, 2015.
- 132 [www1] <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20190410IPR37528/parliament-approves-eu-rules-requiring-life-saving-technologies-in-vehicles>, accesat la 10.06.2021.
- 133 [www2] [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf), accesat la 10.06.2021.
- 134 [www3] <https://www.europarl.europa.eu/news/ro/headlines/society/20190410STO36615/statistici-privind-decesele-cauzate-de-accidente-rutiere-in-ue-infografic>, accesat la 10.06.2021.
- 135 [www4] [https://legestart.ro/wp-content/uploads/2013/04/3\\_12-Anexa.pdf](https://legestart.ro/wp-content/uploads/2013/04/3_12-Anexa.pdf), accesat la 10.06.2021.
- 136 [www5] [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/road\\_safety\\_citizen/road\\_safety\\_citizen\\_100924\\_ro.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/road_safety_citizen/road_safety_citizen_100924_ro.pdf), accesat la 10.06.2021.
- 137 [www6] <https://osha.europa.eu/ro/themes/work-related-diseases>, accesat la 10.06.2021.
- 138 [www7] <http://www.merriam-webster.com/dictionary/sensor>, accesat la 10.06.2021.
- 139 [www8] <https://smarteye.se/>, accesat la 10.06.2021.
- 140 [www9] <https://developer.android.com/guide/components/activities/activity-lifecycle>, accesat la 10.06.2021.

## Bibliografie

---

- 141 [www10] [https://ro.wikipedia.org/wiki/Coloan%C3%A2\\_vertebra%C5%9C%C4%82](https://ro.wikipedia.org/wiki/Coloan%C3%A2_vertebra%C5%9C%C4%82), accesat la 10.06.2021.
- 142 [www11] <https://www.3ds.com/products-services/catia/>, accesat la 10.06.2021.
- 143 [www12] [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/topics/behaviour/distractio\\_n\\_ro](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/topics/behaviour/distractio_n_ro), accesat la 10.06.2021.
- 144 [www13] <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/tca9548a.pdf>, accesat la 10.06.2021.
- 145 [www14] [https://about.att.com/story/smartphone\\_use\\_while\\_driving\\_grows\\_beyond\\_texting.html](https://about.att.com/story/smartphone_use_while_driving_grows_beyond_texting.html), accesat la 10.06.2021.
- 146 [www15] <https://developers.google.com/vision/face-detection-concepts>, accesat la 10.06.2021.
- 147 [www16] [http://www.physics.pub.ro/Referate/Prelucrarea\\_datelor\\_experimentale.pdf](http://www.physics.pub.ro/Referate/Prelucrarea_datelor_experimentale.pdf), accesat la 10.06.2021.
- 148 [www17] [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/kinect/dn758445\(v=ieb.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/kinect/dn758445(v=ieb.10)) , accesat la 10.06.2021.

## REZUMAT

Prezenta teză de doctorat *Contribuții privind sistemele de monitorizare a posturilor trunchiului și capului conducătorului auto supervizate de telefoane mobile inteligente* are ca obiectiv îmbunătățirea siguranței și confortului la volan. Astfel, au fost efectuate cercetări cu privire la studiul, concepția, dezvoltarea, implementarea și testarea unui sistem de monitorizare a posturilor trunchiului și capului conducătorului auto, prin analizarea simultană a mediului de navigare, implementabil pe dispozitive mobile (telefoane inteligente sau tablete). Acest sistem este bazat pe o metodă hibridă de urmărire a mișcărilor trunchiului și capului folosind senzori inerțiali și, respectiv, camerele video ale telefonului inteligent. Au fost dezvoltati și implementati algoritmi matematici ce permit identificarea unui număr mare de posturi posibile care pot fi atinse de conducătorul auto în timpul procesului de conducere. Algoritmii au fost programați în subsisteme hardware, a căror funcționalitate a fost validată prin efectuarea de experimente în medii virtuale, urmate de studii și teste în medii reale care au confirmat utilitatea și eficiența sistemului în detectarea posturilor corporale necorespunzătoare la volan în raport cu scenele de trafic ale mediului de navigare. Principalele rezultate obținute în urma studiilor din mediul real constă în adoptarea de către participanți a unui stil de conducere defensiv, precum și determinarea factorilor comportamentali care influențează decizia acestora de a utiliza tehnologia propusă, și anume atitudinea și utilitatea percepută. În plus, s-a evidențiat necesitatea ca un sistem să fie confortabil în utilizare, iar interfața cu utilizatorul să fie intuitivă, flexibilă și ușor de folosit. Sistemul dezvoltat în cadrul acestei lucrări este accesibil, portabil, cu un cost scăzut și potențial ridicat de utilizare deoarece este integrat pe dispozitive mobile inteligente.

## ABSTRACT

The present research *Contributions to monitoring driver's torso and head posture via systems supervised by smartphones* aims to improve safety and comfort behind the wheel. To achieve this goal, the research was focused on the study, design, development, implementation and testing of a system for monitoring the positions of the torso and head of the driver, by simultaneously analyzing the road environment, via mobile devices (smartphones or tablets). This system is based on a hybrid method of tracking the movements of the torso and head using inertial sensors and the video cameras of the smartphone, respectively. Mathematical algorithms have been developed and implemented that allow the identification of a large number of possible postures that can be achieved by the driver during the driving process. The algorithms were programmed in hardware subsystems, whose functionalities were validated by performing experiments in virtual environments, followed by studies and tests in real environments that confirmed the usefulness and efficiency of the system in detecting inappropriate body positions behind the wheel in relation to the traffic scene. The main results obtained from the studies in the real environment consist in the adoption by the participants of a defensive driving style, as well as revealing the behavioral factors that influence the participants' decision to use the proposed technology, namely the attitude and perceived usefulness. Furthermore, the need for a system to be comfortable to use and for the user interface to be intuitive, flexible and easy to use, was highlighted. The developed system presented in this paper is accessible, portable, low cost and with high adoption potential because it is integrated in smart mobile devices.