



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2021 00362**

(22) Data de depozit: **24/06/2021**

(41) Data publicării cererii:
29/11/2021 BOPI nr. **11/2021**

(71) Solicitant:
• **BIOMA DELLY TRADING S.R.L.**,
*STR. VIITORULUI, NR.2, SAT CĂLDĂRARU,
COMUNA CERNICA, IF, RO*

(72) Inventatori:
• **DUMITRESCU CĂTĂLIN**,
*STR. SF. MARIA, NR.1, BL.10 A4, SC.A,
ET.6, AP.39, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B,
RO;*

• **COSTEA ILONA**, *STR. MĂRGELELOR,
NR.104-110, BL.N34, SC.2, AP.13,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;*
• **BĂNICĂ LUIZA**, *STR. BLÂNDEȘTI,
NR.24C, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO*

*Această publicație include și modificările descrierii,
revendicărilor și desenelor depuse conform art. 35 alin.
(20) din HG nr. 547/2008*

(54) **SISTEM MULTI-SENZOR PENTRU ESTIMAREA STĂRII
DE OBOSEALĂ, SOMNOLENȚĂ ȘI A NIVELULUI DE STRES
CU APLICABILITATE ÎN INFRASTRUCTURILE CRITICE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în infrastructurile critice. Sistemul, conform invenției, este compus dintr-o rețea multi-senzori biomedicali (**EEG**, **ECG**) și electro-optici în spectrul vizibil și kinetic pentru detecția stărilor cognitive, și dintr-un sistem informațional pentru realizarea prelucrării informațiilor de la senzori și realizarea calculului utilizând un calculator portabil cu procesoare grafice, în care senzorul ECG este neinvaziv și realizează achiziția undelor cardiologice de la distanță, fiind bazat pe efectul Doppler transmis de către un emițător în domeniul microundelor cu putere mică de emisie.

Revendicări inițiale: 11
Revendicări amendate: 9
Figuri: 3

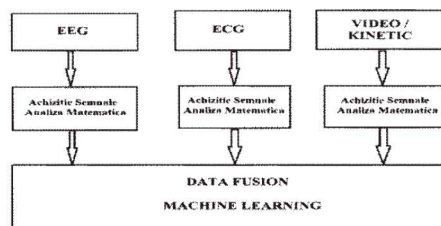


Fig. 1



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr.	a 2021 0362
Data depozit	24-06-2021

24

Sistem multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în infrastructurile critice

Invenția se referă la o metodă și un sistem hardware multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolența și a nivelului de stres a pilotilor de aeronave, conducătorilor de vehicule și personalului din infrastructurile critice, bazat pe analiza densității spectrului de putere (PSD) al electroencefalogrammei (EEG) și corelarea cu ritmul cardiac (ECG), respirator și analiza microexpresiilor faciale.

Prezenta cerere de brevet, conform invenției realizează un produs inovativ în domeniul Infrastructuri și Servicii Critice (creșterea rezilienței și reducerii vulnerabilității sistemelor „SMART-GRID”; protecția sistemelor de control industrial; securitatea informatică a infrastructurilor și serviciilor critice; sistemele de inteligență).

Rezultatul invenției reprezintă un produs de monitorizare, analiză și diagnostic prin care se realizează creșterea securității în domeniul Infrastructurilor Critice și a serviciilor aferente acestora.

Ținând cont de cerințele pieței, de reglementările legislative privind securitatea în aceste domenii, dar și pentru monitorizarea și testarea continuă a subiecților, produsul dezvoltat conform invenției este un produs inovativ care își propune să asigure o testare complexă și completă privind starea de oboseală, somnolență și nivelul de stres pentru personalul din domeniul transportului aerian, rutier, feroviar de marfuri și persoane, dar și pentru personalul implicat în desfășurarea activităților din domeniul Infrastructurilor Critice.

Astfel, problema testărilor psihologice în cazul piloților a fost adusă în actualitate după incidentul produs de pilotul Andreas Lubitz de la Germanwings, care a prăbușit intenționat aeronava provocând decesul a 150 de persoane. Anchetatorii au demonstrat existența unor teste efectuate la nivelul anului 2009 însă de atunci nu au mai fost efectuate teste care să poată evalua starea de sănătate mentală a pilotului.

De asemenea, în domeniul transportului rutier, rata incidentelor atât cu pierderi de vieți omenești cât și cu daune materiale considerabile sunt într-o linie ascendentă. În clasamentul European, conform statisticilor, România se află pe locul 2 cu o rată de 91 de persoane decedate la un milion de locuitori, fiind surclasată de Letonia cu o rată de 106 persoane pe un milion de locuitori.

Luând în considerare numărul tot mai mare de accidente de circulație, în ultimii ani această problemă a devenit o preocupare serioasă pentru societate. Principala cauză a acestora este reprezentată de conducerea în stare de oboseală și stres, factori perturbatori, care au o rată ridicată de mortalitate. Aceasta se datorează scăderii abilităților de percepție, de recunoaștere și de control, necesare conducătorilor din domeniul aerian, feroviar și rutier.

Cercetătorii au înregistrat primele schimbări majore în structura psihico-fiziologică a populației active, la un an după apariția crizei, susținând că aceste schimbări au apărut odată cu creșterea nivelului de oboseală, stres, a orelor de muncă, dar și abordarea unui regim de viață necorespunzător.

În prezent, la nivel internațional există o piață în formare datorită presiunii legislative privind securitatea în trafic. De exemplu, Statele Unite ale Americii, Germania și Japonia au proiectat

soluții care constau în atenționarea conducătorilor de vehicule care adorm la volan, prin vibrații sau alarme sonore. Cu toate acestea, niciuna dintre ele nu este completă și flexibilă.

Prevenirea accidentelor, necesită utilizarea unor algoritmi performanți pentru detectarea în mod continuu, estimarea și predicția nivelului de atenție/concentrare a conducătorilor de vehicule.

În România, conducătorii autovehiculelor de transport, marfă și călători, ca și în alte domenii sunt obligați periodic sau la cerere să efectueze controale medicale (medicina muncii) și psihologice (examen pentru siguranța transporturilor), cu toate acestea nu există un produs sau serviciu care să monitorizeze starea acestora pe durata desfășurării activității lor. Pe plan național nu există, la ora actuală, un sistem de o asemenea anvergură care, conform invenției, să utilizeze, pentru colectarea datelor EEG și ECG, senzori ce nu implică contact fizic, față de sistemul capacitiv utilizat în prezent. Pe plan internațional, principala problemă a acestor sisteme o reprezintă nivelul de flexibilitate al soluțiilor.

Caracteristica remarcabilă a metodelor tradiționale este extragerea artificială a caracteristicilor semnalelor biomedicale. Metoda tradițională de extragere a caracteristicilor obiectelor în imagini pentru deteminarea epresiilor și microexpresiilor faciale, sunt extragerea nivelului de gri, raportul de contrast, textura, forma și relația spațială prin metoda histogramei orientate pe gradientului (HOG), model binar local (LBP), transformarea caracteristicii invariante la scară (SIFT) și funcția Haar (Haar), pentru a distinge elementele de interes ale obiectelor din imagini. Rezultatele acestor metode de extragere inovative ale caracteristicilor semnalelor biomedicale de tip EEG și ECG au fost dezvoltate și publicate în articole științifice internaționale de către autorii prezentei soluții tehnice propusă de către această invenție în [1-14].

Obiectivele soluției tehnice rezolvate de către această invenție sunt:

- Principalul obiectiv al invenției îl constituie estimarea cu precizie cantitativă a performanței de pilotare a aeronavelor, conducere a vehiculelor și a nivelului de stres al personalului din Infrastructuri Critice, într-un simulator 3D utilizând sistemul multi-senzor propus prin invenție;
- Extinderea sistemului prin introducerea componentelor de analiză a mișcării utilizând un senzor de tip kinetic și analiza expresiei faciale (emoționale) preluate din imagini video;
- Utilizarea în cadrul sistemului a senzorilor cu contact fizic pentru analiza EEG/ECG, dar și a senzorilor fără contact fizic pentru analiza EEG/ECG;
- Corelarea datelor preluate de sistemul de senzori (EEG/ECG) cu ritmul respirator, cu senzorul de tip kinetic și cu analiza expresiei faciale (emoționale), pentru îmbunătățirea performanțelor întregului sistem și reducerea erorilor apărute în estimarea stărilor de oboseală, somnolență și a nivelului de stres.

Problema tehnică rezolvată de invenție constă în achiziția, prelucrarea, analiza, fuzionarea datelor, predicția și clasificarea simultană a informațiilor colectate de la senzorii EEG, ECG, senzor Kinetic și cameră video, utilizându-se un sistem senzorial de tip casca (contact fix) sau capacitiv (fără contact fix).

Invenția rezolvă această problemă tehnică prin aceea că asigură culegerea de informații privind estimarea stării de oboseală, somnolență și nivelul de stres pentru personalul care lucrează în Infrastructuri Critice, prin utilizarea unui sistem tehnic multi-senzorial compus din senzori EEG,

ECG, Kinetic și camera video, iar analiza, clasificarea și predicția se realizează pe un calculator portabil.

Metoda, conform invenției, propune un nou sistem de senzori EEG, ECG care nu implică contact fizic. Cu ajutorul acestui sistem de monitorizare, analiza și diagnoză, conform invenției se realizează creșterea securității în domeniul Infrastructurilor Critice și a serviciilor aferente acestora.

Sistemul pentru detecția și predicția stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres, bazat pe detecția simultană a semnalelor biomedicale EEG și ECG, corelate cu detecția microexpresiilor faciale din imagini utilizând camere video și senzor kinetic și algoritmi performanți de Inteligență Artificială, conform invenției, este caracterizat prin faptul că este compus dintr-un sistem multi-senzor fără contact fizic cu subiectul și calculator portabil, sistemul fiind capabil să detecteze și să clasifice stările emoționale descoperite, aceste informații fiind fuzionate simultan pentru analiza și predicția ulterioară a acestora constând în:

- Determinarea stării de oboseală și somnolență, bazată pe analiza semnalelor biomedicale și pe un algoritm dezvoltat în cadrul invenției care realizează corelarea acestora cu extragerea microexpresiilor faciale din imaginii de tip Regiune de Interes;
- Predicția nivelului de stres prin corelarea semnalelor EEG cu diferite categorii de activități desfășurate de către personalul care lucrează în Infrastructuri Critice, în vederea remedierii acestuia de către personalul specializat.

Metoda folosește algoritmi de analiză a biosemnalelor bazați pe descompuneri multirezoluție wavelet și analiză statistică de tip exponent Hurst și extragerea microexpresiilor faciale pe baza algoritmului LPB (Local Binary Pattern), algoritmi pentru determinarea nivelului de stres pe baza determinării Regiunii de Interes și algoritmi Deep Learning de tip CNN și RNN (rețele neuronale convoluționale și rețele neuronale recurente).

Algoritmii utilizați în această invenție pot clasifica și predicționa apariția stării de oboseală, somnolența și nivelul de stres, astfel încât să se reducă la maximum fatalitatea și minimizarea riscurilor care sunt generate de aceste stări cognitive.

Sistemul propus în invenție este alcătuit dintr-un sistem informational compus din sistemul decizional, care are în componență un sistem multi-senzor EEG, ECG, camera video și kinetic, sistemul informatic care realizează achiziția, prelucrarea și clasificarea datelor și sistemul operational de feedback, conform Figurilor 1, 2 și 3, astfel încât să se realizeze predicția nivelului de oboseală, somnolență și de stres.

Conform invenției, sistemul informational are componenta principală formată din sistemul informatic (Figura 1), alcătuită din următoarele module funcționale:

- un modul de achiziție și prelucrare a informațiilor EEG obținute de la senzorul de detecție, care este de tip neinvaziv, fără contact și care poate achiziționa undele cerebrale de o distanță de 10 cm;

- un modul de achiziție și prelucrare a informațiilor ECG obținute de la senzorul de detecție, care este de tip neinvaziv, fără contact și care poate achiziționa semnalele cardiologice de la distanță;
- să înregistreze (stocare) aceste informații precum și informații rezultate din prelucrarea lor;
- un modul de prelucrare a imaginilor pentru determinarea stării emoționale care utilizează analiză multirezoluție wavelet și algortimul LBP;
- un modul care asigură accesul la informațiile de microexpresii faciale provenite de la senzorul kinetic;
- un modul de clasificare a stărilor emoționale și de calculare a predicțiile utilizând rețele neuronale convoluționale și recurente (CNN / RNN).
- un modul de analiză software pentru identificarea și analiza predicțiilor privind stările emoționale și cognitive bazat pe fuzionarea datelor.

Avantajele invenției sunt:

- se bazează pe utilizare unei baze de antrenare care înglobează stările emoționale și cognitive care sunt generate de către semnalele fiziologice EEG, ECG și a imaginilor obținute, pe baza căreia se poate realiza clasificarea și predicția.
- modularitatea și portabilitatea sistemului propus prin invenție.
- achiziția undelor cerebrale (EEG) se realizează, conform invenției, cu ajutorul unui senzor proprietar neinvaziv și fără contact, care poate fi montat în tetiera unui scaun.
- achiziția semnalelor ECG se realizează, conform invenției, cu ajutorul unui senzor proprietar neinvaziv și fără contact, care se bazează pe efectul Doppler.
- modelul de clasificare și predicție utilizează o configurație inovativă de rețele neuronale convoluționale și recurente îmbinate într-o structură de tip grid (rețea neuronală de tip grid) cu aplicabilitate în clasificarea stărilor emoționale din imagini obținute de la camera video și senzorul kinetic.
- modulul de analiză a pattern-urilor cognitive din undele cerebrale se realizează conform invenției prin algoritmi inovativi compuși dintr-o combinare a descompunerilor wavelet cu exponentul Hurst.
- analiza simultană a imaginilor și a semnalelor fiziologice obținute de la senzorii video, kinetic și EEG / ECG.
- calculele matematice se realizează cu un calculator portabil (laptop cu procesor GPU).
- soluția propusă conform invenției ajută la determinarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres pentru personalul care lucrează în Infrastructuri Critice și transporturi (aeriene, rutiere, feroviare și navale) reducând riscurile de accidente.
- soluția propusă conform invenției nu are impact asupra mediului.

Invenția este prezentată pe larg în continuare în concordanță și cu figurile 1- 3, care reprezintă:

- Figura 1: *Arhitectura generală a sistemului multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în Infrastructurile Critice și Transporturi conform invenție.*
- Figura 2: *Arhitectura aplicației de amprentare a creierului utilizând semnalele EEG din cadrul sistemului multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în Infrastructurile Critice și Transporturi conform invenție.*
- Figura 3: *Arhitectura aplicației de extragere și analiză a elementelor QRS din semnalul cardiologic ECG din cadrul sistemului multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în Infrastructurile Critice și Transporturi conform invenție.*

Prezentarea soluției tehnice

Sistemul conform invenției, de culegere, analiză, clasificare și predicție a stărilor de oboseală, somnolență și a nivelului de stres, se caracterizează prin aceea că este compus dintr-un sistem informațional care cuprinde o rețea multi-senzor compusă din senzori biomedicali (EEG, ECG) și senzori electro-optici în spectrul vizibil și kinetic, asigurându-se predicția stării cognitive și emoționale și un sistem informatic de analiză și clasificare care rulează pe un calculator portabil, laptop cu procesor GPU, pe care rulează modulele software de fuziune a datelor și predicție pentru determinarea apariției stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres (Figura 1).

Informațiile captate de sistemul propus în invenție, se referă la: unde cerebrale (EEG), unde cardiologice (ECG), fluxuri video în domeniul vizibil și senzor kinetic. Fiecare senzor transmite aceste informații către unitatea de prelucrare (laptop), unde are loc prelucrarea, analiza și clasificarea în timp real a stărilor cognitive, predicția se realizează pe unitatea informatică care fuzionează datele transmise de rețeaua multi-senzor în timp real, constând în:

- Localizare inițială a stării cognitive și emoționale ale subiectului, bazată pe coordonatele de stare neutră;
- Analiza biosemnalelor achiziționate, corelate cu extragerea informațiilor emoționale de la senzorul kinetic și camera video, în vederea identificării și clasificării stării cognitive.
- Determinarea clasificării stării cognitive și emoționale pentru fiecare subiect testat.
- Predicționarea apariției stărilor de oboseală, somnolență și a nivelului de stres al subiectului, când acesta realizează activități profesionale din domeniul Infrastructurilor Critice și al sistemelor de transport.

Sistemul, conform invenției, se compune din următoarele module funcționale conform figurilor 1, 2 și 3:

- Un sistem compus dintr-un calculator portabil, laptop cu procesor GPU, la care sunt conectați senzorii EEG, ECG, senzorii electro-optici în spectrul vizibil și kinetic pentru detecția, analiza, clasificarea și predicția stărilor de oboseală, somnolență și nivelului de stres pentru personalul care lucrează în Infrastructuri Critice și domeniul transportului;
- Un modul central de prelucrare (calculator cu procesor GPU), format din senzori hardware și module software de calcul, cu următoarele submodule funcționale:
 - Blocul de achiziție și analiză a undelor cerebrale (EEG-1) format dintr-un senzor neinvaziv, de contact, care utilizează un algoritm software pentru extragerea undelor cerebrale specifice stărilor de somnolență și nivel de stres , determinarea undelor cerebrale de interes și realizează informațiile de referențiere. De asemenea, acest modul etichetează undele cerebrale detectate prin descompunerea multirezoluție wavelet și exponent Hurst. Identificarea stărilor de somnolență și a nivelului de stres este bazată pe unicitatea etichetelor ID alocate, din starea cognitivă identificată. Acest modul se adresează personalului care lucrează în Infrastructuri Critice (figura 2);
 - Blocul de achiziție și analiză a undelor cerebrale (EEG -2) format dintr-un senzor neinvaziv, fără contact, care se montează în tetiera scaunului lucrătorilor din domeniul transporturilor (aeronautică, rutier, feroviar, naval) și captează undele cerebrale de la o distanță de 10 cm, care utilizează un algoritm software pentru extragerea undelor cerebrale specifice stărilor de somnolență și nivel de stres , determinarea undelor cerebrale de interes și realizează informațiile de referențiere. De asemenea, acest modul etichetează undele cerebrale detectate prin descompunerea multirezoluție wavelet și exponent Hurst. Identificarea stărilor de somnolență și a nivelului de stres este bazată pe unicitatea etichetelor ID alocate, din starea cognitivă identificată (figura 2);
 - Blocul de achiziție și analiză a undelor cardiace (ECG) format dintr-un senzor neinvaziv, fără contact, care generează un semnal de microunde cu putere foarte mică în banda 2.4 GHz, iar prin analiza efectului Doppler se extrag undele cardiace de tip puls și a ritmului cardiac (QRS) prin utilizează unui algoritm software pentru extragerea undelor cardiace specifice stărilor de oboseală și nivel de stres, prin utilizarea unui filtru adaptiv și un estimator spectral parametric de tip MUSIC (Multiple Signal Classification) pentru determinarea și extragerea undelor cardiace de interes QRS. Sistemul hardware ECG se poate monta în scaun, eventual în orice loc din apropierea lucrătorului din domeniul transporturilor și al Infrastructurilor Critice (figura 3).

- Modulul de prelucrare și analiză a imaginilor statice (cadre video) și kinetic pentru determinarea expresiilor / microexpresiilor faciale care conform invenției se bazează pe combinația dintre filtrul Wiener modificat în domeniul wavlet și algoritmul LPB (Local Binary Pattern). Acest modul de analiză va determina (1) parametrii de interes pentru extragerea trăsăturilor specifice stărilor emoționale din imagini video, (2) predicția mecanismului pentru detecția stărilor emoționale din microexpresii faciale utilizând sensorul kinetic și (3) parametrii necesari pentru modelarea și determinarea stărilor emoționale utilizați în rețeaua de clasificare de tip rețea neuronală convoluțională.
- Modulul de definire a setului de antrenare pentru rețeaua neuronală care predicționează defectele și apariția acestora. Acest modul conform invenției introduce un algoritm cu caracter inovativ pentru modelarea parametrilor de interes. Pentru a obține acest efect, am realizat un algoritm inovator de clasificare, rezultând un nou model matematic bazat pe rețele neuronale pentru detecție (D-ANN) prin combinarea rețelelor neuronale de tip convoluțional și recurent.
- Modulul de analiză și predicție a stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres propus în invenție utilizează un model de dinamică de consens sau de difuzie cu input extern de la senzori. Modelul propus în invenție depinde de numărul de artefacte detectate de la undele cerebrale și undele cardiace și de nivelul emoțional provenite din analiza stărilor emoționale de la sensorul kinetic determinate în timp real pe baza algoritmului D-ANN.
- Modulul pentru determinarea stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres (clasificarea) se bazează conform invenției pe un algoritm de fuziune a datelor realizat algoritmi wavelet și rețele neuronale de detecție (D-ANN), care are ca element principal o rețea neuronală convoluțională de tip motor principal (B-CNN), pentru determinarea artefactelor. Următoarea etapă de calcul conform invenției este utilizarea vectorului de probabilitate și transformarea lui în topologia exactă a stărilor de interes. Mai exact, probabilitatea ca o anumită stare cognitivă să apară în fiecare sub-regiune se transformă în reprezentarea în artefacte a acelei stări cognitive identificate. Această operație va fi efectuată în a doua parte a *pipeline-ului*, anume D-RNN (Detection Recurent Network) reunită cu rețeaua neuronală convoluțională B-CNN (Backbone Convoluțional Neural Network).
- Modulul pentru predicționarea riscurilor de apariție a stărilor de oboseală, somnolență și determinarea nivelului de stres și procese decizionale conform invenției se bazează pe utilizarea unui algoritm de tip Machine Learning de tip rețea neuronală cu funcție radială (RBF) cu eroare de cuantizare minimă MQE (Minimum Quantization Error). Rețeaua RBF este realizată pe principiul

percepționului multistrat (MLP) cu antrenare de tip backpropagation. Rețeaua RBF-MLP este reprezentată de o succesiune de straturi de neuroni, compusă dintr-un strat de intrare, un strat ascuns (*hidden layer*) și un strat de ieșire, conectate secvențial între ele. Straturile sunt complet conectate, fiecare percepțion de pe un strat fiind conectat cu toți percepționii de pe stratul anterior. Fiecare conexiune are o pondere individuală proprie. Astfel, conform invenției obținem modele de comportament, de tip prelucrări paralele distribuite. Acest modul conform invenției realizează calculele în timp real cu datele achiziționate de la sistemul multi-senzor.

Contribuțiile cu *caracter de noutate ale invenției* sunt:

- Realizarea unei soluții integrate de achiziție, analiză, clasificare și predicția a stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres, bazată pe achiziția semnalelor biologice (EEG, ECG) și a fluxurilor video recepționate de la senzori electro-optici și kinetici conectați la calculator pentru detecția stărilor cognitive și analiză - clasificare realizată cu algoritmi performanți de Inteligență Artificială;
- Realizarea unui senzor EEG, noninvaziv și fără contact care se poate instala în tetiera scaunului lucrătorului din domeniul transporturilor, care poate capta undele cerebrale de la o distanță de 10 cm;
- Realizarea unui senzor ECG, noninvaziv și fără contact care se poate instala în apropierea lucrătorilor din domeniul transporturilor și a Infrastructurilor Critice, care se bazează pe analiza efectului Doppler generat de un senzor în microunde pentru extragerea caracteristicilor semnalului cardiac (QRS);
- Analiza undelor cerebrale prin descompunerea multirezoluție wavelet de tip UWT și corelarea cu exponentul Hurst;
- analiza undelor cardiace pe baza efectului Doppler prin utilizarea unui algoritm software pentru extragerea undelor cardiace specifice stărilor de oboseală și nivel de stres, prin utilizarea unui filtru adaptiv și un estimator spectral parametric de tip MUSIC (Multiple Signal Classification) pentru determinarea și extragerea undelor cardiace de interes QRS;
- prelucrarea și analiză a imaginilor statice (cadre video) și kinetice pentru determinarea expresiilor / microexpresiilor faciale care conform invenției se bazează pe combinația dintre filtrul Wiener modificat în domeniul wavelet și algoritmul LPB (Local Binary Pattern);
- Modulul de definire a setului de antrenare pentru rețeaua neuronală care predicționează stările cognitive și apariția acestora. Acest modul conform invenției introduce un algoritm cu caracter inovativ pentru modelarea parametrilor de interes. Pentru a obține acest efect, am realizat un algoritm inovator de clasificare, rezultând un nou model matematic bazat pe rețele neuronale pentru detecție (D-ANN) prin combinarea rețelelor neuronale de tip convoluțional și recurent;

- Modulul pentru determinarea stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres (clasificarea) se bazează conform invenției pe un algoritm de fuziune a datelor realizat algoritmi wavelet și rețele neuronale de detecție (D-ANN), care are ca element principal o rețea neuronală convoluțională de tip motor principal (B-CNN); pentru determinarea artefactelor. Următoarea etapă de calcul conform invenției este utilizarea vectorului de probabilitate și transformarea lui în topologia exactă a stărilor de interes. Mai exact, probabilitatea ca o anumită stare cognitivă să apară în fiecare sub-regiune se transformă în reprezentarea în artefacte a acelei stări cognitive identificate. Această operație va fi efectuată în a doua parte a *pipeline-ului*, anume D-RNN (Detection Recurent Network) reunită cu rețeaua neuronală convoluțională B-CNN (Backbone Convoluțional Neural Network);
- Modulul pentru predicționarea riscurilor de apariție a stărilor de oboseală, somnolență și determinarea nivelului de stres și procese decizionale conform invenției se bazează pe utilizarea unui algoritm de tip Machine Learning de tip rețea neuronală cu funcție radială (RBF) cu eroare de cuantizare minimă MQE (Minimum Quantization Error). Rețeaua RBF este realizată pe principiul perceptronului multistrat (MLP) cu antrenare de tip backpropagation;
- Utilizarea unui algoritm de fuzionare a datelor pentru analiza simultană a semnalelor biomedicale și a imaginilor de la senzorii electro-optici din domeniul vizibil și kinetic, utilizând un algoritm wavelet de fuzionare combinat cu indexul de similaritatea structural (SSIM);
- Realizarea unei baze de date de antrenare pentru detecția și clasificarea nivelelor caracteristice stării de oboseală, somnolență și nivel de stres și gestionarea riscurilor în cazul apariției acestora;
- Soluția propusă conform invenției are impact minim asupra mediului.

Revendicări

1. Sistem pentru detectarea, analiza, clasificarea și predicția apariției stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres, conform invenției, este compus dintr-o rețea multi-senzori biomedicali (EEG, ECG) și electro-optici în spectrul vizibil și kinetic pentru detecția stărilor cognitive, și dintr-un sistem informational pentru realizarea prelucrării informațiilor de la senzori și realizarea calculelor utilizând un calculator portabil cu procesoare grafice GPU NVIDIA.
2. Realizarea conform invenției a unui senzor EEG noninvaziv, fără contact, pentru achiziția undelor cerebrale de la o distanță de 10 cm. Posibilitatea de instalare a caestuia în tetiera scaunului lucrătorului din domeniul transporturilor aeriene, rutiere, feroviar și naval.

- Modulul pentru determinarea stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres (clasificarea) se bazează conform invenției pe un algoritm de fuziune a datelor realizat algoritmi wavelet și rețele neuronale de detecție (D-ANN), care are ca element principal o rețea neuronală convoluțională de tip motor principal (B-CNN), pentru determinarea artefactelor. Următoarea etapă de calcul conform invenției este utilizarea vectorului de probabilitate și transformarea lui în topologia exactă a stărilor de interes. Mai exact, probabilitatea ca o anumită stare cognitivă să apară în fiecare sub-regiune se transformă în reprezentarea în artefacte a acelei stări cognitive identificate. Această operație va fi efectuată în a doua parte a *pipeline-ului*, anume D-RNN (Detection Recurent Network) reunită cu rețeaua neuronală convoluțională B-CNN (Backbone Convoluțional Neural Network);
- Modulul pentru predicționarea riscurilor de apariție a stărilor de oboseală, somnolență și determinarea nivelului de stres și procese decizionale conform invenției se bazează pe utilizarea unui algoritm de tip Machine Learning de tip rețea neuronală cu funcție radială (RBF) cu eroare de cuantizare minimă MQE (Minimum Quantization Error). Rețeaua RBF este realizată pe principiul perceptronului multistrat (MLP) cu antrenare de tip backpropagation;
- Utilizarea unui algoritm de fuzionare a datelor pentru analiza simultană a semnalelor biomedicale și a imaginilor de la senzorii electro-optici din domeniul vizibil și kinetic, utilizând un algoritm wavelet de fuzionare combinat cu indexul de similaritatea structural (SSIM);
- Realizarea unei baze de date de antrenare pentru detecția și clasificarea nivelelor caracteristice stării de oboseală, somnolență și nivel de stres și gestionarea riscurilor în cazul apariției acestora;
- Soluția propusă conform invenției are impact minim asupra mediului.

Revendicări

1. Sistem pentru detectarea, analiza, clasificarea și predicția apariției stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres, conform invenției, este compus dintr-o rețea multi-senzori biomedicali (EEG, ECG) și electro-optici în spectrul vizibil și kinetic pentru detecția stărilor cognitive, și dintr-un sistem informational pentru realizarea prelucrării informațiilor de la senzori și realizarea calculelor utilizând un calculator portabil cu procesoare grafice GPU NVIDIA.
2. Realizarea conform invenției a unui senzor EEG noninvaziv, fără contact, pentru achiziția undelor cerebrale de la o distanță de 10 cm. Posibilitatea de instalare a caestuia în tetiera scaunului lucrătorului din domeniul transporturilor aeriene, rutiere, feroviar și naval.

3. Realizarea conform invenției a unui senzor ECG bazat pe efectul Doppler transmis de către un emițător în domeniul microunde (2.4GHz) cu putere mică de emisie, care poate fi instalat în apropierea lucrătorilor din domeniul transporturi și Infrastructuri Critice.
4. Realizarea conform invenției a unui algoritm inovativ pentru analiză undelor cerebrale pe baza descompunerilor multirezoluție wavlet de tip UWT și corelarea acestora cu valoarea exponentului statistic Hurst.
5. Realizarea conform invenției a extragerii parametrilor undelor cardiace pe baza efectului Doppler prin utilizarea unui algoritm compus dintr-un filtru adaptiv Wiener modificat în domeniul wavelet și un estimator spectral parametric de tip MUSIC (Multiple Signal Classification).
6. Modul de definire a setului de antrenare, conform invenției, pentru predicționarea apariției stărilor cognitive, utilizează un algoritm inovator de clasificare, rezultând un nou model matematic bazat pe rețele neuronale pentru detecție (D-ANN) prin combinarea rețelelor neuronale de tip convoluțional și recurrent;
7. Clasificarea se bazează conform invenției pe un algoritm de fuziune a datelor realizat cu algoritmi wavelet și rețele neuronale de detecție (D-ANN), compusă din două rețele neuronale Backbone Convoluțional Neural Network (B-CNN) și Detection Recurent Network (D-RNN) care lucrează în paralel.
8. Utilizarea conform invenției a unui algoritm cu caracter inovativ pentru modelarea ecuației de predicția a apariției stărilor cognitive de risc și planificarea intervenției în cazul apariției acestora care se bazează pe implementarea unui algoritm de tip Machine Learning de tip rețea neuronală cu funcție radială (RBF) cu eroare de cuantizare minimă MQE (Minimum Quantization Error).
9. Realizarea conform invenției a unui model de analiză de fuzionare a datelor obținute din imaginile din spectru vizibil și senzor kinetic bazat pe un algoritm de analiză de tip wavelet și pe indexul de similaritatea structural (SSIM).
10. Realizarea conform invenției a unui sistem multi-senzor pentru colectarea datelor EEG, ECG care nu implică contact fizic cu personalul care urmează să fie testat.
11. Conform invenției sistemul este flexibil și modular deoarece nu este caracteristic unui singur tip de aeronavă/vehicul, acesta putând să fie implementat pentru toate sistemele de transport sau diverse medii de testare.

FIGURILE CONFORM INVENȚIEI

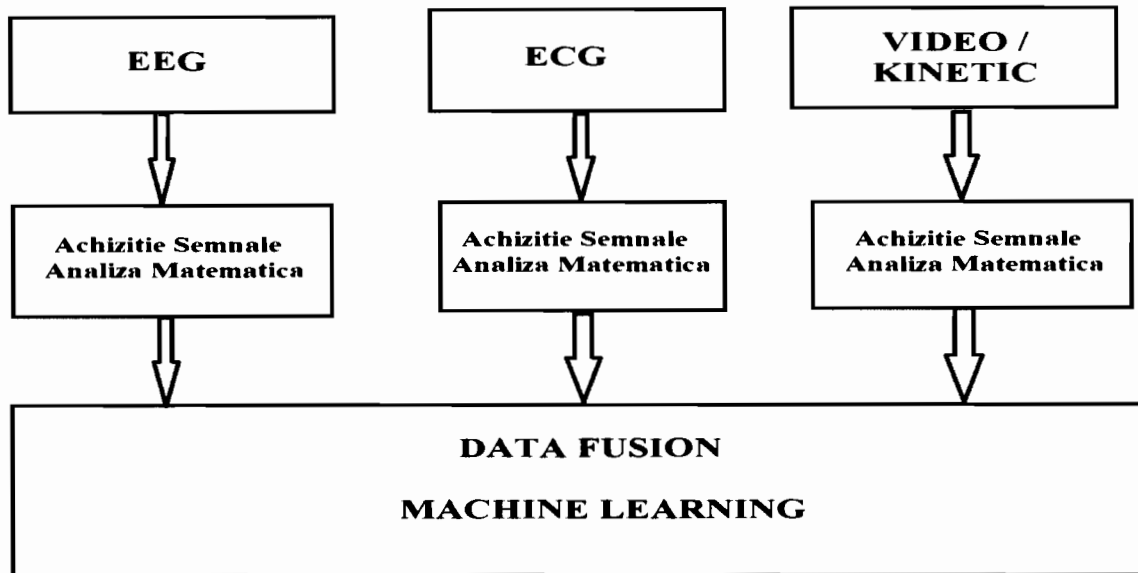


Figura 1. Arhitectura generală a sistemului multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în Infrastructurile Critice și Transporturi conform invenție.

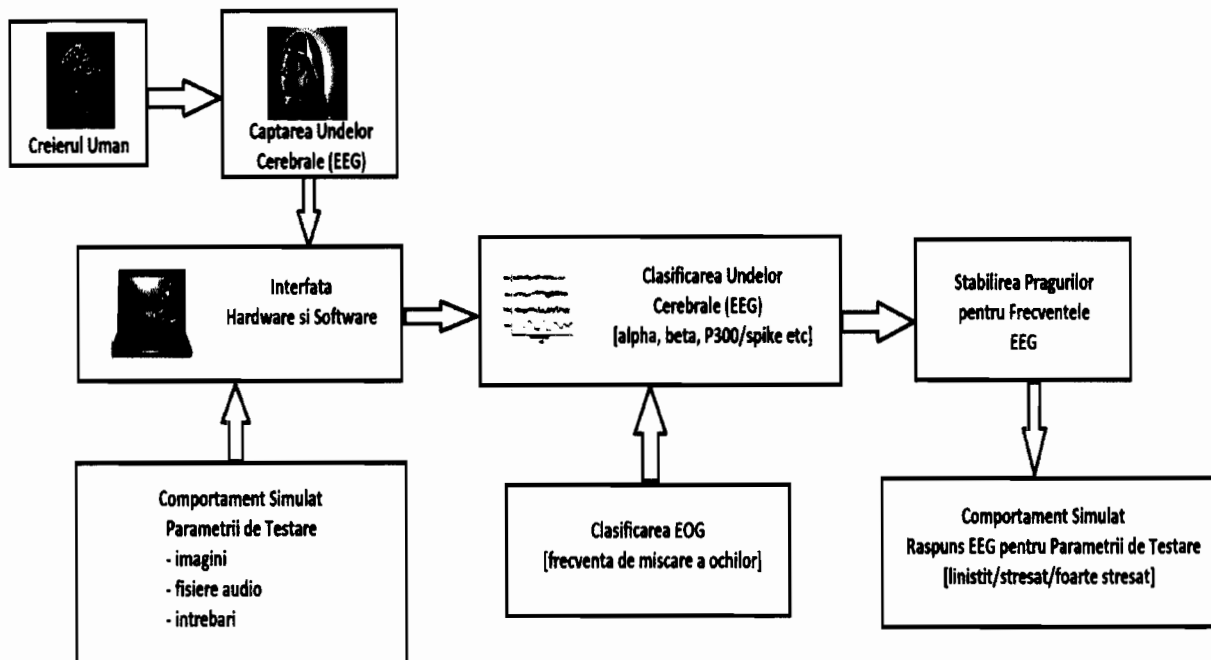


Figura 2. Arhitectura aplicației de amprentare a creierului utilizând semnalele EEG din cadrul sistemului multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în Infrastructurile Critice și Transporturi conform invenție.

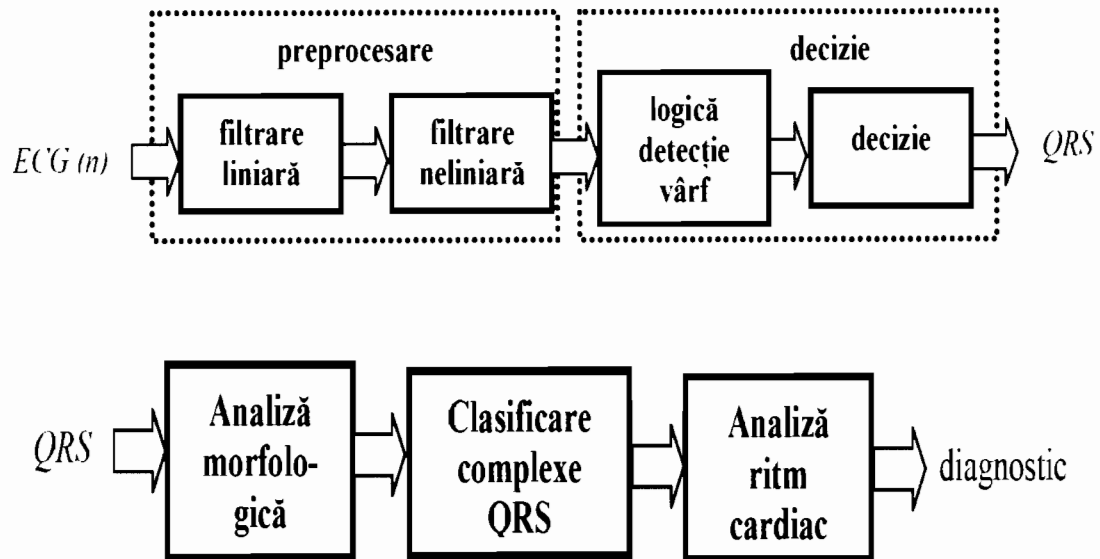


Figura 3. Arhitectura aplicației de extragere și analiză a elementelor QRS din semnalul cardiologic ECG din cadrul sistemului multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în Infrastructurile Critice și Transporturi conform invenție.

Sistem multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în Infrastructurile Critice și Transporturi

Invenția se referă la o metodă și un sistem hardware multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolența și a nivelului de stres a piloților de aeronave, conducătorilor de vehicule și personalului din infrastructurile critice, bazat pe analiza densității spectrului de putere (PSD) al electroencefalogrammei (EEG) și corelarea cu ritmul cardiac (ECG), respirator și analiza microexpresiilor faciale.

Prezenta cerere de brevet, conform invenției realizează un produs inovativ în domeniul Infrastructuri și Servicii Critice (creșterea rezilienței și reducerii vulnerabilității sistemelor „SMART-GRID”; protecția sistemelor de control industrial; securitatea informatică a infrastructurilor și serviciilor critice; sistemele de inteligență).

Rezultatul invenției reprezintă un produs de monitorizare, analiză și diagnostic prin care se realizează creșterea securității în domeniul Infrastructurilor Critice și a serviciilor aferente acestora.

Ținând cont de cerințele pieței, de reglementările legislative privind securitatea în aceste domenii, dar și pentru monitorizarea și testarea continuă a subiecților, produsul dezvoltat conform invenției este un produs inovativ care își propune să asigure o testare complexă și completă privind starea de oboseală, somnolență și nivelul de stres pentru personalul din domeniul transportului aerian, rutier, feroviar de marfuri și persoane, dar și pentru personalul implicat în desfășurarea activităților din domeniul Infrastructurilor Critice.

Astfel, problema testărilor psihologice în cazul piloților a fost adusă în actualitate după incidentul produs de pilotul Andreas Lubitz de la Germanwings, care a prăbușit intenționat aeronava provocând decesul a 150 de persoane. Anchetatorii au demonstrat existența unor teste efectuate la nivelul anului 2009 însă de atunci nu au mai fost efectuate teste care să poată evalua starea de sănătate mentală a pilotului.

De asemenea, în domeniul transportului rutier, rata incidentelor atât cu pierderi de vieți omenești cât și cu daune materiale considerabile sunt într-o linie ascendentă. În clasamentul European, conform statisticilor, România se află pe locul 2 cu o rată de 91 de persoane decedate la un milion de locuitori, fiind surclasată de Letonia cu o rată de 106 persoane pe un milion de locuitori.

Luând în considerare numărul tot mai mare de accidente de circulație, în ultimii ani această problemă a devenit o preocupare serioasă pentru societate. Principala cauză a acestora este reprezentată de conducerea în stare de oboseală și stres, factori perturbatori, care au o rată ridicată de mortalitate. Aceasta se datorează scăderii abilităților de percepție, de recunoaștere și de control, necesare conducătorilor din domeniul aerian, feroviar și rutier.

Cercetătorii au înregistrat primele schimbări majore în structura psihico-fiziologică a populației active, la un an după apariția crizei, susținând că aceste schimbări au apărut odată cu creșterea nivelului de oboseală, stres, a orelor de muncă, dar și abordarea unui regim de viață necorespunzător.

În prezent, la nivel internațional există o piață în formare datorită presiunii legislative privind securitatea în trafic. De exemplu, Statele Unite ale Americii, Germania și Japonia au proiectat

soluții care constau în atenționarea conducătorilor de vehicule care adorm la volan, prin vibrații sau alarme sonore. Cu toate acestea, niciuna dintre ele nu este completă și flexibilă.

Prevenirea accidentelor, necesită utilizarea unor algoritmi performanți pentru detectarea în mod continuu, estimarea și predicția nivelului de atenție/concentrare a conducătorilor de vehicule.

În România, conducătorii autovehiculelor de transport, marfă și călători, ca și în alte domenii sunt obligați periodic sau la cerere să efectueze controale medicale (medicina muncii) și psihologice (examen pentru siguranța transporturilor), cu toate acestea nu există un

produs sau serviciu care să monitorizeze starea acestora pe durata desfășurării activității lor. Pe plan național nu există, la ora actuală, un sistem de o asemenea anvergură care, conform invenției, să utilizeze, pentru colectarea datelor EEG și ECG, senzori ce nu implică contact fizic, față de sistemul capacitiv utilizat în prezent. Pe plan internațional, principala problemă a acestor sisteme o reprezintă nivelul de flexibilitate al soluțiilor.

Caracteristica remarcabilă a metodelor tradiționale este extragerea artificială a caracteristicilor semnalelor biomedicale. Metoda tradițională de extragere a caracteristicilor obiectelor în imagini pentru deteminarea epresiilor și microexpresiilor faciale, sunt extragerea nivelului de gri, raportul de contrast, textura, forma și relația spațială prin metoda histogramei orientate pe gradientului (HOG), model binar local (LBP), transformarea caracteristicii invariante la scară (SIFT) și funcția Haar (Haar), pentru a distinge elementele de interes ale obiectelor din imagini. Rezultatele acestor metode de extragere inovative ale caracteristicilor semnalelor biomedicale de tip EEG și ECG au fost dezvoltate și publicate în articole științifice internaționale de către autorii prezentei soluții tehnice propuse de către această invenție în [1-14].

Obiectivele soluției tehnice rezolvate de către această invenție sunt:

- Principalul obiectiv al invenției îl constituie estimarea cu precizie cantitativă a performanței de pilotare a aeronavelor, conducere a vehiculelor și a nivelului de stres al personalului din Infrastructuri Critice, într-un simulator 3D utilizând sistemul multi-senzor propus prin invenție;
- Extinderea sistemului prin introducerea componentelor de analiză a mișcării utilizând un senzor de tip kinetic și analiza expresiei faciale (emoționale) preluate din imagini video;
- Utilizarea în cadrul sistemului a senzorilor cu contact fizic pentru analiza EEG/ECG, dar și a senzorilor fără contact fizic pentru analiza EEG/ECG;
- Corelarea datelor preluate de sistemul de senzori (EEG/ECG) cu ritmul respirator, cu senzorul de tip kinetic și cu analiza expresiei faciale (emoționale), pentru îmbunătățirea performanțelor întregului sistem și reducerea erorilor apărute în estimarea stărilor de oboseală, somnolență și a nivelului de stres.

Problema tehnică rezolvată de invenție constă în achiziția, prelucrarea, analiza, fuzionarea datelor, predicția și clasificarea simultană a informațiilor colectate de la senzorii EEG, ECG, senzor Kinetic și cameră video, utilizându-se un sistem senzorial de tip casca (contact fix) sau capacitiv (fără contact fix).

Invenția rezolvă această problemă tehnică prin aceea că asigură culegerea de informații privind estimarea stării de oboseală, somnolență și nivelul de stres pentru personalul care lucrează în Infrastructuri Critice, prin utilizarea unui sistem tehnic multi-senzorial compus din senzori EEG,

ECG, Kinetic și camera video, iar analiza, clasificarea și predicția se realizează pe un calculator portabil.

Metoda, conform invenției, propune un nou sistem de senzori EEG, ECG care nu implică contact fizic. Cu ajutorul acestui sistem de monitorizare, analiza și diagnoză, conform invenției se realizează creșterea securității în domeniul Infrastructurilor Critice și a serviciilor aferente acestora.

Sistemul pentru detecția și predicția stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres, bazat pe detecția simultană a semnalelor biomedicale EEG și ECG, corelate cu detecția microexpresiilor faciale din imagini utilizând camere video și senzor kinetic și algoritmi performanți de Inteligență Artificială, conform invenției, este caracterizat prin faptul că este compus dintr-un sistem multi-senzor fără contact fizic cu subiectul și calculator portabil, sistemul fiind capabil să detecteze și să clasifice stările emoționale descoperite, aceste informații fiind fuzionate simultan pentru analiza și predicția ulterioară a acestora constând în:

- Determinarea stării de oboseală și somnolență, bazată pe analiza semnalelor biomedicale și pe un algoritm dezvoltat în cadrul invenției care realizează corelarea acestora cu extragerea microexpresiilor faciale din imaginii de tip Regiune de Interes;
- Predicția nivelului de stres prin corelarea semnalelor EEG cu diferite categorii de activități desfășurate de către personalul care lucrează în Infrastructuri Critice, în vederea remedierii acestuia de către personalul specializat.

Metoda folosește algoritmi de analiză a biosemnalelor bazați pe descompuneri multirezoluție wavelet și analiză statistică de tip exponent Hurst și extragerea microexpresiilor faciale pe baza algoritmului LPB (Local Binary Pattern), algoritmi pentru determinarea nivelului de stres pe baza determinării Regiunii de Interes și algoritmi Deep Learning de tip CNN și RNN (rețele neuronale convoluționale și rețele neuronale recurente).

Algoritmii utilizați în această invenție pot clasifica și predicționa apariția stării de oboseală, somnolența și nivelul de stres, astfel încât să se reducă la maximum fatalitatea și minimizarea riscurilor care sunt generate de aceste stări cognitive.

Sistemul propus în invenție este alcătuit dintr-un sistem informational compus din sistemul decizional, care are în componență un sistem multi-senzor EEG, ECG, camera video și kinetic, sistemul informatic care realizează achiziția, prelucrarea și clasificarea datelor și sistemul operational de feedback, conform Figurilor 1, 2 și 3, astfel încât să se realizeze predicția nivelului de oboseală, somnolență și de stres.

Conform invenției, sistemul informational are componenta principală formată din sistemul informatic (Figura 1), alcătuită din următoarele module funcționale:

- un modul de achiziție și prelucrare a informațiilor EEG obținute de la senzorul de detecție, care este de tip neinvaziv, fără contact și care poate achiziționa undele cerebrale de o distanță de 10 cm;

- un modul de achiziție și prelucrare a informațiilor ECG obținute de la senzorul de detecție, care este de tip neinvaziv, fără contact și care poate achiziționa semnalele cardiologice de la distanță;
- să înregistreze (stocare) aceste informații precum și informații rezultate din prelucrarea lor;
- un modul de prelucrare a imaginilor pentru determinarea stării emoționale care utilizează analiză multirezoluție wavelet și algoritmul LBP;
- un modul care asigură accesul la informațiile de microexpresii faciale provenite de la senzorul kinetic;
- un modul de clasificare a stărilor emoționale și de calculare a predicțiilor utilizând rețele neuronale convoluționale și recurente (CNN / RNN).
- un modul de analiză software pentru identificarea și analiza predicțiilor privind stările emoționale și cognitive bazat pe fuzionarea datelor.

Avantajele invenției sunt:

- se bazează pe utilizare unei baze de antrenare care înglobează stările emoționale și cognitive care sunt generate de către semnalele fiziologice EEG, ECG și a imaginilor obținute, pe baza căreia se poate realiza clasificarea și predicția.
- modularitatea și portabilitatea sistemului propus prin invenție.
- achiziția undelor cerebrale (EEG) se realizează, conform invenției, cu ajutorul unui senzor proprietar neinvaziv și fără contact, care poate fi montat în tetiera unui scaun.
- achiziția semnalelor ECG se realizează, conform invenției, cu ajutorul unui senzor proprietar neinvaziv și fără contact, care se bazează pe efectul Doppler.
- modelul de clasificare și predicție utilizează o configurație inovativă de rețele neuronale convoluționale și recurente îmbinate într-o structură de tip grid (rețea neuronală de tip grid) cu aplicabilitate în clasificarea stărilor emoționale din imagini obținute de la camera video și senzorul kinetic.
- modulul de analiză a pattern-urilor cognitive din undele cerebrale se realizează conform invenției prin algoritmi inovativi compuși dintr-o combinație de descompunerilor wavelet cu exponentul Hurst.
- analiza simultană a imaginilor și a semnalelor fiziologice obținute de la senzorii video, kinetic și EEG / ECG.
- calculele matematice se realizează cu un calculator portabil (laptop cu procesor GPU).
- soluția propusă conform invenției ajută la determinarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres pentru personalul care lucrează în Infrastructuri Critice și transporturi (aeriene, rutiere, feroviare și navale) reducând riscurile de accidente.
- soluția propusă conform invenției nu are impact asupra mediului.

Invenția este prezentată pe larg în continuare în concordanță și cu figurile 1- 3, care reprezintă:

- Figura 1: *Arhitectura generală a sistemului multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în Infrastructurile Critice și Transporturi conform invenție.*
- Figura 2: *Arhitectura aplicației de amprentare a creierului utilizând semnalele EEG din cadrul sistemului multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în Infrastructurile Critice și Transporturi conform invenție.*
- Figura 3: *Arhitectura aplicației de extragere și analiză a elementelor QRS din semnalul cardiologic ECG din cadrul sistemului multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în Infrastructurile Critice și Transporturi conform invenție.*

Prezentarea soluției tehnice

Sistemul conform invenției, de culegere, analiză, clasificare și predicție a stărilor de oboseală, somnolență și a nivelului de stres, se caracterizează prin aceea că este compus dintr-un sistem informațional care cuprinde o rețea multi-senzor compusă din senzori biomedicali (EEG, ECG) și senzori electro-optici în spectrul vizibil și kinetic, asigurându-se predicția stării cognitive și emoționale și un sistem informatic de analiză și clasificare care rulează pe un calculator portabil, laptop cu procesor GPU, pe care rulează modulele software de fuziune a datelor și predicție pentru determinarea apariției stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres (Figura 1).

Informațiile captate de sistemul propus în invenție, se referă la: unde cerebrale (EEG), unde cardiologice (ECG), fluxuri video în domeniul vizibil și senzor kinetic. Fiecare senzor transmite aceste informații către unitatea de prelucrare (laptop), unde are loc prelucrarea, analiza și clasificarea în timp real a stărilor cognitive, predicția se realizează pe unitatea informatică care fuzionează datele transmise de rețeaua multi-senzor în timp real, constând în:

- Localizare inițială a stării cognitive și emoționale ale subiectului, bazată pe coordonatele de stare neutră;
- Analiza biosemnalelor achiziționate, corelate cu extragerea informațiilor emoționale de la senzorul kinetic și camera video, în vederea identificării și clasificării stării cognitive.
- Determinarea clasificării stării cognitive și emoționale pentru fiecare subiect testat.
- Predicționarea apariției stărilor de oboseală, somnolență și a nivelului de stres al subiectului, când acesta realizează activități profesionale din domeniul Infrastructurilor Critice și al sistemelor de transport.

Sistemul, conform invenției, se compune din următoarele module funcționale conform figurilor 1, 2 și 3:

- Un sistem compus dintr-un calculator portabil, laptop cu procesor GPU, la care sunt conectați senzorii EEG, ECG, senzorii electro-optici în spectrul vizibil și kinetic pentru detecția, analiza, clasificarea și predicția stărilor de oboseală, somnolență și nivelului de stres pentru personalul care lucrează în Infrastructuri Critice și domeniul transportului;
- Un modul central de prelucrare (calculator cu procesor GPU), format din senzori hardware și module software de calcul, cu următoarele submodule funcționale:
 - Blocul de achiziție și analiză a undelor cerebrale (EEG-1) format dintr-un senzor neinvaziv, de contact, care utilizează un algoritm software pentru extragerea undelor cerebrale specifice stărilor de somnolență și nivel de stres, determinarea undelor cerebrale de interes și realizează informațiile de referențiere. De asemenea, acest modul etichetează undele cerebrale detectate prin descompunerea multirezoluție wavelet și exponent Hurst. Identificarea stărilor de somnolență și a nivelului de stres este bazată pe unicitatea etichetelor ID alocate, din starea cognitivă identificată. Acest modul se adresează personalului care lucrează în Infrastructuri Critice (figura 2);
 - Blocul de achiziție și analiză a undelor cerebrale (EEG -2) format dintr-un senzor neinvaziv, fără contact, care se montează în tetiera scaunului lucrătorilor din domeniul transporturilor (aeronautică, rutier, feroviar, naval) și captează undele cerebrale de la o distanță de 10 cm, care utilizează un algoritm software pentru extragerea undelor cerebrale specifice stărilor de somnolență și nivel de stres, determinarea undelor cerebrale de interes și realizează informațiile de referențiere. De asemenea, acest modul etichetează undele cerebrale detectate prin descompunerea multirezoluție wavelet și exponent Hurst. Identificarea stărilor de somnolență și a nivelului de stres este bazată pe unicitatea etichetelor ID alocate, din starea cognitivă identificată (figura 2);
 - Blocul de achiziție și analiză a undelor cardiace (ECG) format dintr-un senzor neinvaziv, fără contact, care generează un semnal de microunde cu putere foarte mică în banda 2.4 GHz, iar prin analiza efectului Doppler se extrag undele cardiace de tip puls și a ritmului cardiac (QRS) prin utilizează unui algoritm software pentru extragerea undelor cardiace specifice stărilor de oboseală și nivel de stres, prin utilizarea unui filtru adaptiv și un estimator spectral parametric de tip MUSIC (Multiple Signal Classification) pentru determinarea și extragerea undelor cardiace de interes QRS. Sistemul hardware ECG se poate monta în scaun, eventual în orice loc din apropierea lucrătorului din domeniul transporturilor și al Infrastructurilor Critice (figura 3).

- Modulul de prelucrare și analiză a imaginilor statice (cadre video) și kinetic pentru determinarea expresiilor / microexpresiilor faciale care conform invenției se bazează pe combinația dintre filtrul Wiener modificat în domeniul wavlet și algoritmul LPB (Local Binary Pattern). Acest modul de analiză va determina (1) parametrii de interes pentru extragerea trăsăturilor specifice stărilor emoționale din imagini video, (2) predicția mecanismului pentru detecția stărilor emoționale din microexpresii faciale utilizând sensorul kinetic și (3) parametrii necesari pentru modelarea și determinarea stărilor emoționale utilizați în rețeaua de clasificare de tip rețea neuronală convoluțională.
- Modulul de definire a setului de antrenare pentru rețeaua neuronală care predicționează defectele și apariția acestora. Acest modul conform invenției introduce un algoritm cu caracter inovativ pentru modelarea parametrilor de interes. Pentru a obține acest efect, am realizat un algoritm inovator de clasificare, rezultând un nou model matematic bazat pe rețele neuronale pentru detecție (D-ANN) prin combinarea rețelelor neuronale de tip convoluțional și recurent.
- Modulul de analiză și predicție a stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres propus în invenție utilizează un model de dinamică de consens sau de difuzie cu input extern de la senzori. Modelul propus în invenție depinde de numărul de artefacte detectate de la undele cerebrale și undele cardiace și de nivelul emoțional provenite din analiza stărilor emoționale de la sensorul kinetic determinate în timp real pe baza algoritmului D-ANN.
- Modulul pentru determinarea stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres (clasificarea) se bazează conform invenției pe un algoritm de fuziune a datelor realizat algoritmi wavelet și rețele neuronale de detecție (D-ANN), care are ca element principal o rețea neuronală convoluțională de tip motor principal (B-CNN), pentru determinarea artefactelor. Următoarea etapă de calcul conform invenției este utilizarea vectorului de probabilitate și transformarea lui în topologia exactă a stărilor de interes. Mai exact, probabilitatea ca o anumită stare cognitivă să apară în fiecare sub-regiune se transformă în reprezentarea în artefacte a acelei stări cognitive identificate. Această operație va fi efectuată în a doua parte a *pipeline-ului*, anume D-RNN (Detection Recurent Network) reunită cu rețeaua neuronală convoluțională B-CNN (Backbone Convoluțional Neural Network).
- Modulul pentru predicționarea riscurilor de apariție a stărilor de oboseală, somnolență și determinarea nivelului de stres și procese decizionale conform invenției se bazează pe utilizarea unui algoritm de tip Machine Learning de tip rețea neuronală cu funcție radială (RBF) cu eroare de cuantizare minimă MQE (Minimum Quantization Error). Rețeaua RBF este realizată pe principiul

perceptronului multistrat (MLP) cu antrenare de tip backpropagation. Rețeaua RBF-MLP este reprezentată de o succesiune de straturi de neuroni, compusă dintr-un strat de intrare, un strat ascuns (*hidden layer*) și un strat de ieșire, conectate secvențial între ele. Straturile sunt complet conectate, fiecare perceptron de pe un strat fiind conectat cu toți perceptronii de pe stratul anterior. Fiecare conexiune are o pondere individuală proprie. Astfel, conform invenției obținem modele de comportament, de tip prelucrări paralele distribuite. Acest modul conform invenției realizează calculele în timp real cu datele achiziționate de la sistemul multi-senzor.

Contribuțiile cu caracter de noutate ale invenției sunt:

- Realizarea unei soluții integrate de achiziție, analiză, clasificare și predicția a stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres, bazată pe achiziția semnalelor biologice (EEG, ECG) și a fluxurilor video recepționate de la senzori electro-optici și kinetic conectați la calculator pentru detecția stărilor cognitive și analiză - clasificare realizată cu algoritmi performanți de Inteligență Artificială;
- Realizarea unui senzor EEG, noninvaziv și fără contact care se poate instala în tetiera scaunului lucrătorului din domeniul transporturilor, care poate capta undele cerebrale de la o distanță de 10 cm;
- Realizarea unui senzor ECG, noninvaziv și fără contact care se poate instala în apropierea lucrătorilor din domeniul transporturilor și a Infrastructurilor Critice, care se bazează pe analiza efectului Doppler generat de un senzor în microunde pentru extragerea caracteristicilor semnalului cardiac (QRS);
- Analiza undelor cerebrale prin descompunerea multirezoluție wavelet de tip UWT și corelarea cu exponentul Hurst;
- analiza undelor cardiace pe baza efectului Doppler prin utilizează unui algoritm software pentru extragerea undelor cardiace specifice stărilor de oboseală și nivel de stres, prin utilizarea unui filtru adaptiv și un estimator spectral parametric de tip MUSIC (Multiple Signal Classification) pentru determinarea și extragerea undelor cardiace de interes QRS;
- prelucrarea și analiză a imaginilor statice (cadre video) și kinetic pentru determinarea expresiilor / microexpresiilor faciale care conform invenției se bazează pe combinația dintre filtrul Wiener modificat în domeniul wavlet și algoritmul LPB (Local Binary Pattern);
- Modulul de definire a setului de antrenare pentru rețeaua neuronală care predicționează stările cognitive și apariția acestora. Acest modul conform invenției introduce un algoritm cu caracter inovativ pentru modelarea parametrilor de interes. Pentru a obține acest efect, am realizat un algoritm inovator de clasificare, rezultând un nou model matematic bazat pe rețele neuronale pentru detecție (D-ANN) prin combinarea rețelelor neuronale de tip convoluțional și recurent;

- Modulul pentru determinarea stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres (clasificarea) se bazează conform invenției pe un algoritm de fuziune a datelor realizat algoritmi wavelet și rețele neuronale de detecție (D-ANN), care are ca element principal o rețea neuronală convoluțională de tip motor principal (B-CNN), pentru determinarea artefactelor. Următoarea etapă de calcul conform invenției este utilizarea vectorului de probabilitate și transformarea lui în topologia exactă a stărilor de interes. Mai exact, probabilitatea ca o anumită stare cognitivă să apară în fiecare sub-regiune se transformă în reprezentarea în artefacte a acelei stări cognitive identificate. Această operație va fi efectuată în a doua parte a *pipeline-ului*, anume D-RNN (Detection Recurent Network) reunită cu rețeaua neuronală convoluțională B-CNN (Backbone Convoluțional Neural Network);
- Modulul pentru predicționarea riscurilor de apariție a stărilor de oboseală, somnolență și determinarea nivelului de stres și procese decizionale conform invenției se bazează pe utilizarea unui algoritm de tip Machine Learning de tip rețea neuronală cu funcție radială (RBF) cu eroare de cuantizare minimă MQE (Minimum Quantization Error). Rețeaua RBF este realizată pe principiul perceptronului multistrat (MLP) cu antrenare de tip backpropagation;
- Utilizarea unui algoritm de fuzionare a datelor pentru analiza simultană a semnalelor biomedicale și a imaginilor de la senzorii electro-optici din domeniul vizibil și kinetic, utilizând un algoritm wavelet de fuzionare combinat cu indexul de similaritatea structural (SSIM);
- Realizarea unei baze de date de antrenare pentru detecția și clasificarea nivelelor caracteristice stării de oboseală, somnolență și nivel de stres și gestionarea riscurilor în cazul apariției acestora;
- Soluția propusă conform invenției are impact minim asupra mediului.

Revendicări

1. Sistem pentru detectarea, analiza, clasificarea și predicția apariției stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres, conform invenției, este compus dintr-o rețea multi-senzori biomedicali (EEG) pentru detecția stărilor cognitive bazat pe achiziția undelor cerebrale prin intermediul unui senzor EEG noninvaziv, fără contact fizic, de la o distanță de 10 cm și pe detecția apariției undelor cerebrale fusuri de somn și complex k pentru predicționarea apariției stărilor de oboseală / somnolență, analiza ritmicității clipirii ochilor rezultate din pattern-urile detectate cu ajutorul undelor cerebrale alfa și beta, și detectarea nivelului de stres din analiza trendurilor de apariție a undelor cerebrale theta și gamma.
2. Senzorul EEG noninvaziv, fără contact fizic, pentru achiziția undelor cerebrale de la o distanță de 10 cm conform revendicării 1, oferă posibilitatea de instalare în tetiera scaunului lucrătorului din domeniul transporturilor aeriene, rutiere, feroviar și naval.
3. Sistem pentru detectarea, analiza, clasificarea și predicția apariției stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres, conform invenției, este compus dintr-o rețea multi-senzori biomedicali (EEG) pentru detecția stărilor cognitive utilizând un algoritm inovativ pentru analiza undelor cerebrale pe baza descompunerilor multirezoluție wavelet nedecimate (UWT) și corelarea acestora cu valoarea exponentului statistic Hurst.
4. Sistem pentru detectarea, analiza, clasificarea și predicția apariției stărilor de oboseală, somnolență și nivel de stres, conform invenției, pentru predicționarea apariției stărilor cognitive, utilizează un algoritm inovator de clasificare, rezultând un nou model matematic bazat pe rețele neuronale pentru detecție (D-ANN) prin combinarea rețelelor neuronale Backbone Convoluțional Neural Network (B-CNN) și Detection Recurent Network (D-RNN), care lucrează în paralel.
5. Sistem pentru detecția și analiza undelor cardiace (ECG), conform invenției, bazat pe un senzor inovativ de achiziție a semnalelor ECG utilizând efectul Doppler transmis de către un emițător în domeniul microunde (2.4GHz) cu putere mică de emisie, care poate fi instalat în apropierea lucrătorilor din domeniul transporturi și Infrastructuri Critice și un algoritm inovativ pentru extragerea parametrilor undelor cardiace bazat pe filtrul adaptiv Wiener modificat în domeniul wavelet și un estimator spectral parametric de tip MUSIC (Multiple Signal Classification).
6. Utilizarea conform invenției a unui algoritm cu caracter inovativ pentru modelarea ecuației de predicția a apariției stărilor cognitive de risc și planificarea intervenției în cazul apariției acestora care se bazează pe implementarea unui algoritm de tip Machine Learning de tip rețea neuronală cu funcție radială (RBF) cu eroare de cuantizare minimă MQE (Minimum Quantization Error).

7. Realizarea conform invenției a unui model de analiză de fuzionare a datelor obținute din imaginile din spectru vizibil și senzor kinetic bazat pe un algoritm de analiză de tip wavelet și pe indexul de similaritatea structural (SSIM).
8. Realizarea conform invenției a unui sistem multi-senzor pentru colectarea datelor EEG, ECG care nu implica contact fizic cu personalul care urmează să fie testat.
9. Conform invenției sistemul este flexibil și modular deoarece nu este caracteristic unui singur tip de aeronavă/vehicul, acesta putând sa fie implementat pentru toate sistemele de transport sau diverse medii de testare.

FIGURILE CONFORM INVENȚIEI

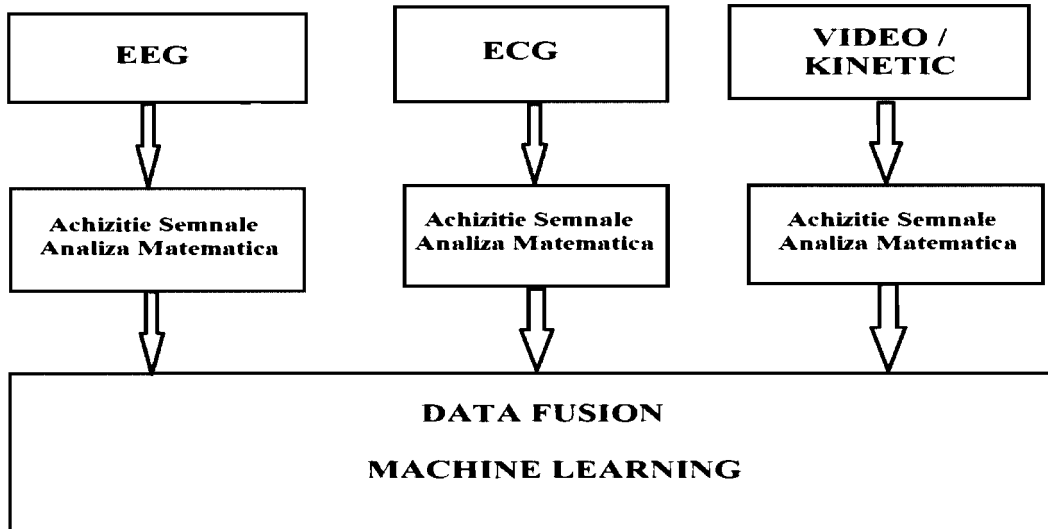


Figura 1. Arhitectura generală a sistemului multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în Infrastructurile Critice și Transporturi conform invenție.

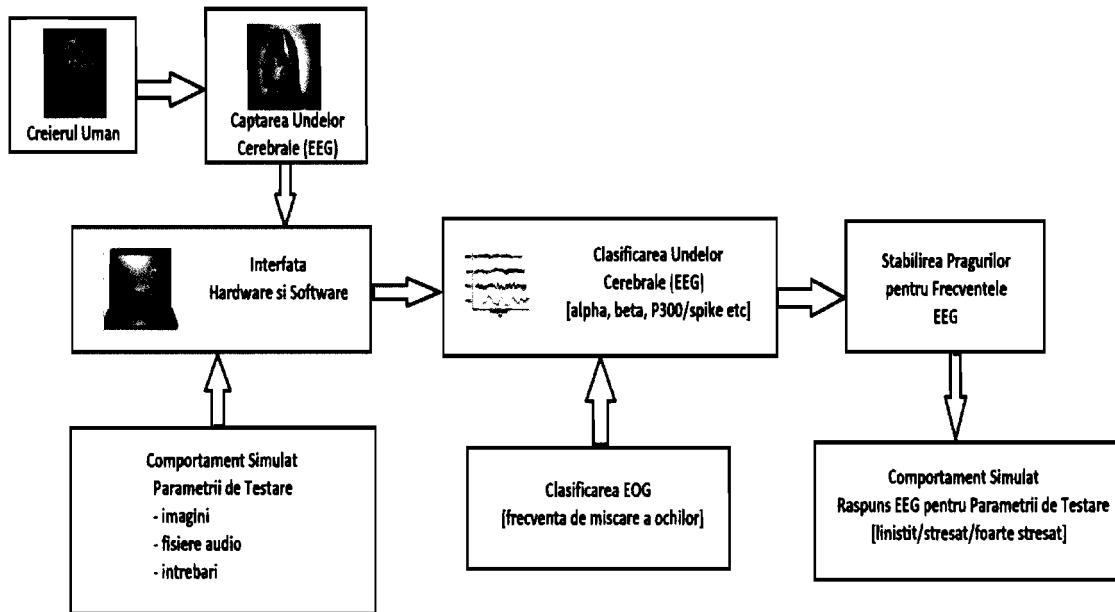


Figura 2. Arhitectura aplicatiei de amprentare a creierului utilizand semnalele EEG din cadrul sistemului multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în Infrastructurile Critice și Transporturi conform invenție.

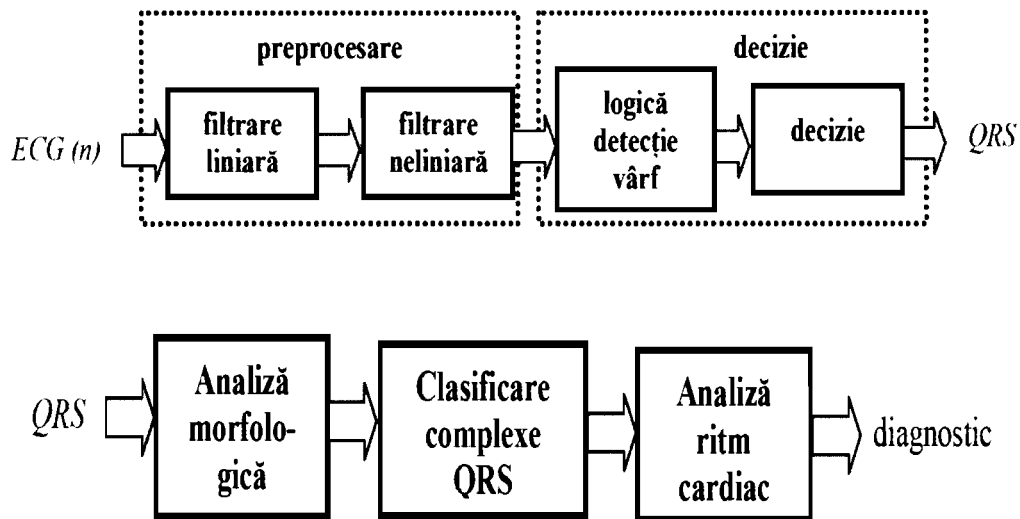


Figura 3. Arhitectura aplicației de extragere și analiză a elementelor QRS din semnalul cardiologic ECG din cadrul sistemului multi-senzor pentru estimarea stării de oboseală, somnolență și a nivelului de stres cu aplicabilitate în Infrastructurile Critice și Transporturi conform invenție.