



**UNIVERSITATEA POLITEHNICA
DIN BUCUREȘTI**



**Școala Doctorală de Electronică, Telecomunicații
și Tehnologia Informației**

Decizie nr. 805 din 21-02-2022

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Ing. Raluca Maria AILENI

**Contribuții teoretice și experimentale la monitorizarea
parametrilor vitali folosind sisteme de control inteligent
bazate pe senzori integrați în structuri textile și servicii
cloud computing**

**Theoretical and experimental contributions to monitoring
of vital parameters using intelligent control systems
based on sensors integrated in textile structures and cloud
computing services**

COMISIA DE DOCTORAT

Prof. Dr. Ing. Bogdan IONESCU

Univ. Politehnica din București

Președinte

Prof. Dr. Ing. Rodica STRUNGARU

Univ. Politehnica din București

Conducător de doctorat

Prof. Dr. Ing. Adriana FLORESCU

Univ. Politehnica din București

Conducător de doctorat

Conf. Dr. Ing. Alina SULTANA

Univ. Politehnica din București

Referent

Conf. Dr. Ing. Alin DĂNIȘOR

Universitatea Maritimă din Constanța

Referent

Conf. dr. ing. Ovidiu URSARU

Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași

Referent

BUCUREȘTI 2022

Cuprins

Lista tabelelor	vii
Lista figurilor	ix
Lista abrevierilor	xvii
1. Introducere	1
1.1. Prezentarea domeniului de doctorat	1
1.2. Scopul tezei	1
1.3. Conținutul tezei	2
2. Materiale textile cu proprietăți electroconductive	5
2.1. Analiza morfologică a materialelor utilizând microscopia electronică de transmisie și reflexie	6
2.2. Analiza morfologică utilizând microscopia electronică de baleiaj /spectrometru cu energie dispersivă de rază X (EDAX)	16
2.3. Analiza rezistenței electrice de suprafață	21
2.4. Concluzii	22
3. Dispozitive wearable pentru monitorizare biomedicală	23
3.1. Sisteme de control inteligent	23
3.2. Senzori integrați în structuri textile	25
3.3. Moduri de transmisie a datelor utilizate pentru dispozitive wearable	31
3.4. Concluzii	32
4. Investigarea temperaturii și umidității	33
4.1. Temperatura și umiditatea corpului uman - fiziopatologia termoreglării.....	33
4.1.1. Considerații teoretice privind reglarea temperaturii	37
4.1.2. Considerații teoretice privind umiditatea la nivelul pielii	38
4.1.3. Tehnici de măsurare a temperaturii corpului corpului uman	40
4.1.4. Tehnici de măsurare a umidității la nivelul pielii	40
4.2. Monitorizarea temperaturii și umidității corpului uman utilizând senzori integrați în produse textile	41
4.2.1. Monitorizarea temperaturii	42
4.2.2. Monitorizarea umidității	42
4.3. Concluzii	48
5. Investigarea ritmului respirator	49
5.1. Considerații teoretice privind investigarea activității pulmonare	49

5.2. Sisteme wearable pentru determinarea ritmului respirator	50
5.3. Senzori textili pentru investigarea ritmului respirator	52
5.3.1. Investigarea proprietăților electrice	53
5.3.2. Investigarea proprietăților fizico-mecanice	55
5.4. Monitorizarea ritmului respirator cu ajutorul senzorilor textili	63
5.4.1. Sistem pentru monitorizarea respirației pe bază de fire conductive.....	63
5.4.2. Sistem de monitorizare a respirației pe bază de senzori textili tricotați	68
5.5. Concluzii	76
6. Investigarea activității electrice a inimii	77
6.1. Considerații teoretice privind activitatea electrică a inimii	77
6.2. Sisteme wearable pentru monitorizarea activității electrice a inimii	80
6.3. Electrozi clasici vs. electrozi textili	86
6.4. Sistem de monitorizare cardiacă pe bază de electrozi textili	89
6.5. Concluzii	106
7. Investigarea ritmului cardiac	107
7.1. Investigarea ritmului cardiac utilizând metode optoelectronice	107
7.2. Determinarea reflectanței și transmitanței în țesuturile umane utilizând spectrofotometria	112
7.3. Sistem pentru monitorizarea pulsului integrat în produs textil	120
7.4. Concluzii	126
8. Investigarea semnalelor electrice emise de creierul uman	127
8.1. Considerații teoretice privind investigarea semnalelor electrice emise de creier	127
8.2. Procesarea semnalelor electrice emise de creier	128
8.3. Analiza predictivă a datelor pe baza rețelelor neuronale	132
8.4. Corelația semnalelor electrice emise de creier cu alte semnale biomedicale	145
8.5. Concluzii	146
9. Servicii Cloud Computing și IoMT pentru monitorizare	147
9.1. Considerații teoretice privind utilizarea serviciilor IoMT și Cloud Computing pentru monitorizare	147
9.2. Managementul datelor utilizând servicii Cloud Computing	150
9.3. Securitatea informației și anonimizarea datelor personale	151
9.4. Sistem de monitorizare utilizând platforma IoT și servicii Cloud Computing	156

9.5. Aplicație software VitalSense pentru managementul sistemului de monitorizare	160
9.5.1. Conceptul aplicației	160
9.5.2. Nivelul logic de date	162
9.6. Concluzii	166
10. Concluzii	167
10.1. Rezultate obținute	167
10.2. Contribuții originale	170
10.3. Lista lucrărilor originale	172
10.4. Perspective de dezvoltare ulterioară	178
Anexe	179
A.1 Date experimentale (Tabele 7.2-7.9) pentru studiul raportului reflectanță/transmitanță utilizând metoda fotospectrometrică	179
Bibliografie	197

Capitolul 1

Introducere

1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Teza de doctorat cu titlul “Contribuții teoretice și experimentale la monitorizarea parametrilor vitali folosind sisteme de control inteligent bazate pe senzori integrați în structuri textile și servicii Cloud Computing” are ca obiectiv studiul teoretic și experimental asupra monitorizării parametrilor vitali folosind sisteme de control inteligent bazate pe senzori integrați în structuri textile și stocare în Cloud. Monitorizarea parametrilor biomedicali (temperatura, umiditate, puls și respirație), constă în achiziționarea semnalelor electrice utilizând electrozi flexibili conductivi realizați din materiale textile și integrarea componentelor electronice de mici dimensiuni în structuri textile pentru monitorizarea de la distanță remote a pacienților la domiciliu. Pentru monitorizarea biomedicală la domiciliul pacientului sau în exterior se utilizează dispozitive electronice de mici dimensiuni care pot fi purtate și sunt confortabile (wearable device).

Dezvoltările în domeniul miniaturizării componentelor electronice și tendința de adopta tehnologiile wearable având aplicații software care se interconectează oriunde (pervasive computing), medii de stocare în cloud fără o locație precisă a serverelor (cloud computing) și fiind interconectate în internetul lucrurilor sau dispozitivelor medicale (IoT, MIoT) au condus la progresul în domeniul dispozitivele wearable pentru aplicații medicale sau monitorizare biomedicală pentru persoanele implicate în activități sportive.

În cazul pacienților suferind de boli cronice (diabet, afecțiuni cardiovasculare sau neurologice) monitorizarea permanentă în afara spitalului este un aspect pozitiv deoarece prin intermediul unor astfel de aplicații medicul poate supraveghea parametrii biomedicali ai pacientului și poate acționa rapid în cazul unei crize.

1.2 Scopul tezei de doctorat

Scopul acestei teze de doctorat este de a realiza o analiză a posibilităților de utilizare a electrozilor textili sau a senzorilor integrați în structuri textile pentru monitorizarea parametrilor biomedicali și de a investiga posibilitatea utilizării datelor biomedicale pentru sisteme inteligente de monitorizare (sisteme suport pentru decizii, sisteme bazate

pe fuziunea datelor achiziționate sau analize predictive utilizând rețele neuronale). Principalele direcții de cercetare abordate pentru atingerea acestui scop au constat în realizarea unor electrozi textili care pot fi integrați în sisteme de monitorizare, propunerea unor arhitecturi de sisteme inteligente, realizarea unei aplicații software care permite achiziționarea semnalelor biomedicale în baza de date vitalsense, evaluarea reflectanței/transmitanței prin metode spectrofotometrice, prelucrarea și analiza predictivă a semnalelor utilizând tehnici multivariate și rețele neuronale. În cadrul tezei de doctorat au fost proiectați și realizați electrozi textili pe bază de fire conductive și au fost utilizați în sisteme de monitorizare a umidității corpului uman, a ritmului respirator și activității electrice a inimii. Materialele utilizate au fost caracterizate din punct de vedere morfologic, fizico-mecanic și electric pentru a evidenția potențialul de a fi utilizate ca electrozi în diferite sisteme de monitorizare biomedicală. Pentru evaluarea posibilității de integrare a senzorilor pentru monitorizarea pulsului în structuri textile a fost investigată prin spectrofotometrie reflectanța / transmitanța radiațiilor cu diferite lungimi de undă pentru diferite zone ale corpului uman. Semnalele EEG au fost procesate și analizate utilizând rețele neuronale artificiale și corelațiile cu alți parametri biomedicali. Pentru realizarea sistemelor inteligente au fost realizate analize corelative, multivariate și predictive a datelor achiziționate.

1.3 Conținutul tezei de doctorat

Cercetarea dezvoltată în cadrul programului de doctorat este prezentată în această teză pe parcursul a 10 capitole.

CAPITOLUL 1 prezintă o scurtă descriere a domeniului sistemelor de monitorizate bazate pe senzori integrați în produse textile și continuă cu descrierea scopului prezentei teze de doctorat și obiectivele propuse pentru îndeplinirea acestuia.

CAPITOLUL 2 este dedicat prezentării materialelor textile cu proprietăți electroconductive și investigării morfologiei suprafeței materialelor selectate utilizând microscopia optică și electronică de baleiaj.

CAPITOLUL 3 prezintă o analiză succintă a dispozitivelor wearable pentru monitorizare medicală bazate pe senzori integrați în produse textile. De asemenea, sunt prezentate metode adecvate de transmisie a datelor, procesarea informațiilor utilizând metode de inteligență artificială și modalități de optimizare a distribuției componentelor electroconductive în cadrul structurilor wearable.

CAPITOLUL 4 conține o serie de aspecte teoretice și practice privind fiziopatologia termoreglării temperaturii și umidității, tehnici de evaluare a temperaturii și umidității corpului uman la nivelul pielii și monitorizarea temperaturii și umidității corpului uman utilizând senzori integrați în structuri textile.

CAPITOLUL 5 prezintă aspecte teoretice și experimentale privind sistemele wearable pentru monitorizarea ritmului respirator prin intermediul senzorilor textili. Este prezentat modelul experimental al unui sistem pentru monitorizarea respirației integrat într-o structură textilă utilizând componente electrorrezistive și procesarea datelor obținute. De asemenea, sunt prezentate toate structurile textile realizate pentru a fi utilizate în evaluarea ritmului respirator și investigațiile fizico-mecanice și electrice

efectuate pentru firele conductive utilizate și pentru structurile textile tricotate din fire conductive.

CAPITOLUL 6 descrie arhitectura sistemelor wearable utilizate pentru investigarea activității electrice a inimii pe bază de electrozi conductivi textili și pe bază de electrozi clasici, testarea sistemelor și prelucrarea semnalelor achiziționate prin intermediul electrozilor textili. De asemenea, sunt prezentate aspectele teoretice privind investigarea activității electrice a inimii, tipurile de electrozi utilizați în monitorizarea ECG și sisteme wearable pentru monitorizare ECG integrate în produse textile.

CAPITOLUL 7 conține aspecte teoretice privind proprietățile de absorbție, reflectanță și transmitanță a țesuturilor și evaluarea pulsului prin metoda fotopletismografiei de transmisie și reflexive. De asemenea, sunt prezentate investigații privind reflectanța și transmitanța radiațiilor electromagnetice cu diferite lungimi de undă în țesuturile umane utilizând metode spectrofotometrice, realizarea unui sistem pentru monitorizarea pulsului integrat într-o structură textilă, procesarea semnalelor achiziționate și testarea sistemului.

CAPITOLUL 8 prezintă aspecte teoretice privind investigarea semnalelor electrice ale creierului, procesarea datelor obținute, analiza predictivă a semnalelor utilizând rețele neuronale artificiale și analiza corelațiilor pentru semnalele biomedicale selectate.

CAPITOLUL 9 prezintă o serie de aspecte privind monitorizarea medicală bazată pe platforme IoT, MIoT pentru monitorizare în timp real și Cloud Computing pentru stocarea datelor. De asemenea, sunt prezentate aspecte privind securitatea informațiilor prin anonimizare utilizând metoda confidențialității diferențiale în cadrul aplicațiilor de telemonitorizare.

CAPITOLUL 10 prezintă concluziile acestei lucrări privind rezultatele obținute în urma cercetării prezentate în cadrul acestei teze de doctorat, punându-se în evidență rezultatele obținute, contribuțiile originale, lista de lucrări originale relevante pentru domeniul studiat și perspectivele de dezvoltare în viitor.

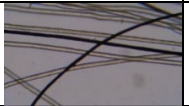
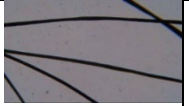
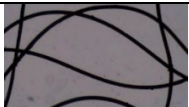
Capitolul 2

Materiale textile cu proprietăți electroconductive

În cadrul actualei lucrări, pentru realizarea electrozilor textili au fost utilizate fire cu conținut de fibre metalice și fire monofilamentare care prezintă acoperiri cu diferite de

metale (Ag, Cu, inox etc.). Analiza morfologică a firelor utilizate a fost realizată utilizând microscopia electronică de transmisie, reflexie (cu magnitudine 4x, 10x și 40x) și baleiaj. În tabelul 2.1 este prezentată o selecție a firelor conductive utilizate. Analiza rezistenței electrice de suprafață (R_s [Ω]) pentru structurile tricotate realizate a fost realizată în cadrul laboratorului cu ajutorul dispozitivelor pe bază de electrozi concentrici și pe bază de electrozi paraleli, neglijând orice fenomen de polarizare a electrozilor [3].

Tabelul 2.1 Analiza morfologică a firelor conductive

Nr.crt	Vedere 4x	Vedere 10x	Vedere 40x
1. Fir conductiv pe bază de 80% PES, 20% inox, Nm 50/2			
2. Fir conductiv pe bază de 65% mătase, 35% inox, Nm 46/2			
12. Fir conductiv pe bază de 100% inox, Nm 22/2			
14. Fir conductiv 2 pe bază de Pa 66 placată cu Ag, 235/34 dtex			

Capitolul 3

Dispozitive wearable pentru monitorizare biomedicală

Un sistem inteligent [4] este un sistem complex care are capacitatea de a comunica cu alte sisteme [5] și de a își îmbunătăți performanțele și înglobează:

- componente hardware cum ar fi microcontroler, computer, senzori sau actuatori;
- componente software cum ar fi aplicațiile pentru achiziționarea datelor, procesarea semnalului achiziționat și aplicațiile bazate pe inteligență artificială care permit clasificarea datelor sau analiza predictivă.

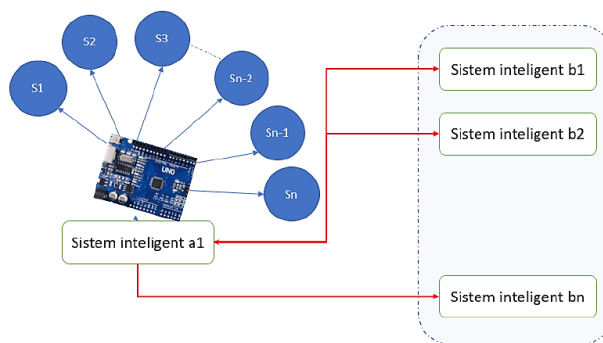


Figura 3.1 Sistem inteligent bazat pe senzori

Evoluția sistemelor medicale, a internetului (Internet of Things (IoT), Medical Internet of Things (MIoT)) a condus la dezvoltarea unor sisteme inteligente [6] de monitorizare remote [7] la domiciliu [8] a pacienților cu afecțiuni cronice prin intermediul dispozitivelor wearable, reducând astfel costurile și timpul spitalizării. Sistemele inteligente de monitorizare utilizează tehnologii cum ar fi Cloud Computing pentru stocarea datelor în cloud privat [23], Edge Computing pentru procesarea datelor, semnalelor și anonimizarea datelor achiziționate de la pacienți, inteligența artificială (AI) pentru clasificarea datelor și analiză predictivă, dar și Digital Twin [24] pentru modelarea virtuală anatomică/biologică și simularea în timp real pentru analiză predictivă utilizând algoritmi AI. Monitorizarea semnalelor biomedicale prin intermediul dispozitivelor wearable (portabile) are ca țintă următoarele grupe de utilizatori:

- ⇒ Pacienții în vârstă suferind de afecțiuni cronice (boli cardiovasculare, diabet, afecțiuni neurologice);
- ⇒ Persoanele care practică activități sportive.

Capitolul 4

Investigarea temperaturii și umidității

În cadrul acestui capitol sunt prezentate aspecte teoretice privind temperatura și umiditatea, dar și aspecte practice privind investigarea parametrilor biomedicali cum ar fi

temperatura și umiditatea la nivelul pielii, prin intermediul senzorilor biomedicali care pot fi integrați în structuri textile. Pentru determinarea temperaturii la nivelul pielii s-a utilizat un sensor MCP9700 integrat pe o placă Arduino ATmega328 de la Atmel, bazată pe un microcontroler RISC, având 32 bytes memorie Flash, 2k bytes SRAM și 1k byte EEPROM [132]. Pentru determinarea umidității și conductivității la nivelul pielii a fost realizat un experiment utilizând un sistem realizat pe baza unor componente electronice integrate cum ar fi placă de bază Arduino ATmega328 (figura 4.7.a), modul pentru comunicații date Bluetooth (figura 4.7.b) și un sensor GSR. În figura 4.7.a este prezentat montajul componentelor electronice pentru sistemul de monitorizare a temperaturii și umidității, iar în figura 4.7.b este prezentată arhitectura sistemului. Experimentele realizate cu acest montaj (figura 4.7) au permis citirea simultană a datelor temperaturii, conductivității electrice și umidității la nivelul pielii. Citirea datelor de la senzor s-a realizat la un interval de 500 de milisecunde. După transformarea analog-digitală, valorile numerice pentru temperatură și umiditate au fost afișate prin intermediul unui data logger [132]. Discretizarea semnalului continuu și reducerea zgomotului s-a realizat în Matlab. Eșantionarea semnalului s-a realizat utilizând o frecvență de 1 Hz [132].

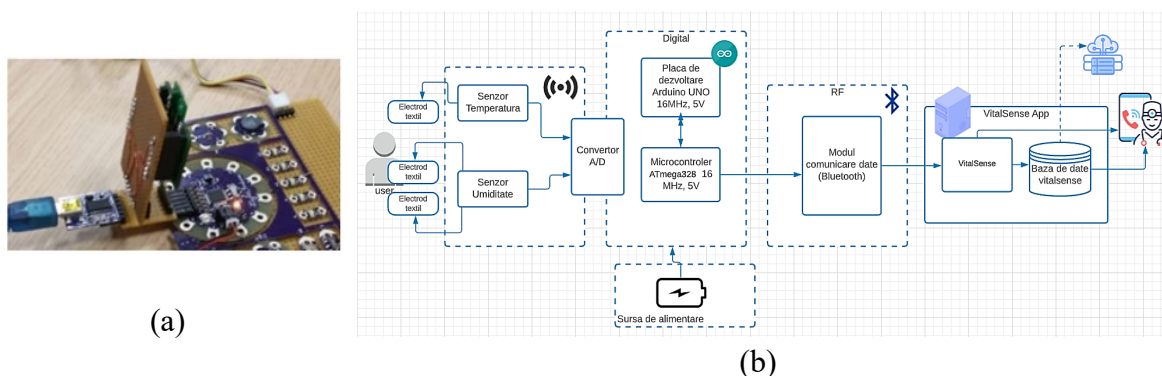


Figura 4.7 Montaj pe bază de placă de dezvoltare Arduino ATmega328: (a) Montajul componentelor electronice pentru sistem; (b) Arhitectura sistemului

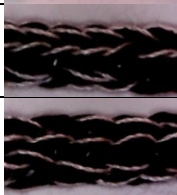
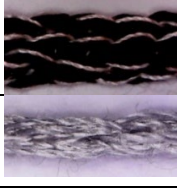
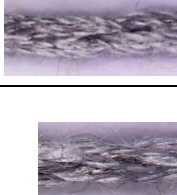
Utilizarea senzorilor pentru măsurarea umidității sau temperaturii pe bază de electrozi textili rezistivi permite măsurarea umidității sau temperaturii datorită modificării rezistenței de suprafață a electrodului textil în același timp cu modificarea umidității sau temperaturii la nivelul pielii. Analizând coeficientul de corelație dintre temperatură și umiditate ($r_{RH,T}$) s-a constatat că între nivelul umidității și temperaturii există o dependență slab pozitivă deoarece $r_{RH,T}$ are valoarea 0.0356.

Capitolul 5

Investigarea ritmului respirator

În cadrul tezei de doctorat, utilizând firele conductive și izolatoare prezentate anterior în tabelul 2.1 (capitolul 2), au fost realizate structuri textile tubulare (prezentate în tabelul 5.1) prin tricotat pentru a fi utilizate ca electrozi/senzori electrorezistivi în cadrul sistemelor pentru monitorizarea ritmului respirator. Structura tricotată având un grad de elasticitate ridicat, la inspirație își va mări lungimea iar la expirație va reveni la lungimea inițială generând astfel fluctuații ale rezistenței electrice și implicit valori numerice diferite ale tensiunii la intrare și la ieșire. În tabelul 5.1 sunt prezentate valorile numerice obținute experimental pentru rezistența electrică și capacitanță pentru câteva din structurile tubulare realizate pentru a fi utilizate ca electrozi/senzori. Senzorul (figura 5.34) realizat poate fi integrat în articole de îmbrăcăminte. În fazele de inspirație/expirație structura tubulară este extinsă suferind o deformare elastică, nu se deteriorează și facilitează modificarea ritmică a impedanței în fazele de inspirație/expirație [155].

Tabelul 5.1 *Proprietățile electroconductive ale electrozilor realizați*

Nr. crt.	Compoziție *Fir1, **Fir 2	Vedere 5x	***R ₁ [Ω]	****R ₂ [Ω]	*****C [nF]	T [°C]
1	Fir 1 -100 % Pa; Fir 2- 100% inox		5.7×10^2	17	0.14	25
2	Fir 1 – 100% Pa; Fir 2 – 80% inox, 20 % Pes		9.5×10^5	7.5×10^2	0.19	25
3	Fir 1 – 100% Pa; Fir 2 –20% inox + 80 % Pes		7×10^4	1.2×10^3	1.39	25
13	Fir 1 20 % inox + 80 % PES; Fir 2 65% mătase, 35% inox		7.8×10^2	1.7×10^2	0.16	25

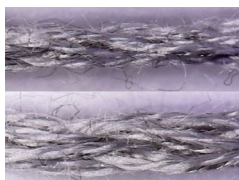


Figura 5.34 *Senzor tubular tricotat [155]*

Pentru monitorizarea respirației a fost utilizat senzorul tubular (figura 5.34) conectat la o placă de bază Arduino cu microprocesor Atmel 328 având tensiunea de lucru 4.5-5.5 V. Pentru citirea variației impedenței la 2 secunde semnalul continuu a fost discretizat (figura 5.37) utilizând frecvența de eșantionare de 0.5 Hz (5.30) [155].

$$f_e = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ Hz} \quad (5.30)$$

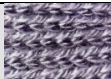
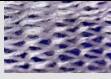
Pentru a obține valoarea impedenței a fost realizat un program utilizând o funcție void loop și o funcție de transfer pentru programarea microcontrolerului [155]. Pentru senzorii flexibili utilizați pentru monitorizarea respirației este important ca deformările să fie elastice pentru a permite contorizarea inspirațiilor sau expirațiilor pe minut. În cazul unei structuri cu elasticitate scăzută se pot produce deformări plastice sau structurale care nu vor mai permite senzorului să revină la poziția inițială și citirea variației impedenței va fi practic imposibilă [155].

Capitolul 6

Investigarea activității electrice a inimii

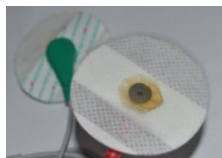
În cadrul acestui capitol sunt prezentate aspectele teoretice și practice privind evaluarea activității electrice a inimii. Pentru investigarea activității electrice a inimii se utilizează sisteme care monitorizează variația rezistenței de suprafață a corpului uman în diferite zone. În general, pentru achiziționarea acestor semnale electrice se utilizează electrozii umezi pe bază de electroliți sau gel conductiv lichid, electrozi adezivi cu gel solid sau electrozi metalici (din inox, orbitali, tip ventuză sau clește). În cadrul tezei de doctorat au fost realizați electrozi ECG textili (tabelul 6.1) care au fost ulterior integrați în cadrul unui sistem ECG₂ pentru monitorizarea semnalelor electrice produse de activitatea inimii.

Tabelul 6.1 *Electrozi ECG*

Denumire electrod	Electrod uscat	Electrod umed	Gel de electrod	Suport	Imagine
Electrod ECG flexibil realizat în cadrul tezei de doctorat	x	-	-	Suport textil (tricot realizat din bumbac, elastan și fire conductive (80% inox, 20% PES))	
Electrod ECG flexibil realizat în cadrul tezei de doctorat	x	-	-	Suport textil (tricot realizat din fire conductive (80% inox, 20% PES))	
Electrod ECG flexibil realizat în cadrul tezei de doctorat	x	-	-	Suport textil (tricot realizat din bumbac, elastan și fire conductive (100% inox))	
Electrod ECG flexibil realizat în cadrul tezei de doctorat	x	-	-	Suport textil (tricot realizat din fire conductive pe bază de fire (Pa electroplacată cu 99% Ag))	

Pentru realizarea sistemului de monitorizare a activității electrice a inimii, partea experimentală a constat în realizarea sistemului ECG₂ integrat în produsul textil (tricou).

De asemenea, am realizat un studiu comparativ între sistemul ECG₁ clasic format dintr-un bloc de condiționare a semnalului, 3 electrozi adezivi cu gel conductiv, cabluri și placă de bază ARDUINO pentru a achiziționa și trimite datele la aplicația desktop (figura 6.15 a și b), respectiv sistemul de monitorizare ECG₂ format dintr-un bloc de condiționare a semnalului, 3 electrozi textili conductivi (obținuți prin tricotarea firelor conductive pe bază de Pa și Ag) integrați în produsul textil, fire textile conductive și placă de bază ARDUINO (figura 6.16 a și b) [212].

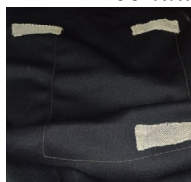


(a) [212]

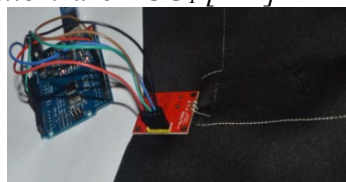


(b)

Figura 6.15 Sistem clasic pentru monitorizare ECG₁: (a) Electrozi clasici pe bază de gel conductiv; (b) Sistemul de monitorizare ECG₁ [212]



(a) [212]



(b) [212]

Figura 6.16 Sistem pe bază de electrozi textili pentru monitorizare ECG₂: (a) Electrozi textili integrați; (b) Sistemul de monitorizare ECG₂ pe bază de electrozi textili și fire textile conductive [212]

Blocul pentru condiționarea semnalului conține amplificator de instrumentație, amplificator operațional, amplificator RLD și referință.

Pentru filtrarea semnalelor au fost aplicate:

- filtre trece jos de 35 Hz, 50 Hz, 90 Hz, 100 Hz, 150 Hz și 200 Hz pentru semnalul provenit de la sistemul ECG₁, respectiv ECG₂;

- filtre trece sus de 0.01 Hz, 0.05 Hz, 0.1 Hz și 0.4 Hz pentru semnalul provenit de la sistemul ECG₁, respectiv ECG₂;

Pentru filtrarea zgomotului în cazul semnalului achiziționat de la sistemul ECG₂ pe bază de electrozi textili, acuratețea cea mai bună semnalului a fost pentru cazul în care s-a utilizat un filtru trece jos de 90 Hz și filtru trece sus de 0.05 Hz. Acest aspect se explică prin faptul că electrodul textil datorită structurii sale discrete nu oferă un contact la fel de uniform și continuu cu pielea, precum cel oferit de electrozii clasici pe bază de gel electroconductiv.

Capitolul 7

Investigarea ritmului cardiac

Pentru determinarea ritmului cardiac (pulsul) se utilizează metode optoelectronice cum ar fi fotopletismografia (PPG) în modul reflexie sau transmisie. Metoda fotopletismografiei se bazează pe fenomenul de absorbție, reflectanță și transmitanță a luminii în țesuturi [215]. Pentru a alege cea mai bună poziție pentru senzorul de puls wearable (PPG), am evaluat reflectanța și transmitanța pentru zona mâinii, degetelor și brațului, utilizând metoda spectrofotometrică (fotospectrometrică). Analizând raportul cumulativ reflectanță/transmitanță pentru zonele corpului selectate (deget arătător, braț drept, deget mare, mână) în funcție de lungimea de undă, se poate concluziona: i) se obține o transmisie mai bună a luminii dacă se utilizează fotopletismografia în modul de transmisie și lumină în UV-VIS (LED UV sau violet), ii) se obține o reflexie mai bună a luminii dacă utilizează fotopletismografia în modul de reflexie și sursa de lumină roșie (LED roșu).

Pentru măsurarea pulsului am realizat un sistem pe bază de senzori integrat în produsul textil. Pentru realizarea acestui sistem a fost utilizat un senzor optic conținând o fotodiodă și un LED IR (light emitting diode), rezistențe electrice, fire conductive și o placă de dezvoltare ARDUINO UNO cu microcontroler ATmega328P (figura 7.16). Rolul fotodiodei, care utilizează o diodă de joncțiune PN, este de a converti lumina (reflectată de țesuturi) în curent electric. Rolul LED IR este de a emite un flux luminos care poate fi parțial sau total absorbit de țesuturi și transformat căldură, restul de flux luminos fiind reflectat și captat de fotodiodă [245]. Pentru achiziționarea datelor s-a realizat o aplicație software, iar semnalele obținute au fost prelucrate în Matlab [245].



Figura 7.16 Placă de dezvoltare Arduino UNO, bazată pe ATmega328P microprocesor, utilizat pentru sistemul de monitorizare a ritmului cardiac [245]

Evaluarea emisiei și absorbției luminii a fost realizată pe baza înregistrărilor sensorului reflexiv compus din fotodiodă și LED IR. Pentru aceasta s-a pornit de la ipoteza că dacă lumina trece prin țesuturile umane, o parte din ea este absorbită iar o parte este reflectată. Sistemul de monitorizare a pulsului în modul reflexie a fost realizat prin integrarea unui senzor reflexiv pe un suport textil tricotat flexibil (figurile 7.17, 7.18). Pentru integrarea senzorului în materialul textil au fost eliminate componentele clasice (cabluri și rezistențe electrice) și înlocuite cu fire conductive sau rezistențe (R1 și R2) realizate din fire conductive (figurile 7.17 și 7.18) [245].

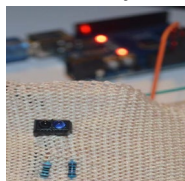


Figura 7.17 Sistem wearable pentru monitorizare puls integrat în produs textil cu ajutorul rezistențelor clasice [245]

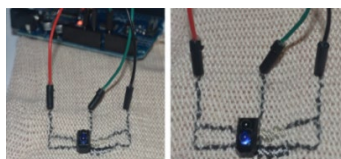


Figura 7.18 Sistem wearable pentru monitorizarea pulsului integrat în produs textil prin intermediul firelor conductive (4PLY, 2PLY) [245]

Schema circuitului pentru senzorul integrat în produsul textil a fost realizată în programul Simulink și este prezentată în figura 7.19 [245]. Pentru monitorizarea pulsului am utilizat o placă de dezvoltare ARDUINO având Microcontroler Atmel 328, cu tensiune de operare 4,5-5,5 V. Semnalul preluat de la Arduino a fost discretizat în Matlab prin utilizarea unei frecvențe de eșantionare (f_s) de 0,5 Hz, respectiv de 1 Hz.

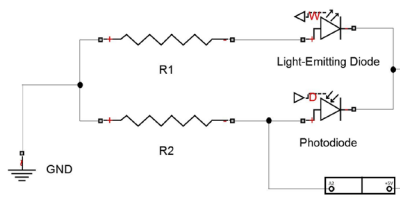


Figura 7.19 Senzor PPG integrat în produsul textil și conectat la placa de dezvoltare ARDUINO UNO [245]

Capitolul 8

Investigarea semnalelor electrice emise de creierul uman

În cadrul acestui capitol au fost prezentate aspecte teoretice privind investigarea semnalelor electrice emise de creier. Semnalele biomedicale selectate din cadrul bazei de date CAP Sleep Database au fost procesate în Matlab utilizând metoda wavelet și funcția Daubechies. O serie de semnale selectate au fost analizate utilizând rețelele neuronale artificiale feed-forward pe baza algoritmului de optimizare Levenberg–Marquardt backpropagation. Utilizând semnalele selectate au fost evaluate corelațiile și covariațiile dintre semnalele biomedicale emise de creier (EEG), mușchi (EMG) și puls (PPG).

Pentru analiza predictivă a fost utilizată metoda rețelor neuronale artificiale feed-forward pe baza algoritmului de optimizare Levenberg–Marquardt backpropagation.

Elementele funcționale utilizate în cadrul rețelelor neuronale sunt [259]:

- ➔Unitățile de intrare (Input) reprezentate de valorile matricii EEG1 pentru pacienții cu crize de epilepsie
- ➔Unitățile ascunse (Hidden) reprezentate de numărul de neuroni (10, 20, 30, 40, 50, 100, 150 și 200 de neuroni).
- ➔Unitatea de ieșire (Output) reprezentată de valorile matricii EEG2 pentru pacienții care nu prezintă crize de epilepsie.

Predictția și optimizarea au fost realizate utilizând rețele neuronale multistrat feed-forward backpropagation. Datele de intrare sunt variabilele independente reprezentate de matricea de intrare $X1$ [13x5120] obținută pe baza semnalului EEG1 achiziționat de la un pacient când nu are crize epilepsie. Datele de ieșire sunt variabilele dependente reprezentate de matricea de ieșire $Y1$ [13x5120] obținută pe baza semnalului EEG2 achiziționat de la pacientul care prezintă crize de epilepsie [259].

Din valorile regresiei (R) pentru testare, antrenare, validare și regresia cumulativă rezultă că R are valoarea cea mai mare pentru rețeaua neuronală cu 200 de neuroni ($R_{\text{Training}}=0.92796$, $R_{\text{Test}}=0.83147$, $R_{\text{Validation}}=0.82298$, $R_{\text{all}}=0.88956$), dar dezavantajul constă în faptul că antrenarea unei rețele cu 200 de neuroni necesită aproximativ 60-70 de minute pentru antrenare, testare și validare. De asemenea, s-a constatat că utilizarea unei rețele cu număr mare de neuroni (200) conduce la diminuarea erorilor.

Din analiza covarianțelor și corelațiilor dintre perechile de semnale biomedicale EMG, PPG și EEG corespunzând pacientului fără crize de epilepsie, respectiv pacientului cu crize de epilepsie rezultă că există o corelație pozitivă și o covariație directă între

aceste perechi de semnale care ar putea fi exploatată pentru realizarea analizelor predictive utilizând rețelele neuronale sau sistemele bazate pe decizie [259].

Capitolul 9

Servicii Cloud Computing și IoMT pentru monitorizare

În cadrul acestui capitol sunt prezentate principalele aspecte teoretice și practice privind aplicațiile pentru monitorizarea medicală utilizând servicii de tip IoMT, Cloud Computing și anonimizarea datelor. Sistemele IoMT pot prezenta vulnerabilități și trebuie proiectate astfel încât să se minimizeze aspectele negative și să se asigure protecția datelor personale prin utilizarea serviciilor tip cloud privat și anonimizarea datelor utilizate pentru statistică [316, 317, 318]. În cadrul tezei de doctorat au fost realizate: a) un sistem pentru monitorizarea parametrilor vitali utilizând o platformă IoT și servicii Cloud Computing; b) anonimizarea datelor utilizând tehnica confidențialității diferențiale; c) o aplicație software VitalSense care permite achiziționarea semnalelor biomedicale de la senzori și stocarea acestora în baza de date vitalsense. Pentru monitorizarea parametrilor biomedicali utilizând platforma IoT și serviciile Cloud Computing am realizat un sistem pentru monitorizare (figura 9.12) integrând următoarele componente [305]:

- placă de dezvoltare Arduino pe bază de microcontroler Atmega32U4 CMOS 8-bit utilizând arhitectura AVR Atmel RISC și modul WiFi Atheros AR9331 [305];
- un senzor PPG în modul reflexie având componente funcționale cum ar fi un fototranzitor și un LED verde;
- un senzor analogic de temperatură/umiditate și o baterie externă de 3000 mAh.

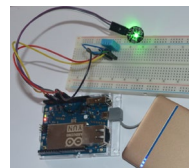


Figura 9.12 Sistem pentru monitorizare biomedicală utilizând servicii IoT și Cloud Computing SaaS

Pentru programarea microcontrolerului s-a realizat o aplicație software care permite citirea datelor de la senzorii analogici. În cazul sensorului pentru puls, sensorul a fost definit în platforma IoT ca variabilă iar autentificarea dispozitivului electronic în platforma IoT s-a realizat cu ajutorul unui token asociat. Pentru serviciile IoT și Cloud Computing a fost utilizată interfața web API REST (Application Programming Interface) care permite conectarea dispozitivelor și stocarea unei cantități de date în cloud. Pentru conectarea la interfața web am utilizat un token obținut pentru cererea de conectare a dispozitivului (figura 9.13). Datele inițiale achiziționate au necesitat procesarea semnalului în Matlab [305].

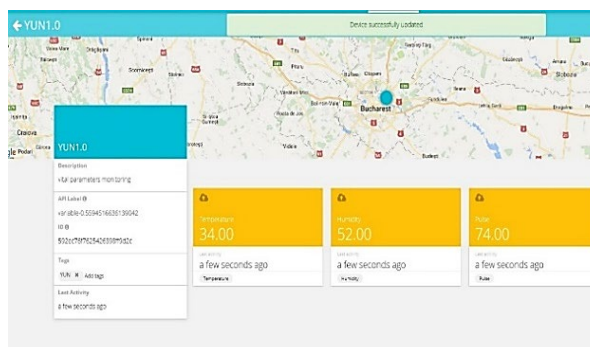


Figura 9.13 Serviciul Cloud PaaS pentru achiziționarea datelor de la sistem [305]

Datele transmise sunt salvate în cloud, afișate în timp real și pot fi utilizate pentru a trimite alerte tip SMS/email în cazul monitorizării pacienților prin setarea unor valori critice minime și maxime pentru parametrii monitorizați (figura 9.15). Acest sistem permite trimiterea notificărilor către personalul medical și vizualizarea datelor în timp real (figura 9.16) [305].

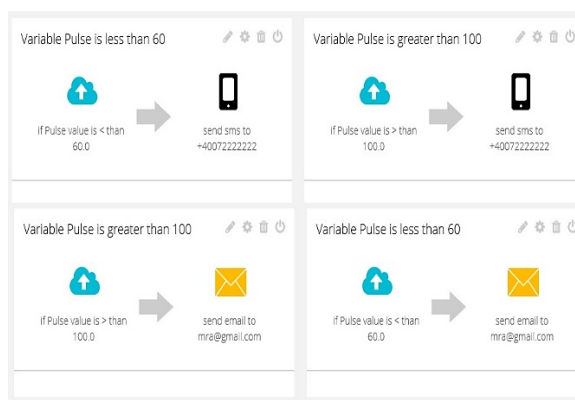


Figura 9.15 Valorile critice pentru setarea alertelor SMS/email [305]

Aplicația VitalSense permite achiziționarea datelor numerice de la senzorii alocați fiecărui pacient utilizând senzorii conectați la o placă de dezvoltare Arduino care poate transmite datele wireless sau utilizând transmisia prin intermediul unui cablu USB la un

PC. Aplicația VitalSense permite citirea datelor și salvarea acestora în baza de date vitalsense. Arhitectura software pentru aplicația VitalSense (figura 9.17) include componentele hardware care asigură achiziționarea datelor (senzori biomedicali, placă de dezvoltare Arduino, convertor A/D, modulul de comunicare RF) și componentele software ale aplicației VitalSense care asigură colectarea, salvarea, vizualizarea, ștergerea și stocarea datelor în baza de date vitalsense. Pentru proiectarea arhitecturii software, aplicația VitalSense a fost divizată ierarhic în microcomponente interconectate, module și obiecte software necesare realizării aplicației software.

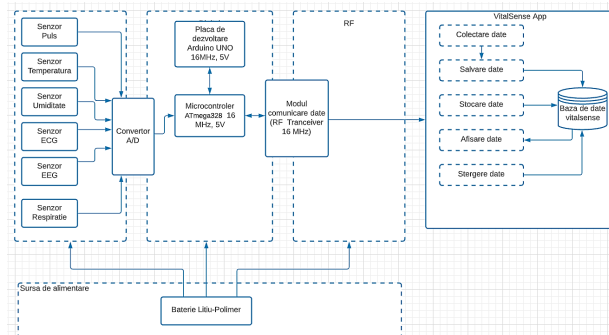


Figura 9.17 Arhitectura software – aplicația VitalSense

Datele specifice utilizatorilor (doctori sau pacienți) sunt stocate într-o bază de date VitalSense MySQL. Administratorul unității medicale are posibilitatea de a crea conturile pentru doctorii afiliați unității medicale iar datele vor fi stocate în tabela doctor. Utilizatorul doctor are posibilitatea de a crea conturile pentru pacienții alocați iar informațiile vor fi stocate în tabela pacient. Utilizatorii pacienți nu au drepturi de a crea conturi și a vizualiza informațiile aferente utilizatorului doctor. Baza de date vitalsense conține și 6 tabele pentru stocarea datelor de la senzorii ECG, temperatura, respirație, puls, umiditate, EEG. În figura 9.29 este prezentată diagrama relațiilor pentru baza de date vitalsense.

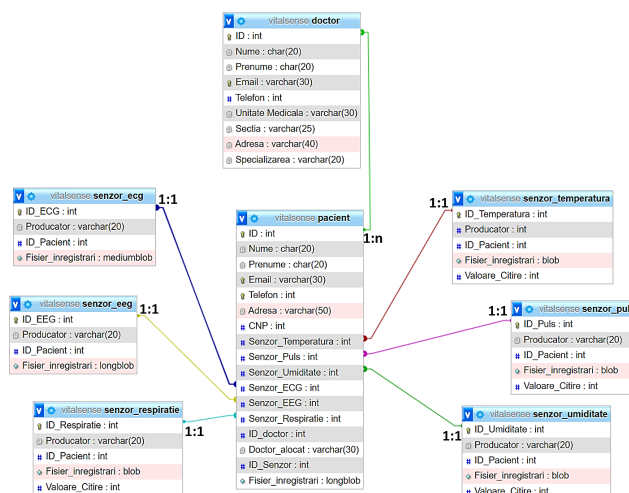


Figura 9.29 Diagrama relațiilor pentru baza de date vitalsense

Capitolul 10

Concluzii

Evoluțiile în domeniul internetului au permis dezvoltarea și integrarea tehnologiilor IoT, IoMT sau Cloud Computing pentru a fi utilizate în monitorizarea medicală la distanță. Tendința spre miniaturizarea componentelor electronice pentru integrarea în dispozitive wearable realizate prin tehnologii avansate, au impulsat nevoia de a dezvolta noi materiale conductive, flexibile și ușoare care pot fi ușor integrate în produse purtabile, generând astfel o direcție nouă de cercetare, înrudită cu medicina preventivă personalizată, a produselor destinate monitorizării biomedicale personale pentru a obține detalii despre parametri vitali utilizând tehnologia comunicării la distanță (remote) pentru a furniza datele personalului medical sau pacienților.

10.1 Rezultate obținute

În capitolul 1 este prezentat domeniul tezei de doctorat (domeniul sistemelor de monitorizare bazate pe senzori integrați în produse textile) și continuă cu descrierea scopului prezentei teze de doctorat și obiectivele propuse pentru îndeplinirea acestuia.

În capitolul 2 sunt prezentate datele tehnice pentru materiile prime utilizate pentru obținerea electrozilor și senzorilor textili prin tehnologii de prelucrare mecanică (tricotare). Utilizând microscopia optică și electronică de baleiaj s-a realizat analiza morfologiei suprafețelor firelor conductive și izolatoare care a pus în evidență prezența micro/nano particulelor de Ag, Al, C sau inox pe firele conductive. Prin determinarea rezistenței electrice de suprafață a structurilor tricotate au fost obținute informații utile în definirea grupei de structuri care pot fi utilizate ca electrozi textili în sistemele de monitorizare. În cadrul acestui capitolul este prezentată o selecție preliminară a structurilor tricotate care pot fi utilizate ca elemente izolatoare sau electrozi în cadrul sistemelor de monitorizare a umidității, conductivității, ritmului respirator, cardiac și a activității electrice a inimii (ECG).

În capitolul 3 este prezentat un studiu științific privind dispozitivele wearable pentru monitorizarea parametrilor biomedicali, topologia rețelelor de senzori adecvate pentru monitorizarea biomedicală personală (BAN, WBAN, MBAN și PAN) precum și a tehnologiilor de comunicare a datelor (Bluetooth BLE, ANT, ZigBee, ANT, WiFi, LoRa).

În capitolul 4 este prezentat programul realizat pentru programarea microcontrolerului și un sistem de monitorizare a temperaturii și umidității realizat prin integrarea unor

componente electrice cum ar fi placa de dezvoltare Arduino cu procesor Atmel, modul de comunicare Bluetooth, senzor de temperatură, senzor GSR și electrozi textili pentru măsurarea temperaturii și umidității pentru o anumită zonă a corpului uman. Semnalele achiziționate au fost procesate în Matlab pentru reducerea zgomotului. Datorită faptului că suprafețele textile electroconductive își modifică rezistența electrică de suprafață la variațiile umidității și temperaturii, este evident că electrozii textili au potențial de a fi utilizați ca senzori rezistivi pentru măsurarea umidității și temperaturii. De asemenea, în cadrul acestui capitol este prezentat și un studiu științific privind mecanismele care controlează și determină variația temperaturii și umidității la nivelului corpului uman.

În capitolul 5 sunt prezentați cei 2 senzori electrorezistivi realizați prin coaserea firului conductiv (100% Pa 6.6 electroplacată cu Ag) pe o structură textilă realizată prin tricotare (100% bambus), respectiv prin realizarea unei structuri tubulare conductive din 4 ochiuri. Senzorii textili electrorezistivi realizați au fost testați în cadrul sistemelor de monitorizare a respirației utilizând o placă de dezvoltare Arduino pentru care a fost realizat un program care permite programarea microcontrolerului și calcularea ritmului respirator. Tot în cadrul acestui capitol sunt prezentate și caracteristicile fizico-mecanice și electrice ale firelor și electrozilor tubulari conductivi realizați pentru a fi utilizați ca senzori tensiometrici rezistivi care își modifică rezistența electrică atunci când se alungesc (în faza de inspirație rezistența electrică scade) sau revin din alungire (în faza de expirație când rezistența electrică revine la valoarea inițială). De asemenea, este prezentat un studiu științific privind metodele de determinare a ritmului respirator utilizând sistemele wearable.

În capitolul 6 sunt prezentate cele 4 structuri tricotate realizate cu fire conductive (100% inox, Pa electroplacată cu 99% Ag, 80% inox și 20% poliester), care pot fi utilizate ca electrozi integrați în produse de îmbrăcăminte pentru monitorizare ECG. De asemenea, este prezentat sistemul de monitorizare cu 3 derivații, compus din 3 electrozi tricotati din fire Pa electroplacată cu 99% Ag integrați într-un tricou, bloc pentru condiționarea semnalelor (amplificator de instrumentație, amplificator operațional, amplificator RLD și referință) conectat la electrozii textili prin fire electroconductive, placă de dezvoltare Arduino pentru achiziționarea semnalelor și transmiterea către aplicația desktop. Sistemul realizat pe bază de electrozi textili electroconductivi (ECG₂) a fost testat în comparație cu un sistem de monitorizare ECG₁ care utilizează electrozi clasici pe bază de gel electroconductiv. Semnalele achiziționate de la cele 2 sisteme ECG₁ și ECG₂ au fost procesate în Matlab pentru reducerea zgomotului utilizând filtre trece jos de 35, 50, 90, 100, 150 și 200 Hz și filtre trece sus de 0.01, 0.05, 0.1 și 0.4 Hz. Ca urmare a analizei semnalelor achiziționate prin intermediul sistemului ECG₂ pe bază de electrozi textili s-a constatat că se poate obține un semnal cu o acuratețe bună utilizându-se un filtru trece jos de 90 Hz și un filtru trece sus de 0.05 Hz. De asemenea, în cadrul acestui capitol sunt prezentate pe scurt principalele metode, tipuri de electrozi ECG și sisteme wearable pentru investigarea activității electrice a inimii utilizând electrozi textili.

În capitolul 7 este prezentat sistemul de monitorizare a pulsului realizat prin integrarea într-un material textil cu ajutorul firelor conductive a unor rezistori realizați din fire conductive și a unei plăci de dezvoltare Arduino. Semnalul achiziționat a fost procesat în Matlab pentru reducerea zgomotului. De asemenea, a fost realizat un studiu științific utilizând metoda fotospectrometrică pentru determinarea reflectanței și transmitanței în țesurile umane în 4 zone ale corpului (braț, mână, degete) pentru a stabili tipurile de fotopletismografie care se pot utiliza. Tot în cadrul capitolului este

prezentat și un studiu teoretic privind monitorizarea ritmului cardiac prin metoda pletismografiei și determinarea absorbției, reflectanței și transmitanței radiațiilor, având diferite lungimi de undă, în țesurile umane utilizând metoda spectrofotometrică.

În capitolul 8 este prezentată procesarea în Matlab a semnalelor EEG, selectate din Cap Sleep Database, și o analiză a semnalelor pe baza rețelelor neuronale feed-forward utilizând algoritmul de optimizare Levenberg–Marquardt backpropagation. De asemenea, pentru semnalele respective a fost realizată și o analiză a corelațiilor și covariațiilor între semnalele biomedicale emise de creier (EEG) sau mușchi (EMG) și puls (PPG). De asemenea, în cadrul capitolului este prezentat un studiu documentar privind achiziționarea semnalelor electrice emise de creier.

În capitolul 9 sunt prezentate rezultatele obținute cum ar fi un sistem pentru monitorizare realizat pe bază de senzori (puls, umiditate, temperatură) utilizând o placă de dezvoltare compatibilă cu aplicațiile IoT pentru care a fost realizat un program pentru conectarea senzorului la platforma IoT și testarea sistemului; anonimizarea datelor utilizând metoda confidențialității diferențiale; o bază de date vitalsense și aplicația VitalSense care permite afișarea datelor de la senzori pentru pacientul selectat, căutarea datelor în baza de date și stocarea datelor în baza de date vitalsense. De asemenea, în cadrul acestui capitol au fost prezentate principalele aspecte teoretice și practice privind aplicațiile pentru monitorizarea medicală utilizând servicii tip IoMT, Cloud Computing și anonimizarea datelor pacienților prin metoda confidențialității diferențiale.

În capitolul 10 sunt prezentate concluziile acestei lucrări privind rezultatele obținute în urma cercetării prezentate în cadrul acestei teze de doctorat, punându-se în evidență rezultatele obținute, contribuțiile originale, lista de lucrări originale relevante pentru domeniul studiat și perspectivele de dezvoltare în viitor.

10.2 Contribuții originale

Principalele contribuții originale diseminate în cadrul publicațiilor științifice prezentate și conținând aspecte referitoare la electrozii textili conductivi, analiza fotospectrometrică a reflectanței/transmitanței, sistemele de monitorizare integrând componente electroconductive textile, programele realizate pentru programarea microcontrolerelor, procesarea semnalelor, analiza predictivă pe baza rețelelor neuronale, corelațiilor și covariației dintre diferite semnale biomedicale, sunt următoarele:

- În [A2, C10, C11, C14] sunt prezentate structuri textile conductive realizate prin tricotare și testate din punct de vedere electric care pot fi utilizate ca electrozi pentru sisteme wearable de monitorizare ECG sau a temperaturii și umidității.
- În [C5] este prezentat sistemul ECG realizat cu 3 derivații și compus din 3 electrozi tricotati din fire Pa electroplacată cu 99% Ag, un bloc pentru condiționarea semnalelor (amplificator de instrumentație, amplificator operațional, amplificator RLD și referință) conectat la electrozii textili prin fire electroconductive, placă de bază Arduino pentru achiziționarea semnalelor și transmiterea către aplicația desktop. Pentru analiza comparativă a semnalelor achiziționate au fost utilizate 2 sisteme de monitorizare ECG, primul (ECG₁) pe bază de electrozi clasici cu gel electroconductiv și al doilea (ECG₂) pe bază de electrozi textili conductivi. Semnalele achiziționate de

la cele 2 sisteme de monitorizare ECG au fost procesate pentru reducerea zgomotului în Matlab.

- În [C16, B9] este prezentat sistemul realizat pentru monitorizarea umidității și temperaturii integrând senzori de umiditate, temperatură, electrozi textili, placa de dezvoltare Arduino și modulul de comunicare Bluetooth. Semnalele achiziționate au fost procesate în Matlab pentru reducerea zgomotului. Pentru acest sistem a fost realizată o aplicație software care permite programarea microcontrolerului și calcularea temperaturii și umidității. Acest sistem prezintă o importanță deosebită pentru monitorizarea medicală în cazul pacienților cu diabet.
- În [C6, C8] sunt prezentați cei 2 senzori electrorezistivi realizați prin coaserea firului conductiv (100% Pa 6.6 electroplacată cu Ag) pe o structură textilă realizată prin tricotare (100% bambus), respectiv prin realizarea unei structuri tubulare conductive din 4 ochiuri. Senzorii textili electrorezistivi realizați au fost testați din punct de vedere fizico-mecanic, electric și în cadrul sistemelor de monitorizare a respirației utilizând o placă de dezvoltare Arduino pentru care a fost realizat un program care permite programarea microcontrolerului și calcularea ritmului respirator. Deoarece în faza de expirație și inspirație nu se produce un semnal electric, pentru investigarea ritmului respirator a fost realizat un sistem care înregistrează variația rezistenței electrice a electrozilor conductivi realizați în momentul inspirației (când electrodul se alungește rezistența electrică scade) și expirației (când electrodul revine din alungire și rezistența electrică crește din nou până la valoarea inițială).
- În [C2, C7] este prezentată o parte din studiul științific privind determinarea reflectanței și transmitanței în țesurile umane în 4 zone ale corpului (braț, mână, degete), cu ajutorul spectrofotometrului. De asemenea, este prezentat sistemul de monitorizare a pulsului realizat prin integrarea într-un material textil cu ajutorul firelor conductive a următoarelor componente: rezistențe electrice textile, LED, fotodiodă și placă de dezvoltare Arduino al carei microcontroler a fost programat pe baza programului realizat pentru monitorizarea respirației. Semnalul achiziționat a fost procesat în Matlab pentru reducerea zgomotului.
- În [C3] este prezentat un sistem pentru monitorizare realizat pe bază de senzori (puls, umiditate, temperatură) utilizând o placă de dezvoltare compatibilă cu aplicațiile IoT pentru care a fost realizat un program pentru conectarea senzorului la platforma IoT și testarea sistemului.
- În [A1, C1, C4] sunt prezentate aspecte legate de procesarea semnalelor EEG în Matlab utilizând transformata wavelet discretă, analiza predictivă a datelor pe baza tehnicilor de inteligență artificială cum ar fi rețelele neuronale artificiale feed-forward pe baza algoritmului de optimizare Levenberg–Marquardt backpropagation, precum și analiza corelațiilor și covariațiilor dintre semnalele biomedicale emise de creier (EEG) sau mușchi (EMG) și puls (PPG).
- În [B3, B8, C9] este prezentată o aplicație pentru modelarea predictivă a datelor utilizând tehnici de inteligență artificială (machine learning) și fuziunea datelor achiziționate de la senzori prin intermediul unor tehnici statistice specifice (data mining) pentru dezvoltarea sistemelor suport bazate pe decizie.
- În [C12, C13] sunt prezentate aspecte legate de stocarea datelor achiziționate de la senzori utilizând servicii cloud computing, anonimizarea și fuziunea datelor medicale pentru a genera modele predictive utile în sistemele suport bazate pe decizii.
- În [B1, B2, B4, B5, B6] sunt prezentate aspecte teoretice și practice realizate privind securitatea datelor în sistemele de monitorizare la distanță și protejarea datelor prin anonimizare utilizând metoda confidențialității diferențiale, în contextul utilizării

tehnologiilor Cloud Computing și IoMT. Anonimizarea s-a realizat pentru a utiliza datele în analize predictive publice.

- În [B5, B7] sunt prezentate studii științifice documentare despre tehnologiile wearable pentru monitorizare la distanță utilizând comunicarea prin unde radio (radio cognitive) în contextul utilizării tehnologiilor IoT sau IoMT.
- În [B10, B11, C15] sunt prezentate studii teoretice privind dispozitivele wearable, tipurile și topologia rețelelor de senzori utilizați pentru monitorizarea personală.

10.3 Lista lucrărilor originale

Lista de lucrări originale cuprinde 11 capitole de cărți, 2 lucrări științifice publicate în reviste științifice indexate ISI și 16 lucrări publicate în volumele indexate ISI ale unor conferințe și simpozioane internaționale, totalizând un număr de 37 de citări ISI, 16 citări IEEE și 2 citări SCOPUS. Toate lucrările științifice se regăsesc în bibliografie și au conținutul legat de tematica tezei de doctorat.

I. Capitole de cărți

B1: R.M. Aileni, G. Suci, C. Valderrama, S. Pasca, IoT Performability for Medical Wearable Device by Data Privacy and Fault Tolerance, In: Idoudi H., Val T. (eds) Smart Systems for E-Health, Advanced Information and Knowledge Processing, Springer, Cham., 2021, Print ISBN: 978-3-030-14938-3, Online ISBN: 978-3-030-14939-0, DOI: 10.1007/978-3-030-14939-0_5 [316].

B2: R.M. Aileni, G. Suci, IoMT: A Blockchain Perspective, In: Khan M., Quasim M., Algarni F., Alharthi A. (eds) Decentralised Internet of Things, Studies in Big Data, vol 71, Springer, Cham., 2021, Print ISBN: 978-3-030-38676-4, Online ISBN: 978-3-030-38677-1, DOI: 10.1007/978-3-030-38677-1_9 [322]. Nr citări SCOPUS: 1, Nr citări ISI: 5.

B3: R.M. Aileni, G. Suci, S. Pasca, C.A. Valderrama Sukuyama, Data Fusion-Based AI Algorithms in the Context of IIoTS, In: Kanagachidambaresan G., Anand R., Balasubramanian E., Mahima V. (eds) Internet of Things for Industry 4.0, EAI/Springer Innovations in Communication and Computing, Springer, Cham., pp.17-38, 2020, Print ISBN: 978-3-030-32529-9, Online ISBN: 978-3-030-32530-5, DOI: 10.1007/978-3-030-32530-5_2 [312]. Nr citări ISI: 3.

B4: R.M. Aileni, G. Suci, C. Valderrama Sukuyama, S. Pasca, R. Maheswar, Cybersecurity Technologies for the Internet of Medical Wearable Devices (IoMWD), In: Shandilya S., Wagner N., Nagar A. (eds) Advances in Cyber Security Analytics and Decision Systems, EAI/Springer Innovations in Communication and Computing, Springer, Cham., pp.117-140, 2020, Print ISBN: 978-3-030-19352-2, Online ISBN: 978-3-030-19353-9, WOS:000670754200007, DOI: 10.1007/978-3-030-19353-9_6 [318]. Nr citări IEEE: 1, Nr citări ISI: 1.

B5: R.M. Aileni, G. Suci, C.A. Valderrama Sukuyama, S. Pasca, Internet of Things and Communication Technology Synergy for Remote Services in Healthcare, In: Gupta N., Paiva S. (eds) IoT and ICT for Healthcare Applications, EAI/Springer Innovations in Communication and Computing. Springer, Cham., pp. 59-82, 2020, Print ISBN: 978-3-030-42933-1, Online ISBN: 978-3-030-42934-8, DOI: 10.1007/978-3-030-42934-8_5 [295].

B6: R.M. Aileni, G. Suci, M. Rajagopal, S. Pasca, C.A. Valderrama Sukuyama,

Data Privacy and Security for IoMWT (Internet of Medical Wearable Things) Cloud, In: Gupta N., Paiva S. (eds) IoT and ICT for Healthcare Applications. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing, Springer, Cham., pp. 191-215, 2020, Print ISBN: 978-3-030-42933-1, Online ISBN: 978-3-030-42934-8, DOI: 10.1007/978-3-030-42934-8_11 [317]. Nr citări SCOPUS: 1, Nr citări ISI: 1.

B7: R.M. Aileni, G. Suci, V. Suci, S. Pasca, R. Strungaru, Health Monitoring Using Wearable Technologies and Cognitive Radio for IoT, In: Rehmani M., Dhaou R. (eds) Cognitive Radio, Mobile Communications and Wireless Networks, EAI/Springer Innovations in Communication and Computing, Springer, Cham., pp. 143-165, 2019, Print ISBN: 978-3-319-91001-7, Online ISBN: 978-3-319-91002-4, WOS:000456340100006, DOI: 10.1007/978-3-319-91002-4_6 [76]. Nr. citări ISI: 5.

B8: R.M. Aileni, G. Suci, V. Suci, J. Ciurea, S. Pasca, Assistive Mobile Technologies for Health Monitoring and Brain-Computer Interface for Patients with Motor Impairments, In: Paiva S. (eds) Mobile Solutions and Their Usefulness in Everyday Life, EAI/Springer Innovations in Communication and Computing, Springer, Cham., pp. 209-224, 2019, Print ISBN: 978-3-319-93490-7, Online ISBN: 978-3-319-93491-4, DOI: 10.1007/978-3-319-93491-4_11 [310]. Nr. citări ISI: 1.

B9: R.M. Aileni, A.C. Valderrama and R. Strungaru, Wearable electronics for elderly health monitoring and active living, In Ambient Assisted Living and Enhanced Living Environments, pp. 247-269, 2017, Butterworth-Heinemann, ISBN: 978-0-12-805282-2; 978-0-12-805195-5, WOS:000413778000011, DOI:10.1016/B978-0-12-805195-5.00010-7 [101]. Nr. citări ISI: 5.

B10: R.M. Aileni, G. Suci, C.M. Balaceanu, C. Beceanu, P.A. Lavinia, C.V. Nadrag, S. Pasca, C.A. Valderrama Sakuyama and A. Vulpe, Body Area Network (BAN) for Healthcare by Wireless Mesh Network (WMN), In: Maheswar R., Kanagachidambaresan G., Jayaparvathy R., Thampi S. (eds) Body Area Network Challenges and Solutions, EAI/Springer Innovations in Communication and Computing, Springer, Cham., pp.1-17, 2019, Print ISBN:978-3-030-00864-2, Online ISBN:978-3-030-00865-9, WOS:000618315800002, DOI:10.1007/978-3-030-00865-9_1 [309]. Nr. citări ISI: 3.

B11: R. M. Aileni, S. Pasca and C. V. Sukuyama, Wearable health care: Technology evolution, algorithms and needs, in Book Enhanced Living Environments: From Models to Technologies, IET, pp. 315-343, 2017, ISBN: 9781785612114, e-ISBN: 9781785612121, DOI: 10.1049/PBHE010E_ch [25].

II. Articole publicate în reviste științifice

A1: R.M. Aileni, S. Pasca and A. Florescu, EEG-brain activity monitoring and predictive analysis of signals using artificial neural networks, Sensors, 20(12), p.3346, 2020, WOS:000553489200001 (Q1 journal article, Impact Factor: 3.576), eISSN: 1424-8220, DOI: 10.3390/s20123346 [259]. Nr. citări ISI: 5.

A2: R. M. Aileni, L. Dinca, S. Pasca, S. and R. Strungaru, Flexible material for wearable ECG electrodes, University Politehnica of Bucharest Scientific Bulletin Series C-Electrical Engineering and Computer Science, 79(2), pp.127-132, 2017, WOS:000405770800012, ISSN: 2286-3540, eISSN: 2286-3559 [3].

III. Lucrări în volumele manifestărilor științifice internaționale (conferințe, simpozioane) indexate ISI:

C1: R.M. Aileni, S. Pasca and A. Florescu, Epileptic seizure classification based on supervised learning models, In 2019 11th International Symposium on Advanced

Topics in Electrical Engineering (ATEE), IEEE, pp. 1-4, 2019, March, WOS:000475904500159, ISBN: 978-1-4799-7514-3, ISSN: 1843-8571, DOI: 10.1109/ATEE.2019.8725004 [263]. Nr. citări ISI: 1.

C2: R.M. Aileni, S. Pasca and A. Florescu, E-health monitoring by smart pulse oximeter systems integrated in SDU, In 2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), IEEE, pp. 1-4, 2019, March, WOS:000475904500023, ISBN: 978-1-4799-7514-3, ISSN: 1843-8571, DOI: 10.1109/ATEE.2019.8724865 [247]. Nr. citări IEEE: 2; Nr. citări ISI: 1.

C3: R.M. Aileni, S. Pasca and G. Suci, MIoT applications for wearable technologies used for health monitoring, In 2018 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), IEEE, pp. 1-4, 2018, June, WOS:000467734100138, ISBN: 978-1-5386-4901-5, ISSN: 2378-7147, DOI: 10.1109/ECAI.2018.8679069 [305]. Nr. citări ISI: 2.

C4: R.M. Aileni, B. Hurezeanu and S. Pasca, Wavelet transform for seizures detection in EEG Records, In 2018 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), IEEE, pp. 1-6, 2018, June, WOS:000467734100046, ISBN: 978-1-5386-4901-5, ISSN: 2378-7147, DOI: 10.1109/ECAI.2018.8678976 [264].

C5: R.M. Aileni, S. Pasca and R. Strungaru, Wearable platform for cardiac rhythm monitoring and signal processing, In 2017 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), IEEE, pp. 1-4, 2017, June, WOS:000425865900115, ISBN: 978-1-5090-6458-8, ISSN: 2378-7147, DOI: 10.1109/ECAI.2017.8166499 [212].

C6: R.M. Aileni, S. Pasca, R. Strungaru and C. Valderrama, Biomedical signal acquisition for respiration monitoring by flexible analog wearable sensors, In 2017 E-Health and Bioengineering Conference (EHB), IEEE, pp. 81-84, June, 2017, WOS:000445457500021, ISBN: 978-1-5386-0358-1, ISSN: 2575-5137, eISSN: 2575-5145, DOI: 10.1109/EHB.2017.7995366 [141]. Nr. citări ISI: 1, Nr. citări IEEE: 1.

C7: R.M. Aileni, S. Pasca and R. Strungaru, Heart rate monitoring by using non-invasive wearable sensor, In 2017 E-Health and Bioengineering Conference (EHB), IEEE, pp. 587-590, IEEE, 2017, June, WOS:000445457500147, ISBN: 978-1-5386-0358-1, ISSN: 2575-5137, eISSN: 2575-5145, DOI: 10.1109/EHB.2017.7995492 [245]. Nr. citări ISI: 3.

C8: R.M. Aileni, L. Dinca, S. Pasca and R. Strungaru, Flexible structures with electro-conductive properties for wearable electronic devices, In 2016 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), IEEE, pp. 1-5, 2016, June, WOS:000392434400094, ISBN: 978-1-4673-9575-5, DOI: 10.1109/ISFEE.2016.7803242 [156].

C9: R.M. Aileni, Healthcare Predictive Model Based on Big Data Fusion from Biomedical Sensors, In Conference proceedings of eLearning and Software for Education (eLSE), No. 01, pp. 328-333, "Carol I" National Defence University Publishing House, 2016, WOS:000385395900046, ISSN: 2066-026X, DOI: 10.12753/2066-026x-16-046 [303].

C10: R.M. Aileni and L. Dinca, Optimization of the electro-conductive yarns distribution in flexible wearable dielectric structures, In 2015 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), IEEE, pp. 539-542, 2015, May, WOS:000368159800102, ISBN: 978-1-4799-7514-3, DOI: 10.1109/ATEE.2015.7133879 [157].

C11: R.M. Aileni and L. Dinca, Electroconductive materials with high potential

for wearable electronic devices integration, In 2015 7th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), IEEE, pp. Y-5, 2015, June, WOS:000370971100033, ISBN: 978-1-4673-6647-2, ISSN: 2378-7147, DOI: 10.1109/ECAI.2015.7301168 [300]. Nr. citări IEEE: 1.

C12: R.M. Aileni, S. Pasca and C. Valderrama, Cloud computing for big data from biomedical sensors monitoring, storage and analyze, In 2015 conference grid, Cloud & High Performance Computing in science (ROLCG), IEEE, pp. 1-4, 2015, October, WOS:000380444300013, ISBN: 978-6-0673-7039-3, DOI: 10.1109/ROLCG.2015.7367419 [287]. Nr. citări IEEE: 2.

C13: R.M. Aileni, S. Pasca and C. Valderrama, Biomedical sensors data fusion algorithm for enhancing the efficiency of fault-tolerant systems in case of wearable electronics device, In 2015 Conference Grid, Cloud & High Performance Computing in Science (ROLCG), IEEE, pp. 1-4, 2015, October, WOS:000380444300002, ISBN: 978-6-0673-7039-3, DOI: 10.1109/ROLCG.2015.7367228 [143]. Nr. citări IEEE: 3.

C14: R.M. Aileni and L. Surdu, Obtaining the optimal surface for electronic device deposition using nanotechnologies, in International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), IEEE, pp.1-4, 2014, November, WOS:000380570500017, ISBN:978-1-4799-6821-3, DOI: 10.1109/ISFEE.2014.7050549 [299].

C15: R.M. Aileni, P. Bruniaux and R. Strungaru, Wearable sensors modeling for healthcare, In International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), IEEE, pp.1-4, 2014, November, WOS:000380570500054, ISBN:978-1-4799-6821-3, DOI:10.1109/ISFEE.2014.7050586 [302]. Nr. citări IEEE: 3.

C16: R.M. Aileni, C. Valderrama, S. Pasca and R. Strungaru, Skin conductance analyzing in function of the bio-signals monitored by biomedical sensors, in 2016 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), IEEE, pp. 1-4, 2016, WOS:000392434400095, ISBN:978-1-4673-9575-5, DOI:10.1109/ISFEE.2016.7803243 [132]. Nr. citări IEEE: 2.

10.4 Perspective de dezvoltare ulterioară

Cercetarea științifică din cadrul acestei teze s-a concentrat pe investigarea posibilităților de integrare a componentelor electronice în suporturi textile sau de realizare a unor senzori sau electrozi textili prin procedee mecanice. În viitor, se va avea în vedere îmbunătățirea electrozilor textili utilizând și alte tehnici de depunere a micro/nanoparticulelor conductive cum ar fi screen printing, laminare sau printarea 3D (Stereolitografie (SLA) sau Fused Deposition Modeling (FDM)) direct pe suportul textil conductiv. O altă direcție de cercetare care derivă din actuala cercetare constă în utilizarea materialelor textile conductive și izolatoare pentru realizarea bateriilor sau condensatorilor flexibili pe bază de grafen pentru stocarea energiei. De asemenea, voi încerca să realizez electrozi pentru monitorizarea semnalelor electrice emise de creier și să îmbunătățesc dimensiunea electrozilor ECG pentru a investiga posibilitatea efectul asupra calității semnalului biomedical achiziționat. În ceea ce privește utilizarea analizei predictive pe baza algoritmilor de inteligență artificială, ținând cont că datele utilizate în cadrul acestei teze au fost stocate în prealabil într-o bază de date, voi cerceta posibilitatea analizei predictive a datelor biomedicale în timp real pentru sisteme suport inteligente pe bază de decizii.

Bibliografie

- [3] **R. M. Aileni**, L. Dinca, S. Pasca, S. and R. Strungaru, *Flexible material for wearable ECG electrodes*, University Politehnica of Bucharest Scientific Bulletin Series C-Electrical Engineering and Computer Science, 79(2), pp.127-132, 2017.
- [4] *Sisteme cu inteligența artificială*, iota.ee.tuiasi.ro/~mgavril
- [5] *Intelligent system*, online available: whatistechtarget.com/definition/intelligent-system
- [6] S. Yang, F. Zhu, X.Ling, Q. Liu and P. Zhao, *Intelligent Health Care: Applications of Deep Learning in Computational Medicine*, Frontiers in Genetics, 12, p. 444, 2021.
- [7] S. Basu, M. Ghosh and S. B. Mandal, *Intelligent remote health monitoring system*, International Journal of Information Technology, Communications and Convergence, 3(4), pp.259-275, 2020.
- [8] L. Vadillo, M. L. Martín-Ruiz and M. A. Valero, *Deployment of a Smart Telecare System to Carry out an Intelligent Health Monitoring at Home*, 2016.
- [23] **R. M. Aileni**, A. Iftene, *Software application for health state monitoring and data modeling for health risk factor evaluation, based on wearable sensors and observer patterns for sensors data tracking*, in The 9th International Conference on Virtual Learning (ICVL), Bucharest, Romania, 2014.
- [24] www.siemens-healthineers.com/perspectives/humanizing-medtech
- [25] **R. M. Aileni**, S. Pasca and C. V. Sukuyama, *Wearable health care: Technology evolution, algorithms and needs*, in Book Enhanced Living Environments: From Models to Technologies, pp. 315-343, 2017.
- [76] **R.M. Aileni**, G. Suciu, V. Suciu, S. Pasca, S. and R. Strungaru, *Health monitoring using wearable technologies and cognitive radio for IoT*, in Cognitive Radio, Mobile Communications and Wireless Networks, pp. 143-165. Springer, Cham, 2019.
- [101] **R.M. Aileni**, A.C. Valderrama and R. Strungaru, *Wearable electronics for elderly health monitoring and active living*, in Ambient Assisted Living and Enhanced Living Environments, Butterworth-Heinemann, pp. 247-269, 2017.
- [141] **R.M. Aileni**, S. Pasca, R. Strungaru and C. Valderrama, *Biomedical signal acquisition for respiration monitoring by flexible analog wearable sensors*, in 2017 E-Health and Bioengineering Conference (EHB), IEEE, pp. 81-84, June 2017.
- [132] **R.M. Aileni**, C. Valderrama, S. Pasca and R. Strungaru, *Skin conductance analyzing in function of the bio-signals monitored by biomedical sensors*, in 2016 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), IEEE, pp. 1-4, 2016.

- [143] **R.M. Aileni**, S. Pasca, C. Valderrama, *Biomedical sensors data fusion algorithm for enhancing the efficiency of fault-tolerant systems in case of wearable electronics device*, ROLCG Conference Proceedings, Cluj-Napoca, 2015.
- [155] **R. M. Aileni**, S. Pasca, R. Strungaru and C. Valderrama, *Biomedical signal acquisition for respiration monitoring by flexible analog wearable sensors*, in 2017 E-Health and Bioengineering Conference (EHB), IEEE, pp. 81-84, June 2017.
- [156] **R. M. Aileni**, L. Dinca, S. Pasca and R. Strungaru, *Flexible structures with electro-conductive properties for wearable electronic devices*, in 2016 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), IEEE, pp. 1-5, June 2016.
- [157] **R. M. Aileni** and L. Dinca, *Optimization of the electro-conductive yarns distribution in flexible wearable dielectric structures*, in 2015 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), IEEE, pp. 539-542, May 2015.
- [212] **R. M. Aileni**, S. Pasca and R. Strungaru, *Wearable platform for cardiac rhythm monitoring and signal processing*, In 2017 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), IEEE, pp. 1-4. June 2017.
- [215] NS-running-woman ECG vs PPG, for Heart Rate Monitoring: Which is Best?, www.neurosky.com/2015/01
- [245] **R.M. Aileni**, S. Pasca and R. Strungaru, *Heart rate monitoring by using non-invasive wearable sensor*, in 2017 E-Health and Bioengineering Conference (EHB), IEEE, pp. 587-590, June 2017.
- [247] **R.M. Aileni**, S. Pasca, A. Florescu, *E-health monitoring by smart pulse oximeter systems integrated in SDU*, in 2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), IEEE, pp. 1-4, March 2019.
- [259] **R.M. Aileni**, S. Pasca and A. Florescu, *EEG-brain activity monitoring and predictive analysis of signals using artificial neural networks*, Sensors, 20(12), p. 3346, 2020.
- [263] **R.M. Aileni**, S. Pasca, F. Florescu, *Epileptic seizure classification based on supervised learning models*, in 2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), IEEE, pp. 1-4, March 2019.
- [264] **R.M. Aileni**, B. Hurezeanu and S. Pasca, *Wavelet transform for seizures detection in EEG Records*, in 2018 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), IEEE, pp. 1-6, June 2018.
- [287] **R.M. Aileni**, S. Pasca and C. Valderrama, *Cloud computing for big data from biomedical sensors monitoring, storage and analyze*, in 2015 conference grid, Cloud & High Performance Computing in science (ROLCG), IEEE, pp. 1-4, October 2015.
- [295] **R.M. Aileni**, G. Suciu, C.A.V. Sukuyama and S. Pasca, *Internet of Things and Communication Technology Synergy for Remote Services in Healthcare*, in IoT and ICT for Healthcare Applications, Springer, Cham, pp. 59-82, 2020.

- [299] **R.M. Aileni** and L. Surdu, *Obtaining the optimal surface for electronic device deposition using nanotechnologies*, in 2014 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), IEEE, pp. 1-4, November 2014.
- [300] **R.M. Aileni** and L. Dinca, *Electroconductive materials with high potential for wearable electronic devices integration*, in 2015 7th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), IEEE, pp. Y-5, June 2015.
- [302] **R.M. Aileni**, P. Bruniaux and R. Strungaru, R., *Wearable sensors modeling for healthcare*, in 2014 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), IEEE, pp. 1-4, November 2014.
- [303] **R.M. Aileni**, *Healthcare Predictive Model Based on Big Data Fusion from Biomedical Sensors*. in Conference proceedings of eLearning and Software for Education (eLSE), "Carol I" National Defence University Publishing House, No. 01, pp. 328-333, 2016.
- [305] **R.M. Aileni**, S. Pasca and G. Suci, *MIoT applications for wearable technologies used for health monitoring*, in 2018 10th international conference on electronics, computers and artificial intelligence (ECAI), IEEE, pp. 1-4, June 2018.
- [309] **R.M. Aileni**, G. Suci, C.M. Balaceanu, C.M., Beceanu, C., Lavinia, P.A., Nadrag, C.V., Pasca, S., Sakuyama, C.A.V. and Vulpe, A., *Body area network (BAN) for healthcare by wireless mesh network (WMN)*, in Body Area Network Challenges and Solutions, Springer, Cham., pp. 1-17, 2019.
- [310] **R.M. Aileni**, G. Suci, V. Suci, J. Ciurea and S. Pasca, *Assistive Mobile Technologies for Health Monitoring and Brain-Computer Interface for Patients with Motor Impairments*, in Mobile Solutions and Their Usefulness in Everyday Life, Springer, Cham., pp. 209-224, 2019.
- [312] **R.M. Aileni**, G. George, S. Pasca and C.A. Valderrama, *Data fusion-based ai algorithms in the context of iiots*, in Internet of Things for Industry 4.0, Springer, Cham., pp. 17-38, 2020.
- [316] **R.M. Aileni**, G. Suci, C. Valderrama and S. Pasca, *IoT Performability for Medical Wearable Device by Data Privacy and Fault Tolerance*, in Smart Systems for E-Health, Springer Charm., pp. 113-133, 2021.
- [317] **R.M. Aileni**, G. Suci, G., M. Rajagopal, S. Pasca and C.A.V. Sukuyama, *Data Privacy and Security for IoMWT (Internet of Medical Wearable Things) Cloud*, in IoT and ICT for Healthcare Applications, Springer, Cham, pp.191-215, 2020.
- [318] **R.M. Aileni**, G. Suci, C.A. Valderrama Sukuyama, S. Pasca and R. Maheswar, R., *Cybersecurity technologies for the internet of medical wearable devices (iomwd)*, in Advances in Cyber Security Analytics and Decision Systems, Springer, Cham, pp. 117-140, 2020.
- [322] **R.M. Aileni** and G. Suci, *IoMT: A blockchain perspective*, in Decentralised Internet of Things, Springer, Cham., pp. 199-215, 2020.