



**UNIVERSITATEA POLITEHNICA din BUCUREȘTI**  
Facultatea: Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

**ȘCOALA DOCTORALĂ ETTI-B**

Nr. Decizie 514 din 01.07.2020

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

-REZUMAT-

**SISTEM ADAPTIV DE INSTRUIRE ASISTATA DE  
CALCULATOR**

**AN ADAPTIVE FRAMEWORK FOR COMPUTER-  
BASED LEARNING TECHNOLOGY**

Doctorand: **Ing. Monica Liviana Ioniță (Ciolacu)**

Președinte	<b>Prof. dr. ing. Gheorghe Brezeanu</b>	de la	<b>Universitatea Politehnica București</b>
Conducător de doctorat	<b>Prof. dr. ing. Paul Svasta</b>	de la	<b>Universitatea Politehnica București</b>
Referent	<b>Prof. dr. Cezar Ionescu</b>	de la	<b>Technische Hochschule Deggendorf</b>
Referent	<b>Prof. dr. ing. Alexandru Șerbănescu</b>	de la	<b>Academia Tehnică Militară București</b>
Referent	<b>Prof. dr. ing. Dan Stoichescu</b>	de la	<b>Universitatea Politehnica București</b>

**BUCUREȘTI 2020**

## Copyright Information

Copyright © 2020 Monica Ioniță Ciolacu, Deggendorf, Germany. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored or transmitted without the prior permission of the author, or the below copyright.

Copyright © 2016 IEEE, Monica Ioniță Ciolacu, Rick Beer, "*Adaptive user interface for higher education based on web technology*", Conference: 2016 IEEE 22<sup>nd</sup> International Symposium for Design and Technology and Electronic Packaging (SIITME), Oradea, Romania, Oct. 20-23, pp. 300-303, published: 2016.

Copyright © 2017 IEEE, Monica Ioniță Ciolacu, Paul Svasta, Waldemar Berg, Heribert Popp, "*Education 4.0 for Tall Thin Engineer in Data Driven Society*", Conference: 2017 IEEE 23<sup>rd</sup> International Symposium for Design and Technology and Electronic Packaging (SIITME), Constanța, Romania, Oct. 26-29, published: 2017.

Copyright © 2017 IEEE, Monica Ioniță Ciolacu, Ali Fallah Tehrani, Rick Beer, Heribert Popp, "*Education 4.0 – Fostering Student Performance with Machine Learning Methods*", Conference: 2017 IEEE 23<sup>rd</sup> International Symposium for Design and Technology and Electronic Packaging (SIITME), Constanța, Romania, Oct. 26-29, pp. 432-437, published: 2017.

Copyright © 2018 IEEE, Monica Ioniță Ciolacu, Ali Fallah Tehrani, Leon Binder, Paul Svasta: "*Education 4.0 - Artificial Intelligence assisted higher Education: Early Recognition System with Machine Learning to support Students Success* ", Conference: 2018 IEEE 24<sup>th</sup> International Symposium for Design and Technology and Electronic Packaging (SIITME), Location: Iasi, Romania, Oct. 25-28, 2018, pp. 23-30, published: 2018.

Copyright © 2019 IEEE, Monica Ioniță Ciolacu, Paul Mugur Svasta, Dan Alexandru Stoichescu, Ioan Tache, "*Education 4.0 - Jump to Innovation IoT in Higher Education*", Conference: 2019 IEEE 25<sup>th</sup> International Symposium for Design and Technology and Electronic Packaging (SIITME), Cluj-Napoca, Romania, Oct. 23-26, 2019, pp. 135-141, published: 2019.

Copyright © 2019 IEEE, Monica Ioniță Ciolacu, Leon Binder, Heribert Popp, "*Enabling IoT in Education 4.0 with Biosensors from Wearables and Artificial Intelligence*", Conference: 2019 IEEE 25<sup>th</sup> International Symposium for Design and Technology and Electronic Packaging (SIITME), Cluj-Napoca, Romania, Oct. 23-26, 2019, pp. 17-24, published: 2019.

**Keywords:** Education 4.0; technology enhanced learning; adaptive user interface; artificial intelligence; Early Recognition System; self-regulated learning; wearables enhanced learning; embedded sensors; Internet of Things; learning analytics; biofeedback; machine learning; innovation in higher education; blended learning.

## Mulțumiri

Dedic această teză fiicei mele Măriuca.

Mulțumiri Mamei mele Daniela și bunicilor mei, care mi-au ghidat primii pași.

Mulțumesc conducătorului meu Prof. Dr. Ing. h. c. mult. Paul Mugur Svasta, care a acceptat să-mi preia pregătirea, mi-a fost mentor, m-a susținut cu sfaturi utile și observații critice și m-a impulsionat în redactarea tezei.

Mii de mulțumiri comisiei de îndrumare domnilor Prof. Dr. Ing. Dan Alexandru Stoichescu de la UPB, Prof. Dr. Dr. Heribert Popp și Prof. Dr. Cezar Ionescu de la THD pentru răbdare, sprijin și încurajări pe tot parcursul perioadei de pregătire și al studiului; în egală măsură le mulțumesc domnilor Conf. Ing. Dr. Ioan Tache și Prof. Ing. Dr. Alexandru Vasile, care m-au încurajat pe toată perioada studiilor doctorale.

Mulțumesc domnului Prof. Dr. Ing. Gheorghe Brezeanu și doamnei Ing. Nicoleta Brănișteanu de la Școala Doctorala ETTI din București. Mulțumesc sufletelor bune de la CETTI în special doamnelor Delia Lepădatu și Florentina Stălinescu, cât și organizatorilor conferințelor SIITME: Dr. Ing. Gabriel Chindriș și Dr. Ing. Bogdan Mihăilescu. Mulțumiri speciale adresez colegilor de la locul meu de muncă THD, doamnei Prof. Dr. Diane Ahrens, domnului Vicepreședinte Prof. Dr. Horst Kunhardt, domnului Vicepreședinte Prof. Waldemar Berg, domnului Decan Prof. Dr. Udo Garmann, Prof. Dr. habil. Robert Hable. Echipei de cercetare ii sunt recunoscătoare: Dr. Ali Fallah Tehrani, Rick Beer și Leon Binder, alături de care am făcut primele experimente. Colegelor mele Heidi Gezer, Esther Kinateder și Iris Bubenhofer le mulțumesc pentru răbdarea cu care mi-au lecturat textele în limba germană și engleză, colegelor de la biroul de relații internaționale Lisa Werner și Antonia Gruber le mulțumesc pentru facilitarea deplasărilor pentru studiu. Le sunt recunoscătoare prietenilor mei Carmen, Maria, Evi, Norbert, Mariana, Gerlinde, Günter, Cristian, Doina, Maryam și Saeid, care mi-au fost alături și m-au încurajat să merg mai departe.

Doresc să mulțumesc în mod special tatălui meu Ing. Gheorghe Ioniță, fratelui meu Dr. Ing. Mugurel Ioniță și soției lui Maryam, partenerului meu Volker Pönninghaus pentru că mi-au fost alături și m-au sprijinit necondiționat pe toată perioada studiilor doctorale. Familiei mele din România, Puica și Victor Marcu, Marcela și Dumitru Ioniță, Jeni și Sandu Rădulescu, verișoarelor mele Carmen, Cristina, cât și nepoatelor mele Maya și Eva Maria, le mulțumesc pentru suport și dragoste.

Această teză a fost finanțată prin proiectele Ministerului Științei și Culturii din Bavaria „Digitaler Campus Bayern - Digitales Wissensmanagement”, al Virtuelle Hochschule Bayern „clasic și smart vhb” și programele Erasmus și Bayhost.

# Cuprins

Mulțumiri .....	iii
Lista abrevierilor .....	v
1. Introducere .....	6
1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat .....	6
1.2 Scopul tezei de doctorat .....	6
1.3 Conținutul tezei de doctorat .....	7
2. Dezvoltarea instruirii asistate și a Inteligenței Artificiale.....	9
3. Tehnologii, senzori inteligenți și semnale fiziologice .....	10
3.2 Aparatul cardiovascular și sistemul neurovegetativ .....	10
3.6 Senzorii.....	12
3.8 Contribuții personale în capitolul 3 .....	13
4. Inteligența Artificială în Educația Academică 4.0 .....	14
4.2 Competențele și calificarea inginerilor pentru Industria 4.0 .....	14
4.4 Tehnologiile și caracteristicile Educației 4.0.....	15
4.5 Inteligența Artificială în procesul de instruire al Educației 4.0 asistată de senzori și echipamentele „wearable” .....	15
5. Sistemul adaptiv IoT pentru Educația 4.0 cu echipamente portabile și senzorii inteligenți pentru măsurarea semnalelor fiziologice .....	16
5.2 Inovația „Internet of Things” (IoT) în Educația Academică 4.0 .....	16
5.3 Schema funcțională a sistemului adaptiv IoT pentru Educația 4.0 bazat pe date multimodale.....	17
5.6 Sistemul adaptiv IoT pentru Educația 4.0.....	18
5.7 Studiu experimental cu smartwatch în Edu. 4.0.....	19
5.8 Studiu experimental cu smartphone în Edu. 4.0 .....	20
5.9 Studiul experimental - Sistemul adaptiv cu Raspberry Pi și Grove Pi în Educația 4.0 ...	25
5.10 Contribuții și concluzii capitolul 5.....	26
6. Sistemul de atenționare timpurie cu algoritmi de învățare automată pentru succesul în învățare.....	27
6.7 Rezultatele Sistemului adaptiv de Atenționare Timpurie cu rețele neuronale.....	28
6.8 Contribuții în Capitolul 6 .....	31
7. Concluzii .....	32
7.2 Contribuții originale .....	32
7.4 Lista publicațiilor științifice originale.....	33
Bibliografie selectivă .....	36



## Lista abrevierilor

<b>AES</b>	<b>Adaptive E-Learning System</b>	Sistem E-Learning adaptiv
<b>AI</b>	<b>Artificial Intelligence</b>	Inteligență artificială
<b>AR</b>	<b>Augmented Reality</b>	Realitate augmentată
<b>BASN</b>	<b>Body Area Sensor Network</b>	Rețeaua senzorilor zonei corpului
<b>BL</b>	<b>Blended Learning</b>	Instruire mixtă
<b>BLE</b>	<b>Bluetooth Low Energy</b>	Bluetooth cu energie redusă
<b>BMI</b>	<b>Body Metabolic Index</b>	Indicele metabolic al corpului (IMC)
<b>BVP</b>	<b>Blood Volume Pulse</b>	Pulsul sanguin
<b>CART</b>	<b>Classification and Regression Tree</b>	Arborii de clasificare și de regresie
<b>DSP</b>	<b>Digital Signal Processing</b>	Procesarea digitală a semnalului
<b>Edu 4.0</b>	<b>Education 4.0</b>	Educația 4.0
<b>ERS</b>	<b>Early Recognition System</b>	Sistem de Avertizare Timpurie
<b>GUI</b>	<b>Graphical User Interface</b>	Interfață grafică
<b>HRV</b>	<b>Heart Rate Variability</b>	Variabilitatea bătăilor inimii
<b>ICT</b>	<b>Information and communication technology</b>	Tehnologia informației și comunicațiilor
<b>IND 4.0</b>	<b>Industry 4.0</b>	Industria 4.0
<b>IoT</b>	<b>Internet of Things</b>	Internetul lucrurilor
<b>IoP</b>	<b>Internet of People</b>	Internetul oamenilor
<b>IoS</b>	<b>Internet of Services</b>	Internetul serviciilor
<b>IoWT</b>	<b>Internet of Wearable Things</b>	Internetul lucrurilor portabile
<b>ITS</b>	<b>Intelligent Tutoring Systems</b>	Sisteme inteligente de tip Tutor
<b>KDD</b>	<b>Knowledge Discovery in Databases</b>	Descoperirea cunoștințelor în baze de date
<b>KPI</b>	<b>Key Performance Indicator</b>	Indicator cheie de performanță
<b>LA</b>	<b>Learning Analytics</b>	Analiza învățării studenților
<b>LLL</b>	<b>Lifelong Learning</b>	Învățarea pe tot parcursul vieții
<b>LMS</b>	<b>Learn Management System</b>	Sistem de management al învățării
<b>LO</b>	<b>Learning Object</b>	Material de instruire
<b>MAD</b>	<b>Mean Absolute Deviation</b>	Media abaterii absolute
<b>MCU</b>	<b>Microcontroller</b>	Microcontroler

<b>ML</b>	<b>Machine Learning</b>	Învățarea automată
<b>MOOC</b>	<b>Massive Open Online Course</b>	Cursuri de învățare online f. mari
<b>NFC</b>	<b>Near Field Communication</b>	
<b>NN</b>	<b>Neural Network</b>	Rețea neuronală
<b>OS</b>	<b>Operating System</b>	Sistem de operare
<b>PASS</b>	<b>Personalized Adaptive Study Success</b>	Succesul studiului adaptiv personalizat
<b>PNS</b>	<b>Parasympathetic nervous system</b>	Sistemul nervos parasimpatic
<b>PPG</b>	<b>Photoplethysmography</b>	Fotoplestimografie
<b>rMSSD</b>	<b>Root Mean Square of the Successive Differences</b>	Rădăcina medie pătratică a diferențelor succesive
<b>RQ</b>	<b>Research Question</b>	Întrebarea de cercetare
<b>SKT</b>	<b>Peripheral skin temperature</b>	Temperatura periferică a pielii
<b>SNS</b>	<b>Sympathetic nervous system</b>	Sistemul nervos simpatic
<b>SRL</b>	<b>self-regulated learning</b>	Instruirea autoreglată
<b>SVM</b>	<b>Support Vector Machine</b>	Mașini cu suport vectorial
<b>STEM</b>	<b>Science, Technology, Engineering and Mathematics</b>	Științele Naturii, Tehnologie, Matematică și Inginerie
<b>TEL</b>	<b>Technology Enhanced Learning</b>	Instruirea îmbunătățită cu ajutorul tehnologiei
<b>THD</b>	<b>Technische Hochschule Deggendorf</b>	
<b>USB</b>	<b>Universal Serial Bus</b>	Bus serial universal
<b>VR</b>	<b>Virtual Reality</b>	Realitatea virtuală

# 1. Introducere

## 1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

**Educația Academică 4.0** utilizează elemente din diferite discipline: Tehnologia Electronică, Inteligența Artificială, Medicină, Educație, etc. Ea ajută atât conducerea universității cât și cadrele didactice să determine studenții să învețe mai bine oferindu-le o **instruire adaptivă și personalizată** necesară inginerilor ce vor lucra în Industria 4.0. Pe viitor, în teză, am prescurtat Educația Academică 4.0 prin Educația 4.0.

Datorită numărului mare de cursuri de calificare și recalificare pe termen mediu necesare și din cauza creșterii cererii de absolvenți de învățământ superior, metodele tradiționale de predare și instruire nu mai satisfac, ele și-au atins limitele. Acest fapt necesită noi concepte de învățare, instruire și formare, un nou mod de a transmite cunoștințe. Un răspuns la aceste cerințe îl oferă și **contribuția mea la Educația 4.0 cu instruire adaptivă, tehnologie modernă și metode didactice adaptate la cerințele Industriei 4.0**. [M. Ioniță Ciolacu, IEEE 2017a]. Există trei provocări cheie pentru Educația Academică: tehnologia electronică, personalizarea serviciilor și crearea laboratoarelor de liberă inovație.

Actualitatea temei tezei o putem vedea și în contextul actual al crizei COVID19 din comunicatul de presă al Institutului Robert Koch din Germania „*Aflați mai multe despre răspândirea virusului corona cu date de la brățările de fitness și de la ceasuri inteligente*” [RKI]. Utilizarea senzorilor integrați în echipamentele portabile zi cu zi, „*wearables*”, ne poate da informații despre semnalele fiziologice ale unei persoane și locul unde aceasta se află în timp real. Cu ajutorul algoritmilor inteligenței artificiale, se poate realiza analiza stării de sănătate unei persoane și o mai bună identificare a clusterelor de importanță strategică, pot fi atenționate din timp persoanele aflate în pericol de a obține rezultate slabe și se poate măsura efectiv eficiența măsurilor luate.

## 1.2 Scopul tezei de doctorat

Prin prezenta teză am introdus noi metode și o implementare prototipică a unui **sistem adaptiv de instruire asistată pe calculator** care să:

- ajute studenții să fie calificați și specializați pentru Industria 4.0;
- motiveze studenții să învețe, pentru a reuși la examene, cu ajutorul inteligenței artificiale și algoritmilor machine learning;
- le dea studenților încredere în noile tehnologii și abilitatea de a le folosi.

Soluția pe care o prezint în teză cuprinde:

- utilizarea echipamentelor mobile portabile („*wearables*”), a senzorilor și a Inteligenței Artificiale în procesul Educației 4.0
- sistem Internet of Things (IoT) pentru Educația 4.0
- sistem de atenționare timpurie, cu algoritmi machine learning, a studenților aflați în pericol să nu reușească la examene.

Obiectivul principal al acestei teze constă în elaborarea, implementarea prototipică și validarea unui **Sistem Adaptiv de Instruire** a studenților prin intermediul algoritmilor Machine Learning bazat pe echipamente electronice neinvazive („wearables”), ieftine și ușor de utilizat. În **Educația 4.0**, [M. Ioniță Ciolacu, IEEE 2018] văd un mare potențial pentru Educația Academică asistată de Inteligența Artificială (AI) cu date biometrice/fiziologice obținute în timp real cu ajutorul senzorilor echipamentelor purtabile (*smartwatch, smartphone, smartglasses*). Contribuția principală este o implementare parțială a acestui proces, care poate clarifica diverse aspecte și analiza rezultatelor implementării, care demonstrează utilitatea contribuției mele și justifică totodată noua formulare pe care am dat-o Educației Academice 4.0.

Un al doilea obiectiv constă în **îmbunătățirea calității învățării prin motivarea studenților și reducerea numărului de studenți care nu promovează examenul**, renunță la învățat sau chiar abandonează studiul, prin schimbarea modului în care ei învață („*self-regulated learning*”). Principala mea contribuție constă în **definirea unui proces de instruire asistat de tehnologie electronică care implementează noul concept de Educație 4.0 pentru formarea și calificarea inginerilor de mâine capabili să facă față cerințelor Industriei 4.0**.

Sprrijinirea studenților cu echipamentele purtabile și senzori inteligenți este una din preocupările cheie ale **instruirii asistate** având în vedere faptul că senzorii inteligenți pentru IoT și echipamentele purtabile sunt în stadiul incipient de implementare. Devine important ca **Educația 4.0** să se bazeze pe **date obținute în timp real cu ajutorul senzorilor** (neinvaziv, cu cost redus) pentru detectarea sănătății, emoțiilor și securității studenților. Datele biometrice ajută la autentificarea biometrică oferind confidențialitate și securitate utilizatorilor în procesul de învățare academică.

În concluzie, folosind tehnologia electronică și prelucrarea informațiilor îi ajut pe studenți să fie mai bine pregătiți pentru cerințele Industriei 4.0, să învețe mai bine, să vadă dacă sunt în grafic și să-și schimbe modul de abordare a învățării înainte de a abandona studiul sau de a nu promova un examen, cât și să aibă un stil de viață sănătos. Teza oferă o soluție originală și unică în acest sens.

### **1.3 Conținutul tezei de doctorat**

Primul capitol descrie motivația pentru această temă precum și scopul tezei.

Al doilea capitolul se referă la dezvoltarea instruirii asistate și a Inteligenței Artificiale, cât și la metodele Data Mining de explorare a datelor și la algoritmi de învățare automată.

Al treilea capitol trece în revistă tehnologiile wireless, senzorii echipamentelor purtabile, metodele de măsurare a semnalelor fiziologice obținute cu ajutorul senzorilor inteligenți. Acestea, asistate de Inteligența Artificială, ajută la o mai bună performanță a studenților. Sunt prezentate, de asemenea, tehnicile de achiziționare a datelor fiziologice și de măsurare neinvazivă a semnalelor fiziologice, cât și unele noțiuni de



anatomie și fiziologie. Descriu semnalele fiziologice obținute cu ajutorul senzorilor inteligenți ai echipamentelor portabile și analizez care dintre ele sunt relevante pentru Educația 4.0.

Al patrulea capitol este rezervat **Educației 4.0** („*Education 4.0*”), care necesită metodele inteligenței Artificiale și celor șapte etape ale procesului de învățare pe care le-am identificat pentru formarea inginerilor de mâine („*Tall Thin Engineer*”). Pentru a înțelege critica pe care am adus-o formulărilor anterioare ale conceptului de **Educație 4.0** este necesară o privire retrospectivă asupra evoluției tehnologiei învățării. Prezint revoluțiile din industrie până la **Industria 4.0** și analogia acestora cu **Educația Academică 4.0**. Pentru Educația 4.0 sunt necesare noi concepte de predare, instruire și învățare, cât și utilizarea unui hardware pentru achiziția datelor. Activitatea educațională devine online și conținutul cursurilor trebuie să fie disponibil în format digital. Aceasta permite colectarea datelor și utilizarea lor pentru analiza procesului de învățare („*Learning Analytics*” *LA*). În Educația 4.0, o prezență activă și interactivă a studenților contribuie la o calitate superioară a învățării.

Al cincilea capitol este dedicat experimentelor și studiilor asupra implementării arhitecturii **IoT în Educația 4.0**, cu ajutorul măsurărilor neinvazive și în timp real, a semnalelor fiziologice cu ajutorul echipamentelor smartwatch și smartphone datorită senzorilor inteligenți. Am găsit cu ajutorul algoritmilor o corelație între pulsul inimii, activitatea zilnică (numărul de pași făcuți zilnic) și stresul psihic, nivelul de energie și eficiența în învățare a studenților. Am identificat și realizat **Sistemul Adaptiv IoT** pentru **Educația 4.0**, parametrii ambientali putând fi citați în timp real cu ajutorul plăcii Raspberry Pi și a senzorilor Grove Pi.

Al șaselea capitol prezintă **Sistemul de Avertizare Timpurie** („*Early Alert Sistem*”) a studenților bazat pe algoritmi Machine Learning cu rețele neuronale cu ajutorul cărora am putut estima performanța studenților pe parcursul procesului de învățare, adică cu 6-8 săptămâni înainte de examinare și am putut avertiza prin email studenții găsiți cu dificultăți sau în pericol de a nu promova examenul. Rezultatele sunt promițătoare, deoarece peste jumătate din cei avertizați cu ajutorul sistemului au promovat examenele.

În capitolul șapte sunt prezentate contribuțiile personale, lista publicațiilor științifice și conferințele la care am participat. Sunt menționate viitoarele direcții de cercetare pentru Educația Academică 4.0 ajutată de echipamentele portabile și, selectiv, lucrări în care mi-au fost citate publicațiile.

Sfârșitul fiecărui capitol cuprinde o prezentare a contribuției proprii din capitolul respectiv. În capitolele 5 și 6 prezint realizarea practică a Sistemului de Atenționare Timpurie cu algoritmi Machine Learning în programul Python și în programul R, schemele bloc și diagramele senzorilor pentru IoT, echipamentele portabile cu Raspberry Pi 3.0 și Grove Pi, cât și rezultatele experimentelor. Teza oferă



o analiză detaliată a senzorilor integrați în echipamentele portabile, identificarea semnalelor fiziologice și a oportunităților care se deschid prin folosirea acestora în viața de zi cu zi și mai ales în instruirea adaptivă studenților prin Educația Academică 4.0.

Cercetarea a fost realizată în cadrul Facultății de Informatică a Technische Hochschule Deggendorf și a Universității Politehnica din București, iar o mare parte din teză a fost publicată în **16 articole științifice** în limbile germană și engleză cât și în 5 rapoarte de cercetare în limba română.

## 2. Dezvoltarea instruirii asistate și a Inteligenței Artificiale

Pionierii tehnicilor moderne de instruire programată sunt considerați Burrhus Frederick Skinner și Norman Allison Crowder, care au emis în anii 50 primele idei despre instruirea asistată. Aceasta se poate realiza în două moduri: prin instruire liniară (modelul lui Skinner) și instruire ramificată (modelul lui Crowder).

Modelul liniar de instruire al lui B. F. Skinner este cel mai vechi și cel mai des folosit. În Fig. 2.1 prezintă schema logică a instruirii liniare a lui Skinner prin aplicarea secvenței de învățare: **stimul** (întrebarea  $i$ ), **răspuns**, **comparație** - confirmare (feedback), **stimulul următor** (întrebare  $i+1$ ).

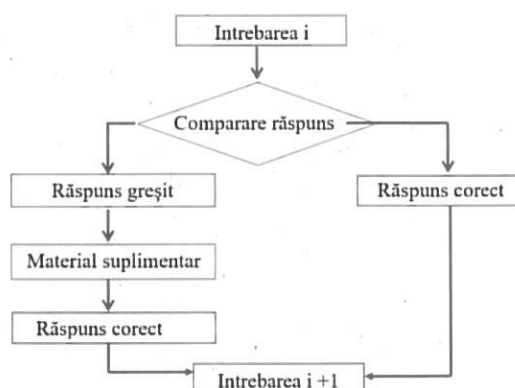


*Fig. 2.1 Schema logică a predării liniare a lui Skinner*

În instruirea de tip "**liniar**" fiecare student înaintază de-a lungul aceleiași secvențe fixe de subsarcini. Skinner a ajuns la concluzia că **confirmarea răspunsului** are un impact pozitiv asupra succesului la învățatură. În **învățământul clasic** metodele de predare sunt cele ale **metodei liniare**. Dezavantajul metodei: un student care învață repede nu are nici un fel de posibilitate de a sări peste părți ale instruirii. Dublul efect pozitiv al metodei este că **răspunsul corect se învață** și studentul este **motivată să învețe mai departe**. Modelul lui Skinner valorifică **legea efectului**, dacă **legătura** este urmată de **succes, forța ei crește (legea efectului pozitiv)**, iar dacă este urmată de **insucces, forța ei scade (legea efectului negativ)**.

Crowder urmărește preîntâmpinarea greșelilor și tratarea acestora prin modalități de **întărire negativă**, care reorientează activitatea studentului în direcția recuperării, reselectării, reinterpretării, reaplicării informației necesare pentru parcurgerea "pasului" respectiv. Mai întâi  $i$  se prezintă studentului materialul de învățat unde se explică un concept sau o idee, după care se pune o **întrebare care verifică înțelegerea** de către student a conceptului sau ideii, răspunsul său **determinând în ce direcție va merge el mai departe** în cadrul instruirii. Când răspunsul este corect, se va trece la pasul următor, iar atunci când el nu este corect, studentul primește feedback

fiindu-i explicată natura erorii comise și i se cere a se întoarce pentru a alege răspunsul corect.



*Fig. 2.2 Schema logică a unei predări ramificate. Modelul lui Crowder*

Promovarea instruirii auto-reglementate în învățământul Academic este o abilitate importantă pentru succesul studenților. **Abilitățile** de autoreglementare includ **auto-motivația, planificarea anticipativă și autoevaluarea („feedback”)**. Modelul lui Zimmerman de instruire auto-reglementată („*self-regulated learning*”) este un model ciclic, care prezintă informații despre etapele și procesul de învățare autoreglementat, oferind o varietate de metode stabilite pentru evaluarea instruirii. În capitolul 4 al tezei, folosind acest model, am găsit **modalități de motivare și sprijinire** a studenților pentru a deveni **auto-reglementați** ca o abilitate pentru viață, nu doar pentru mediul universitar, astfel încât studenții să continue să învețe într-o manieră practică și continuă în afara sălii de cursuri.

### **3. Tehnologii, senzori inteligenți și semnale fiziologice**

Prima parte a capitolului 3 prezintă stadiul actual al senzorilor inteligenți ai echipamentelor purtabile, fundamentele ale sistemului cardiovascular și al sistemului nervos autonom printr-o analiză a literaturii actuale de specialitate. Un alt element pe care l-am tratat este rețeaua de senzori a corpului uman. A doua parte a capitolului prezintă contribuțiile mele prezentate ca răspunsuri la șase întrebări de cercetare pe care mi le-am pus („*research questions*” RQ).

#### **3.2 Aparatul cardiovascular și sistemul neurovegetativ**

Pentru a înțelege metodologia și funcționarea sistemului de instruire adaptivă propus este nevoie de înțelegerea noțiunilor de bază a funcționării aparatului cardiovascular și a sistemului nervos vegetativ. Sistemul nervos vegetativ constă în sistemul nervos simpatic, sistemul nervos parasimpatic și sistemul nervos digestiv. Nervii simpatici și parasimpatici sunt opuși funcțional: **sistemul nervos simpatic (SNS)** dă organismului **o creștere a activității și a energiei** (*„luptă și zbor” - „fight and flight”*), **sistemul nervos parasimpatic (PNS)** coordonează somnul și regenerarea, inclusiv digestia

("odihna și digestia" - „rest and digest”). Aceștia controlează funcțiile organelor, cum ar fi digestia sau bătăile inimii în mod autonom.

O metodă de a măsura stresul este măsurarea variației frecvenței cardiace (HRV „heart rate variability”). Analiza HRV este utilizată de sportivii profesioniști pentru a optimiza antrenamentul și s-a dovedit a fi o modalitate eficientă de urmărire a recuperării organismului după efort. Aceasta analiză oferă mulți parametri care sunt utilizați pentru a evalua sănătatea organismului în general. Parametrul utilizat pentru urmărirea recuperării este rMSSD (valoarea medie a rădăcinilor diferențelor succesive) ca o măsură acceptată a activității parasimpatice și este utilizată în literatura științifică. Stresul, somnul puțin și viața inactivă sunt indicatori pentru un dezechilibru între SNS și PNS. HRV este o măsură non-invazivă pentru a identifica acest dezechilibru. HRV este un indicator al stării de tensiune, care reacționează extrem de sensibil la stres, dar și la relaxare. Un rezultat bun în măsurarea HRV constă într-un echilibru sănătos între nivelul de energie (sistemul nervos simpatic) și cel de relaxare (sistemul nervos parasimpatic). În ultimele decenii, numeroase studii științifice au demonstrat importanța măsurării HRV pentru evaluarea stresului [M. Buchheit], [Welltory], [J.G. Dong].

În Tab. 3.2 prezint o contribuție proprie, dezvoltată pe baza valorilor normale ale măsurilor standard ale HRV [S. Samito, I. Böckelmann], [ESC Task Force].

*Tab. 3.1 Valorile HRV ale indicatorilor pentru recunoașterea nivelului de energie, recuperate după efort, oboseală sau stres*

Numele indicatorului	Definiția / Indicator	Normal
Puls („Heart Rate”)	Bătăi pe minut („beat per minute” BPM) în repaus.	56-84 bpm
rMSSD („Root Mean Square of the Successive Difference”)	Indică potențialul de recuperare al organismului după efort; timpul de analiză: 10-15 secunde pentru puls, 30 secunde pentru HRV; 60 secunde oferă o bună acuratețe a măsurătorilor; 120 secunde oferă o mai bună acuratețe pentru analiza spectrală.	>>35 ms
LF joasă frecvență („low frequency”) 0.04-0.15Hz	Nivelul de energie și nivelul de încordare („fight and flight potential”); responsabile pentru regularizarea presiunii în sânge; ambele sisteme simpatic și parasimpatic sunt implicate, dar predomină sistemul simpatic; valori mari arată mai multă energie, iar mult mai mari indică stres (LF >> 1600 ms).	754-1.586ms
HF înaltă frecvență („high frequency”) 0.15-0.4Hz	Capacitatea de odihnă și regenerare („rest and digest potential”); măsoară doar activitatea parasimpatică; valorile mai mari arată cât de relaxată este o persoană, respectiv lipsa stresului; valorile mai mici de 700ms indică oboseală (HF << 700ms).	772-1.178ms

Numele indicatorului	Definiția / Indicator	Normal
LF/HF	Indicator al echilibrului dintre tensiune și regenerare; în timpul zilei arată echilibrul dintre cele două sisteme simpatic și parasimpatic; seara predomină parasimpaticul; valori mari peste 2 înseamnă stres, iar valorile mici sub 1 înseamnă oboseală ( $LF < HF$ ); de exemplu pentru stresul cronic predomină sistemul simpatic ( $LF > HF$ ).	1,5-2,0

### 3.6 Senzorii

Senzorii echipamentelor purtabile oferă studenților:

- informații despre situația concretă de învățare;
- creșterea percepției subiective despre sănătate, siguranță și bunăstare;
- ocazia de a-și cunoaște mai bine corpul și de a afla cum se pot relaxa mai bine în situații stresante.

Multe aspecte ale utilizării senzorilor nu sunt încă limpezi, de ex. care tehnici neinvazive se pot aplica în Educație și care sunt mai ușor acceptate de către studenți. Folosirea echipamentelor purtabile „wearables” pentru Educația Academică 4.0 aduce o serie de **avantaje** contribuind la motivarea și îmbunătățirea în timp real a calității instruirii studenților:

- prin bătăile inimii, **puls**, și pedometru recunosc **activitatea** (sedentară, ușoară, moderată, activă, foarte activă, extrem de activă);
- **recunoașterea necesității de mișcare** după un anumit interval de timp oferind exerciții de mișcare și relaxare;
- **ajută la formarea unui stil de viață sănătos** prin măsurarea și monitorizarea nivelului zilnic de activitate (numărarea pașilor, bătăilor inimii, kaloriile consumate zilnic prin activitate sportivă, etajele urcate, consumul de apă, consumul de cafea, durata somnului, distanța parcursă, presiunea atmosferică).
- **motivarea** cu mesaje personalizate la momentul oportun.

Am utilizat setul GrovePi+<sup>1</sup>, care este kit pentru internetul obiectelor (*IoT*) care leagă senzorii și echipamentele la Raspberry Pi. GrovePi+ este un sistem hardware pe care l-am folosit pentru conectarea, programarea și controlul senzorilor când am construit propriul sistem inteligent. Programul l-am scris în programul Python. Setul folosit conține: placa GrovePi, card microSD pentru sistemul de operare Raspbian IoT, cât și următorii senzori Grove: senzor ultrasonic, senzor de sunet, senzor de temperatură și umiditate, senzor de lumină, potențiomtru, LCD cu luminozitate de fundal RGB, 3

<sup>1</sup> <https://www.dexterindustries.com/grovepi/>



LED-uri (roșu, albastru, verde), cabluri pentru conectarea senzorilor cu semnal analog (cablu standard cu 4 fire), cablu pentru semnalul digital I2C.

#### **Avantajele hardware-ului Grove Pi+ pentru Educația 4.0:**

- **conectarea ușoară** a senzorilor inteligenți („*smart sensors*”) la internetul obiectelor (IoT) prin plug-n play;
- nu este nevoie lipirea, ci doar să doar de conectarea senzorului Grove la portul respectiv prin cablu standard (4 fire) și se începe direct programarea în Python;
- GrovePi + este un sistem ușor de utilizat, modular pentru probarea hardware-ului și pentru realizarea de prototipuri Internet of Things (IoT) cu RaspberryPi.

### **3.8 Contribuții personale în capitolul 3**

Răspunzând la primele patru întrebări de cercetare (RQ1-RQ4), am analizat metodele neinvazive de măsurare a semnalelor fiziologice cu ajutorul senzorilor. **Contribuția pentru Educația Academică 4.0 constă în identificarea semnalelor fiziologice** (care pot fi interpretate fără ajutorul personalului medical) și a **senzorilor încorporați** în echipamentele portabile.

- Am identificat parametrii HRV pentru evaluarea sănătății studentului în timp real și pentru recunoașterea eficientă a potențialului de recuperare după efort (*rMSSD*), a nivelului de energie (*LF*), stres (*HF*), a echilibrului dintre energie și stres (*LF/HF*). Aceste contribuții au fost folosite în capitolul 5.
- Am evidențiat echipamentele portabile, care pot fi folosite pentru realizarea sistemului adaptiv IoT de atenționare timpurie și care aduc valoare Educației 4.0. Răspunzând la RQ 5, am analizat și comparat senzorii încorporați în smartwatch și smartphone, și am prezentat minicomputerul Raspberry Pi cu senzori ambientali Grove Pi pe care i-am folosit în capitolul 5.
- Am identificat multitudinea de senzori neinvazivi ai telefoanelor și ceasurilor inteligente. Răspunzând la RQ6 am arătat faptul că echipamentele portabile au funcționalități valoroase pentru Educația 4.0. Rezultatele sunt în Tab. 3.9.

**Tab. 3.2** Senzorii neinvazivi și protocoale utile pentru Educația Academică 4.0 [o13, M. Ioniță Ciolacu et al, IEEE 2019 a].

<b>Senzori și protocoale</b>	<b>Funcția</b>	<b>Edu. 4.0</b>
<b>Accelerometru</b>	Monitorizează activitatea și reamintește nevoia de mișcare, pentru sănătatea studentului, în cazul activității sedentare.	da
<b>Agenda</b>	Gestionarea timpului.	da
<b>Barometru</b>	Detectează presiunea atmosferică și altitudinea.	da
<b>Bluetooth</b>	Bluetooth Low Energy (BLE) este folosit pentru conectarea între echipamentele Android pentru transfer de date.	da
<b>Caloriile</b>	Numărul de calorii consumate activ (prin învățare și mișcare) sau pasiv (prin activitatea cotidiană).	da
<b>Etajele</b>	Datele obținute nu sunt destul de precise.	nu



Senzori și protocoale	Funcția	Edu. 4.0
<b>Giroscop</b>	Măsoară și monitorizează nivelul zilnic de activitate. Poate fi folosit ca instrument de diagnostic în medicină pentru analiza somnului - <b>Polisomnografia (PSG)</b> .	da
<b>GPS</b>	Navigație - localizarea studenților, de exemplu pentru găsirea drumului cel mai scurt spre sala de curs.	da
<b>Microfonul</b>	Încă exista probleme cu recunoașterea vocii de către ceas și există doar suport pentru engleză și încă o limbă.	nu
<b>Mișcarea</b>	Marchează evenimentele în cazul unor mișcări semnificative	da
<b>Notificările</b>	Semnalare în cazul unei vieți sedentare, durata activităților, consumul de energie (calorii), motivație pentru o activitate sănătoasă (mișcare, pulsul, consumul de apă).	da
<b>NFC</b>	transferul de bani pentru plata fără contact.	da
<b>Pedometru</b>	Numără pașii făcuți zilnic; motivează la o viață sănătoasă.	da
<b>Pulsul („Heart Rate” HR)</b>	Monitorizează sănătatea și oferă informații valoroase studenților pentru o viață sănătoasă.	da
<b>Vibrațiile</b>	Reamintirea necesității de mișcare - evitarea vieții sedentare.	da

## 4. Inteligența Artificială în Educația Academică 4.0

### 4.2 Competențele și calificarea inginerilor pentru Industria 4.0

Marele potențial al Industriei 4.0 constă în date și în utilizarea lor eficientă. Industria 4.0 necesită un inginer, de tip „*Tall Thin Engineer*”, a cărei pregătire trebuie să fie adecvată industriei viitoare [K. Morris]. Metodele tradiționale de educație și predare își ating limitele atunci când vine vorba de calificarea angajaților pentru cerințele Industriei 4.0. În cadrul tezei am evaluat metodele tehnologice și didactice pentru a patra revoluție în educație (Fig. 4.7). **Educația o văd ca pe o Industrie, care este influențată de transformarea digitală.**

Revoluția	Industrie	Educație
1.0	Motorul cu aburi și mecanizarea (1800).	Prima carte de învățare tipărită (1452).
2.0	Producția în masă datorită energiei electrice (1913);	Mașini de instruire; Teletutor (1959).
3.0	Electronica, computerele; producția automată; Internetul.	E-learning (1980); cursuri TV; cursuri online (1990).
4.0	Fabrica inteligentă, Big Data, interconectarea, transparența informațiilor, asistență tehnică, decizii decentralizate.	Instruirea bazată tehnologiile adaptive, procesul de învățare personalizat, pe jocuri utilizând realitatea virtuală / realitatea augmentată (VR / AR), comunitățile de practică, AI pentru analizele de învățare, Chatbot și examene online.

Fig.4.3 Etapele celor patru revoluții din Industrie și Educația Academică

#### 4.4 Tehnologiile și caracteristicile Educației 4.0

Având în vedere cele patru principii de bază ale Industriei 4.0 - interconectarea, decizia descentralizată, transparența informațiilor și asistența tehnică - am definit Educația 4.0. Procesul de instruire adaptiv și personalizat, cu tehnologii adaptive și analitice de învățare, cu predare bazată pe practică folosind și realitatea virtuală / realitatea augmentată, comunități de colaborare de la studenți pentru studenți („Community of Practice” CoP), platforme de suport inteligente („Teletutor” sau „chatbot”) și corectarea automatizată („E-Assessment”) pentru evaluarea examenelor susținute online se numește Educație Academică 4.0 [M. Ioniță Ciolacu, IEEE 2017b].

Fig. 4.9 prezintă cum am îmbunătățit cercetările actuale cu schema bloc a **procesului unui sistem adaptiv** în care sunt avuți în vedere o serie de factori: studenții, cadrele didactice, conducerea universității cât și cerințele industriei (contribuție proprie dezvoltată după [D. Ifenthaler, C. Widanapathirana])

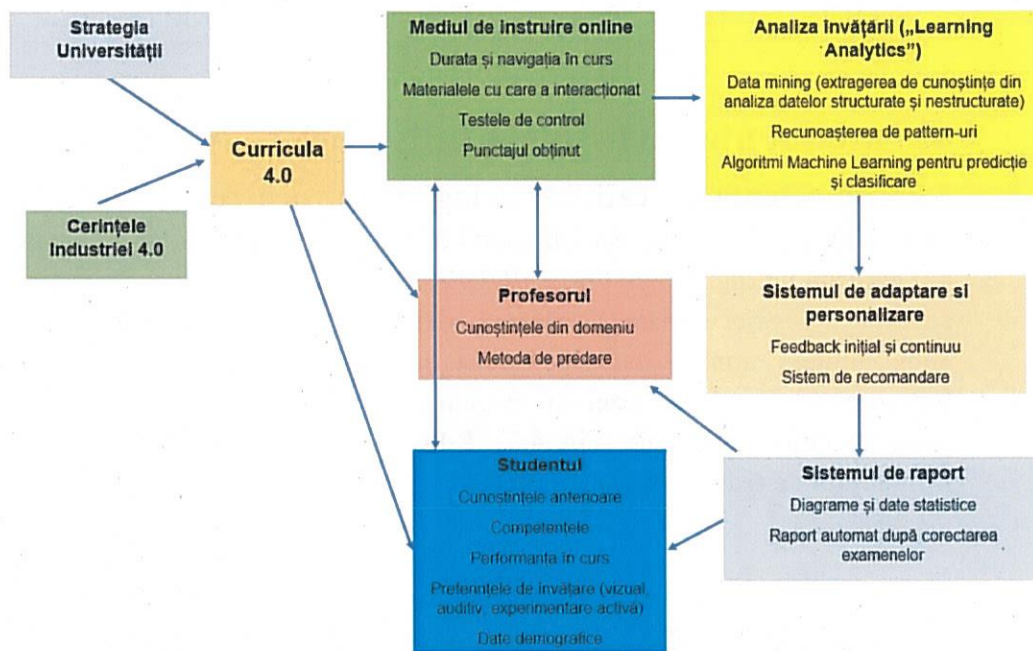


Fig. 4.4 Schema bloc a procesului unui sistem de instruire adaptiv pentru Educația Academică 4.0 bazată pe date cu Inteligența Artificială și analiza învățării

#### 4.5 Inteligența Artificială în procesul de instruire al Educației 4.0 asistată de senzori și echipamentele „wearable”

În acest capitol prezint cele mai noi tehnici AI, pe care le-am implementat pentru instruirea mixtă („blended learning”) în cursurile de Matematică și Managementul Informației. Instruirea mixtă este metoda prin care studenții învață o parte din materie folosind materiale digitale, iar cealaltă parte a materiei este predată la orele de curs în mod interactiv. Fig. 4.10 prezintă procesul Educației Academice 4.0 ajutat de



Inteligența Artificială pentru modelarea învățării auto reglementate [M. Ioniță Ciolacu, DeLFI 2018].



*Fig. 4.5 Etapele procesului Educației Academice 4.0 de modelare a învățării auto-reglementate („self-regulated learning”) folosind Inteligența Artificială [o14, M. Ioniță Ciolacu et al, IEEE 2019 b].*

Pentru procesul adaptiv de instruire al Educației 4.0 am utilizat modelul ciclic de învățare auto-reglementată („self-regulated learning”) al lui Zimmerman (etapa inițială, etapa performanței și etapa de auto reflecție) pe care l-am dezvoltat pentru a crește motivația și a reduce abandonul studiului [Zimmerman], [Panadero]. Procesul adaptiv de instruire al Educației 4.0 asistat de tehnicile AI și echipamentele purtabile constă în următoarele etape: orientarea și definirea scopului, pregătirea online înainte de curs, prezența activă, colaborarea între membrii grupurilor de învățare, controlul evoluției cantitative și calitative a cunoștințelor, autoevaluarea și motivarea continuării procesului de învățământ, examinarea cunoștințelor și evaluarea prin examen.

## 5. Sistemul adaptiv IoT pentru Educația 4.0 cu echipamente purtabile și senzorii inteligenți pentru măsurarea semnalelor fiziologice

În acest capitol am dezvoltat ideea sistemului de instruire adaptiv IoT cu senzori neinvazivi. Am identificat pentru diverse scenarii, prin experimente cu echipamente purtabile („wearables”), care sunt modalitățile de a urmări evoluția și experiența studenților în utilizarea noilor tehnologii în timpul procesului de instruire.

### 5.2 Inovația „Internet of Things” (IoT) în Educația Academică 4.0

Prin contribuția mea „Educația 4.0- promovarea Internetului Lucrurilor pentru inovație în învățământul superior” [o13] îi conduc pe studenți în lumea IoT, ajutându-i să înțeleagă conceptele tehnologice și să-și îmbunătățească opinia subiectivă despre purtarea senzorilor neinvazivi, oferindu-le informații în timp real pentru instruirea și sănătatea lor. O contribuție proprie este modelul „Utilizării Internet of Things în Educația Academică 4.0” prezentat în Fig. 5.1. Educația 4.0 (I) cu feedback prin analiza învățării folosește echipamente inteligente (II „Smart devices”), cum ar fi: smartwatch, smartphone, Raspberry Pi, feedback pentru sănătate (III „Health”) cu metode de biofeedback și inteligență artificială (IV „AI”).

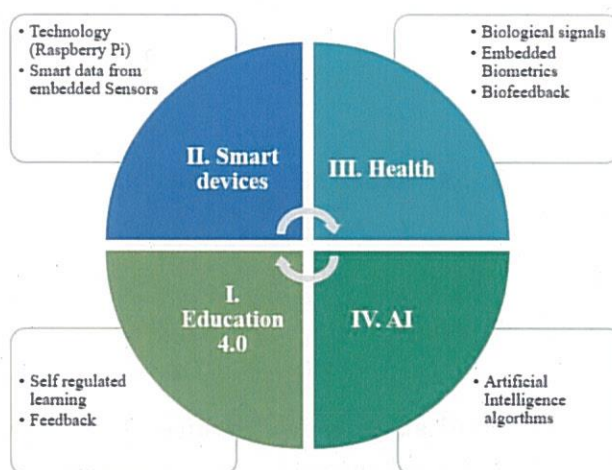


Fig. 5.6 Diagrama utilizării echipamentelor IoT și a feedback-ului în timp real [o13, M. Ioniță Ciolacu et al, IEEE 2019a].

Această arhitectură poate fi folosită, de asemenea, pentru recalificarea forței de muncă pentru Industria 4.0, cât și pentru alte grupe de vârstă sau profile nu doar pentru instruirea studenților.

### 5.3 Schema funcțională a sistemului adaptiv IoT pentru Educația 4.0 bazat pe date multimodale

Educația 4.0 ajutată de Internetul lucrurilor (*IoT*) utilizează *trăsăturile studentului*, atât cele *fiziologice* („*biosignals*”) cum ar fi pulsul (HR), variabilitatea frecvenței cardiace (HRV), vârsta, greutatea, înălțimea, genul, nivelul de energie (LF), rezistența la stres (HF), capacitatea de refacere după efort (rMSSD) sau scanarea amprentei degetului, cât și cele *comportamentale din timpul activității de instruire online*: activitatea în curs, modul în care progresează și înțelegerea materiei prin analiza răspunsurilor la chestionarele de test. O altă **contribuție proprie** este prezentată în schema din Fig. 5.2:

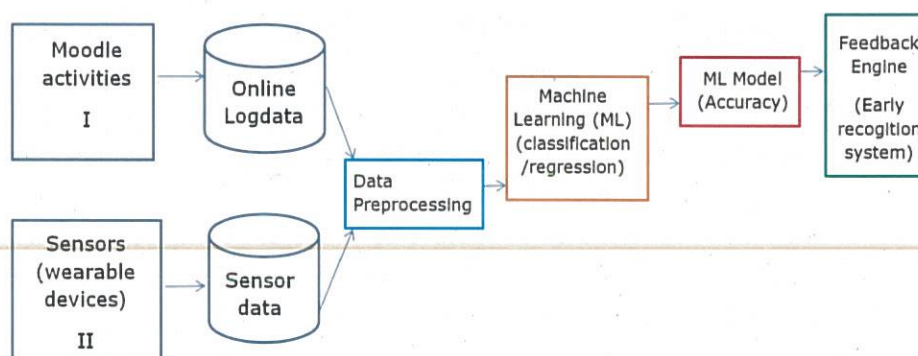


Fig. 5.7 Schema funcțională a sistemului inteligent IoT pentru Educația 4.0 cu achiziția de date multimodale din activitatea din cursul online (I) și de semnale fiziologice de la senzori (II) [o10, M. Ioniță Ciolacu et al, IEEE 2018]



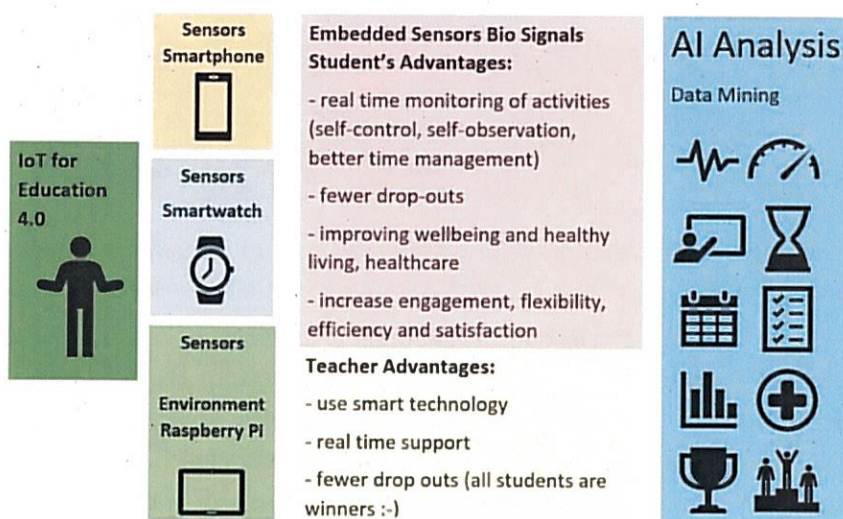
Cerințele „Sistemului adaptiv IoT pentru Educația 4.0” sunt următoarele:

- monitorizarea în timp real cu diferiți senzori semnalele fiziologice ale studenților;
- să fie ușor de utilizat, flexibil și de dimensiuni mici;
- costuri reduse;
- nu trebuie să le distragă studenților atenția de la activitatea de învățare;
- să ajute studenții să-și analizeze comportamentul;
- să ajute studenții să-și înțeleagă răspunsul organismului la condițiile de instruire.

### 5.6 Sistemul adaptiv IoT pentru Educația 4.0

Am creat un sistem adaptiv IoT pentru realizarea unui **prototip rapid**, cu **echipamentele portabile comerciale** („wearables” și mini computerul Raspberry Pi), **cu costuri reduse** având în vedere îmbunătățirea instruirii cu ajutorul datelor obținute de la senzori neinvazivi. Activitățile măsurate de sistem pot fi împărțite în funcție de senzorii care le măsoară: **fiziologici** (pulsul, durata somnului, kaloriile consumate, activitatea zilnică, calitatea somnului, etc.) sau **ambientali** (vremea, temperatura, altitudinea, etc.). **Avantajele** folosirii „Sistemului adaptiv IoT pentru Educația 4.0” asistat de AI și senzori fiziologici (Fig. 5.10) sunt următoarele:

- studenții se pot monitoriza în timp real fără a le fi distrasă atenția în timpul învățării;
- studenții învață autocontrolul, auto-observația, o mai bună folosire a timpului, duc o viață mai sănătoasă și mai activă, primesc feedback în timp real;
- studenții obțin competențele digitale și calificarea necesară Industriei 4.0;
- studenții sunt mai mulțumiți, învață mai eficient și mai bine;
- profesorii folosesc tehnologiile digitale inteligente și oferă feedback în timp real;
- mai mulți studenți promovează examenele.



*Fig. 5.8 Avantajele sistemului IoT pentru Educația 4.0 [o14, M. Ioniță Ciolacu et al, IEEE 2019 b]*



### **5.7 Studiu experimental cu smartwatch în Edu. 4.0**

Participanții au purtat de dimineață până seara la încheietura mâinii un ceas inteligent („*smartwatch*”), care a măsurat pulsul și pașii parcurși. Pulsul a fost măsurat permanent în timpul zilei cu senzorul de monitorizare al pulsului HRM și apoi a fost făcută media pentru fiecare lună. Datele de mișcare au fost obținute de la senzorii accelerometru și giroscop. Activitatea fizică înseamnă și viață trăită sănătos. Numeroase studii au arătat că aprox. 10.000 de pași pe zi aduc multe avantaje, dar sunt la început greu de realizat pentru studenții care duc o viață sedentară; pentru aceasta a fost nevoie să începem cu 3.000 de pași și pe măsură ce au făcut progrese, numărul lor a fost mărit la 6.500.

Pentru experimente, am folosit ceasul inteligent, de tip Android, protocoale IoT pentru a colecta date și am folosit aplicațiile cloud „*Samsung Health*” și „*Withings*” pentru analiza eficientă a datelor colectate și pentru a obține mai multe informații. Aplicația „*Samsung Health*” oferă utilizatorilor posibilitatea de a vizualiza rezultatele și de a exporta datele colectate în format *.csv*. Am obținut toate informațiile despre senzori de la API-ul „*Samsung Health Android SDK*”. Pentru colectarea datelor au fost utilizate echipamentele electronice Samsung Gear Sport Watch și Samsung Galaxy S8 Smartphone. Datele fiziologice au fost înregistrate automat cu ceasul inteligent. Am realizat un chestionar pentru măsurarea semnalelor fiziologice cu ajutorul smartwatch-ului în timpul instruirii. Studenții și-au măsurat valorile dimineața pentru calibrarea individuală a măsurătorilor, au purtat ceasul la mână pe parcursul zilei și și-au vizualizat rezultatele obținute la sfârșitul zilei după sincronizarea smartphone-ului prin Bluetooth. Fig. 5.18 prezintă exemple de măsurare a activității zilnice cu ajutorul ceasului inteligent.



**Fig. 5.9** Măsurarea pulsului cu ajutorul ceasului inteligent și mesaje de motivare pentru o activitate sănătoasă

Studenții au sincronizat odată pe zi datele de la ceasul inteligent cu aplicația de sănătate „*Samsung Health*” cu ajutorul protocolului BLE. Studenților participanți au fost motivați să ducă o viață sănătoasă prin mesaje încurajatoare, intervenții personalizate în timp real ale smartwatch sau smartphone, cât și prin recompense sub forma de medalii obținute pentru realizarea activității și pașilor zilnici ( Fig. 5.19).

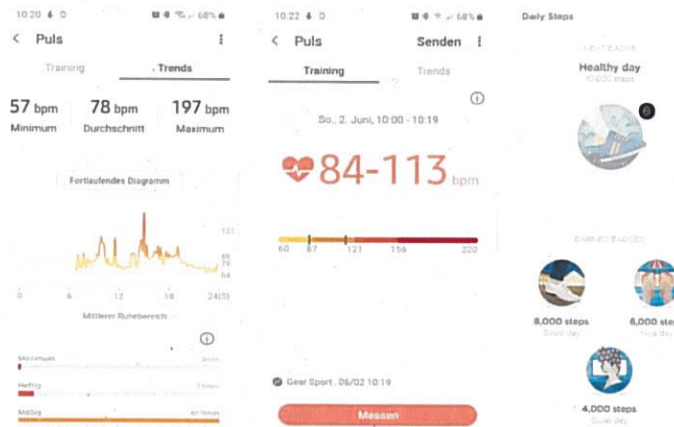


Fig. 5.10 Motivarea studenților cu ajutorul ceasului inteligent prin mesaje pozitive, monitorizarea sănătății și prin câștigul de medalii și puncte pentru activitate [o13, M. Ionită Ciolacu et al, IEEE 2019 a]

maxim ( $HR_{max}$ ), timpul de creare („ $create\_time$ ”), numărul de pași („ $step\_count$ ”), distanța („ $distance$ ”), timpul activ pe zi („ $active\_time$ ”), timpul de mers („ $walk\_time$ ”), timpul de odihnă („ $rest\_time$ ”), calorii consumate activ („ $active\_calories$ ”), rata metabolică bazală, adică numărul de calorii consumate de organism în timpul unei zile dacă nu ar face nimic („ $basal\_metabolic\_rate$ ” BMR), vârsta („ $age$ ”), greutatea („ $weight$ ”), înălțimea („ $height$ ”) și genul („ $gender$ ”). Datele fiecărui participant au fost salvate sub forma .csv, procesate și analizate cu ajutorul algoritmilor.

## 5.8 Studiu experimental cu smartphone în Edu. 4.0

Prin experimente am răspuns la următoarele întrebări de cercetare (RQ):

RQ1: Care este experiența studenților în utilizarea echipamentelor portabile în învățământul superior?

RQ2: Putem identifica o corelație semnificativă între HR și HRV?

RQ3: Pot senzorii oferi informații utile în timpul procesului de învățare?

Pentru experimente, am folosit telefoane inteligente „*smartphone*”, de tip Android, protocoale IoT pentru a colecta datele fiziologice și aplicația cloud „*ECG for Everybody*” pentru măsurarea valorilor HR, HRV, rMSSD, LF, HF cu metoda descrisă în subcapitolul 3.3.6. În continuare o vom numi măsurarea HRV. Aplicația „*ECG for Everybody*”<sup>2</sup> oferă studenților posibilitatea de a vizualiza rezultatele, iar cu metoda **Biofeedback** descrisă în subcapitolul 3.3.7 i-am ajutat să-și conștientizeze nivelul de energie (productivitate), de stres sau potențialul de recuperare și să-și înțeleagă datele fiziologice colectate.

<sup>2</sup> [www.ecg4everybody.com](http://www.ecg4everybody.com)

Am realizat un chestionar pentru măsurarea semnalelor fiziologice cu ajutorul smartphone-ului în timpul instruirii. Prin intermediul lui se face **calibrarea personalizată** la începutul experimentului pentru măsurarea cu **senzorii telefonului inteligent** a valorilor de referință: sexul, vârsta, greutatea, înălțimea, pulsul inimii (*HR*) și frecvența variabilități cardiace (*HRV*), respectiv a pașilor, caloriilor consumate zilnic și a pulsului (vezi *Anexa 5\_Edu 4.0\_smartphone*). În paralel s-a purtat și un ceas smartwatch pentru verificarea acurateței măsurătorilor. Analog cu experimentele din subcapitolul 5.7 studenții participanți au putut primi rezultatele studiului sau am discutat despre datele lor. Participarea la studiu nu a fost relevantă pentru nota de la examen și nu au primit nici o compensație pentru participare.

Am făcut mai multe **ateliere Edu 4.0** cu studenții ( $n = 52$  participanți). Am utilizat chestionarul „*User Experience Education 4.0 with Smartphone*” prin luarea în considerare a aspectelor pentru învățare prin măsurarea parametrilor fiziologici. Participarea la studiul experimental a fost voluntară, aceasta oferind studenților oportunitatea de a-și descrie experiențele și ideile lor în timpul interacțiunii cu datele fiziologice măsurate de senzori în timp real pe perioada instruirii. În cursul LMS Moodle, a fost creat un curs online cu o bază de date. Semnalele fiziologice măsurate în timpul experimentelor au fost notate în baza de date.

#### **Metodologia a fost următoarea:**

- contact prin e-mail pentru explicarea participării la studiu și semnarea consimțământului GDPR (vezi *Anexa 4 Protecția datelor – GDPR*);
- studentul parcurge prima parte a chestionarului pre-testare pentru experiența utilizatorului pentru Educația 4;
- experiment de măsurare asistat în cadrul unui atelier (durata: aprox. 45min.) cu instalarea aplicațiilor sănătate de „Samsung Health” și „*ECG for Everybody*” [Jokic] pe smartphone-ul participanților. Ambele aplicații sunt disponibile în „Playstore” Google. Măsurarea cu ajutorul aparatului fotografic al telefonului înainte și după un stimul de instruire.
- post-test Edu.4.0 chestionar („*User Experience Edu.4.0 Questionnaire Smartphone*”);
- măsurarea acasă dimineața înainte de masă și în timpul instruirii.

Fig. 5.28 prezintă demonstrarea în mod exemplar cu un participant în fața grupei a metodologiei măsurătorii fotopletismografice („PPG”) cu ajutorul camerei telefonului mobil (Fig. 5.28). Ulterior studenții au efectuat singuri măsurători HRV și au notat rezultatele online.



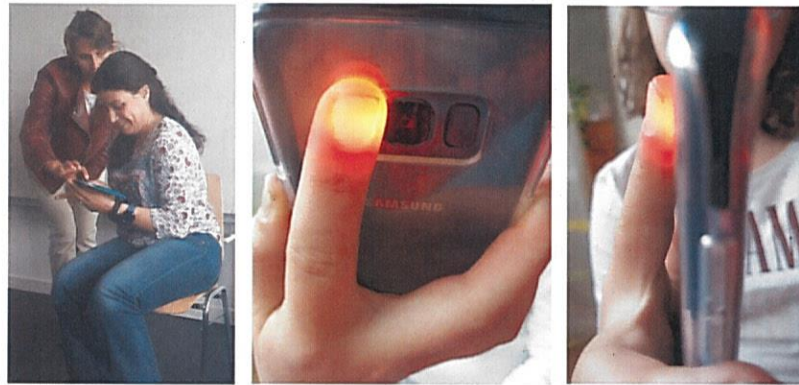


Fig. 5.11 Măsurarea valorilor pulsului (HR) și a variabilității ritmului cardiac (HRV) cu ajutorul camerei telefonului mobil cu metoda fotopletismografiei [o14, M. Ioniță Ciolacu et al, IEEE 2019 b]

După măsurarea valorilor HR și HRV a avut loc sondajul cu chestionarul online. Măsurarea HRV este simplă, complet nedureroasă și durează aproximativ 2 minute și se face cu ajutorul unui smartphone (camera foto), cu ajutorul software-ului de analiză „ECG for Everybody”. Participanții au făcut măsurătorile într-o atmosferă relaxată: poziție verticală (șezând pe scaun) și au măsurat pulsul HR, RMSSD, LF, HF, LF/HF. Fig.5.29 exemplifică datele măsurate pentru o participantă de 45 de ani (id.=F45), sănătoasă, activitate: odihnă, timp: seară cu detaliile de măsurare.

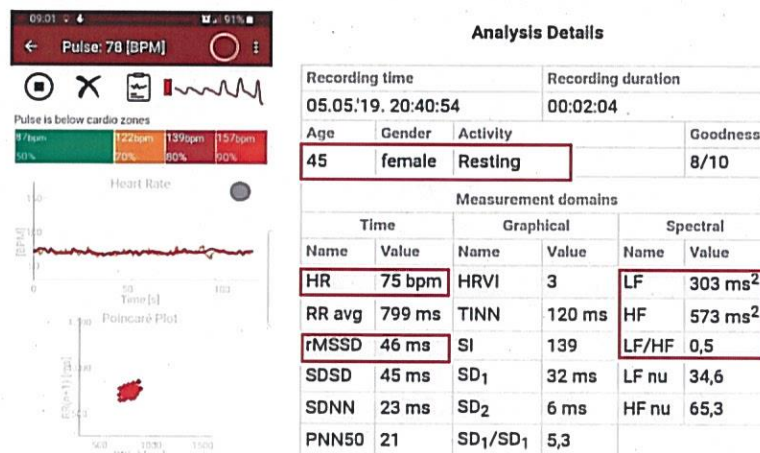


Fig. 5.12 Valorile măsurate cu aplicația „ECG for Everybody” pentru o participantă [o14, M. Ioniță Ciolacu et al, IEEE 2019 b]

Bazându-ne pe valorile normale prezentate în Tab. 3.2 și 3.3 observăm următoarele: valori excelente de HR=78bpm (între 60-84) și cu un nivel de energie scăzut (LF=303) (referința între 754ms și 1.586ms optime pentru energie), cu stres redus (HF=573) (referința între 772 și 1.178 este relaxată) și LF/HF mic ceea ce înseamnă oboseală (LF/HF=0,5). Nivelul de recuperare după stres este foarte bun  $rMSSD = 46$  (referința  $>35$  este bun). În general condiția fizică este bună (rMSSD), doar că este obosită ceea ce este normal fiind seară.

Rezultatele sondajului referitor la **acceptanța față de măsurarea semnalelor fiziologice** le vedem în Fig. 5.33 prin luarea în considerare a aspectelor: acceptanță, manipulare, utilitate și plăcere. Aceasta prezintă compararea valorilor medii ale evaluărilor acceptanței înainte și după măsurare pentru 52 participanți. Observăm că studenții au acceptat foarte bine măsurarea „biosemnalelor” și percep utilizarea ca fiind mai ușoară și mai utilă decât se așteptau. Atitudinea față de utilizarea viitoare a echipamentelor purtabile s-a schimbat pozitiv făcându-le plăcere și au început să aibă încredere în echipamentele purtabile.

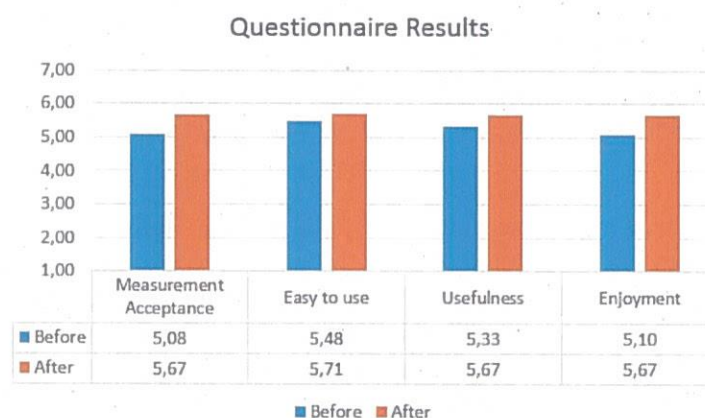


Fig. 5.13 Rezultatele sondajului pentru scenariul III: acceptanța măsurării semnalelor fiziologice cu ajutorul camerei telefonului mobil [o14]

Rezultatele scenariului IV pentru măsurarea timp de 3 săptămâni pentru o studentă sănătoasă (Fig. 5.34) prin luarea în considerare a aspectelor **puls, energie, oboseală, recuperarea după stres, pașii, etajele urcate** (dimineața stânga sus, la prânz dreapta sus, după- amiaza stânga jos și seara dreapta jos). Am folosit coeficientul de corelație pentru a găsi legătura dintre două valori măsurate ( $r$  valori între -1 și 1).

Ca rezultat al măsurărilor efectuate observăm că există:

- o corelație puternică pozitivă pe tot parcursul zilei între nivelul de oboseală ( $HF$ ) și potențialul de recuperare după stres ( $rMMSD$ );
- o corelație puternic pozitivă între numărul de pași și minutele active;
- o corelație pozitivă de dimineața până după-amiaza între nivelul de energie ( $LF$ ) și potențialul de recuperare după stres ( $rMMSD$ ) parasimpatic;
- o corelație puternic negativă după-amiaza între nivelul de energie ( $LF$ ), nivelul de oboseală ( $HF$ ), numărul de pași, minutele active și puls (Fig. 5.33 stânga jos).



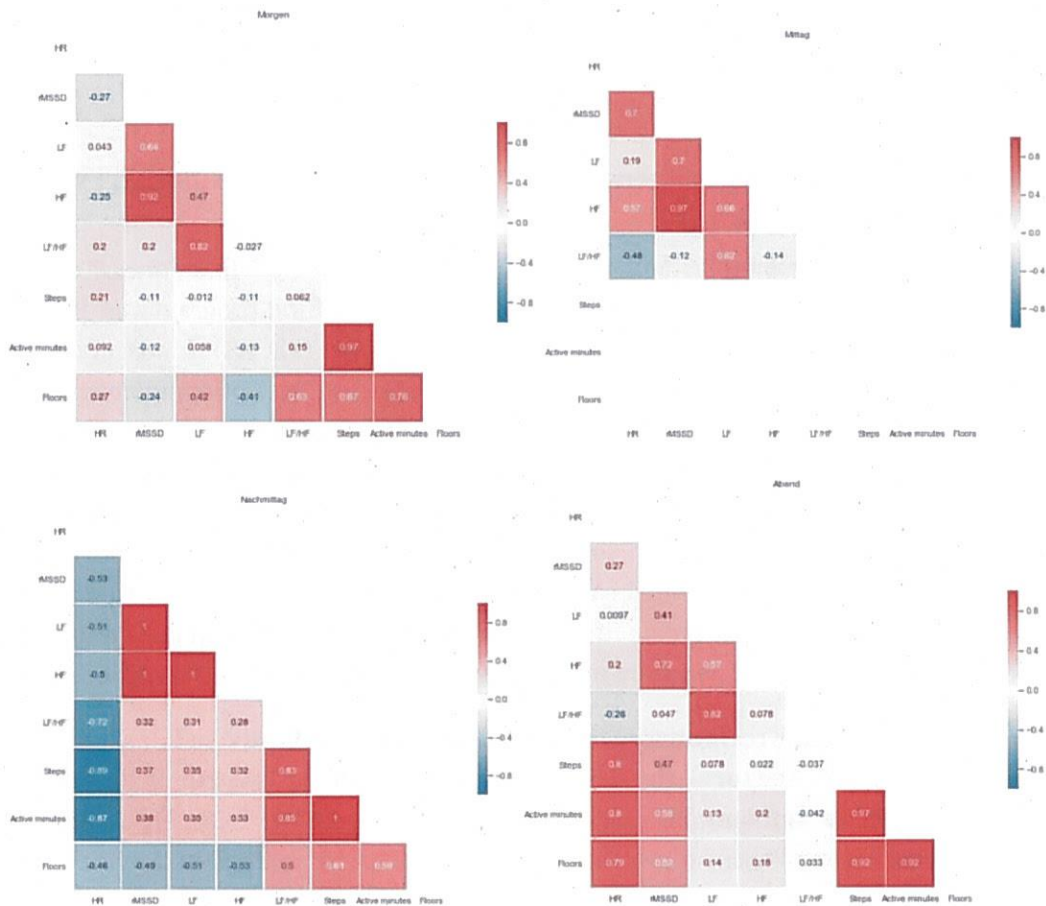


Fig. 5.14 Rezultatele studiului scenariul IV: corelația între HR, rMSSD, LF, HF, LF/HF, pașii, minutele active, etajele urcate [o14, M. Ioniță Ciolacu et al, IEEE 2019 b]

Rezultatele scenariul V – măsurarea cu 12 scenarii de instruire online timp de 3 săptămâni pentru un participant cu diverse tipuri de materiale de instruire (material scris, folii power point, video interactiv, carte interactiva): Materialul cu text scris are o densitate informațională mare, iar pentru o materie cu conținut ușor este potrivit. Materialul video are o densitate informațională mai mică, iar atunci când conținutul este dificil este mai bine de folosit. În ceea ce privește HF observăm reacția studentului din tabelul 5.8 că pentru scenariul cu:

- cartea interactiva (1-B) avem o scădere cu 70%, adică îl obosește (plictisește)
- în cazul video-urilor interactive avem peste tot o creștere, cea mai mare relaxare se întâlnește pentru materia dificilă 514,3%.

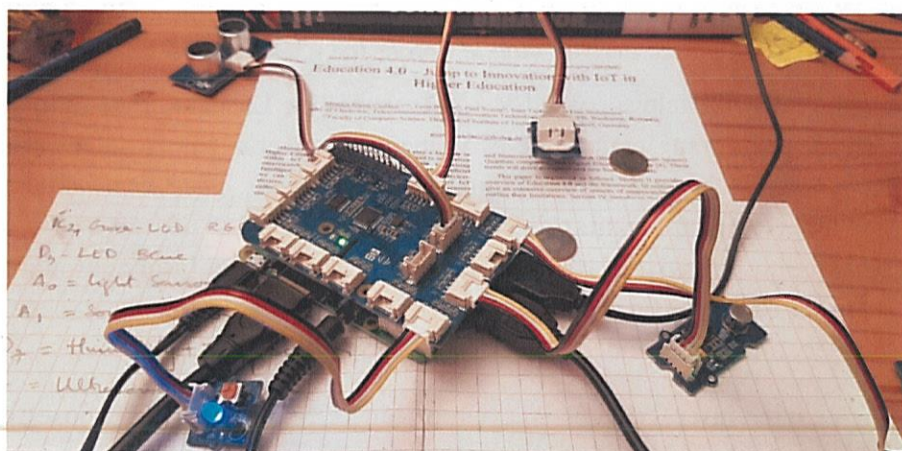
Din tabelul 5.9 observăm că există o corelație ușoară negativă -0,217 între punctele primite la întrebări și pulsul (HR) înainte de a învăța și pulsul înainte de a răspunde la întrebări. Aceasta înseamnă că se primesc mai multe puncte cu cât persoana are pulsul mai mic. Pentru celelalte corelații avem valori pozitive ușoare până

la medii. Cea mai mare valoare a corelației o avem pentru factorul de relaxare HF cu 0,347. Aceasta înseamnă că pentru toate scenariile este valabil cu cât **studentul este mai relaxat primește mai multe puncte la întrebările de control**. Cele mai mari puncte obținute și cele mai bune valori H1 au fost pentru scenariile cu video interactiv 2-V cu 1.293,7 și 3V cu 1.058.

### **5.9 Studiul experimental - Sistemul adaptiv cu Raspberry Pi și Grove Pi în Educația 4.0**

Prototipul sistemului adaptiv „IoT for Education 4.0” funcționează stabil. El este realizat cu Raspberry Pi 3.0 și senzori Grove Pi, fiind programat în Python 3.7.3 cu sistemul de operare Raspbian bazat pe Debian (32 bit) Linux. Prototipul face atenționările vorbite în limba română, germană și engleză prin implementarea aplicației „Google Text-to-Speech” pentru citirea textului afișat pe ecranul monitorului. Această aplicație citește cu voce tare textul de pe ecran cu suport în mai multe limbi. Sistemul adaptiv cu Raspberry Pi identifică cu ajutorul senzorilor Grove Pi condițiile ambientale, din cameră sau laborator, din timpul instruirii, anunță dacă este prea mult zgomot, frig/cald, întuneric/lumină sau umezeală și dă indicații pentru ce trebuie să fie făcut. Pentru cazul în care parametrii stabiliți sunt normali nu se comunică nimic și prototipul IoT stă în stare de așteptare măsurând permanent cu ajutorul senzorilor inteligenți.

Pentru realizarea prototipului sistemului adaptiv IoT, am utilizat **senzorul ultrasonic, senzorul de citire a intensității luminii, senzorul de temperatură și umiditate ambientală, senzorul de sunet, display-ul LCD RGB Backlight de la setul Grove Pi, cât și protocoale de comunicație serială, digitală, Wi-Fi și Bluetooth**. Implementarea hardware arată ca în Fig 5.36.



**Fig. 5.15** Prototip Education 4.0 cu Raspberry Pi și Grove Pi



## **5.10 Contribuții și concluzii capitolul 5**

O contribuție majoră este „Sistemul adaptiv Internet of Things pentru Educația 4.0”, care folosește echipamentele portabile și datele de la senzori inteligenți. Contribuția mea deschide drumul către inovație în cadrul "IoT pentru Educația Academică 4.0" folosind un sistem cu date multimodale. Aceste date pot proveni de la: senzorii ceasului inteligent („*smartwatch*”), senzorii telefonului mobil („*smartphone*”) din care am extras date despre starea de sănătate a studentului, senzorii mini-computerului *Raspberry Pi*, care extrag date din mediul în care se învață; se face analiza învățării („*Learning Analytics*” LA) pentru instruirea prin cursuri online și feedback adaptiv și personalizat bazat pe inteligență artificială.

O altă contribuție este schema bloc a folosirii semnalelor fiziologice măsurate prin tehnici neinvazive și evidențierea rolului semnalelor fiziologice în Educația 4.0. Pentru aceasta am analizat stadiul actual al utilizării echipamentelor portabile în literatura de specialitate. Am evidențiat care sunt blocurile „Sistemului adaptiv IoT pentru Educația 4.0” pentru achiziția semnalelor fiziologice și rolul lor: colectarea și transferul datelor, analiza datelor și luarea de măsuri. O altă contribuție o constituie modelul pentru implementarea generică cu *smartwatch*, *smartphone* și *Raspberry Pi*.

Studiul „*Education 4.0 User Experience*” este în întregime contribuție proprie. În cadrul acestuia am realizat un experiment, care se referă la folosirea tehnologiilor digitale, opinia studenților asupra senzorilor și asupra măsurării neinvazive a datelor fiziologice, la acceptarea tehnologiei electronice avansate, respectiv a echipamentelor portabile („*wearable devices*”) în învățământul superior.

Am aplicat acest studiu la două experimente cu diverse scenarii:

- I. folosind un ceas inteligent „*smartwatch*” cu senzori încorporați pentru măsurarea pulsului, a numărului de pași, a caloriilor consumate, a etajelor urcate și a distanței parcurse. Primul scenariu a măsurat timp de 11 luni o persoană, al doilea scenariu a evaluat un grup de 4 studenți pentru instruirea timp de 12 săptămâni din semestrul de iarnă respectiv înainte și în timpul perioadei de examene. Experimentul ajută la identificarea stării fiziologice în timpul derulării cursului.
- II. Folosind un telefon inteligent „*smartphone*” cu senzori încorporați efectuând măsurători ale parametrilor fiziologici cu principiul fotoplestimografiei. Am măsurat pulsul (HR), numărul de pași făcuți, HRV pentru nivelul de energie, de stres și potențialul de recuperare. Acest scenariu a constatat în măsurarea, timp de 3 săptămâni în diverse perioade de instruire online a unui student. El evidențiază în ce măsură studentul poate să asimileze materia.

Rezultatele verifică ipotezele conform cărora reușita la examen se bazează pe învățarea auto-reglată („*self-regulated learning*”), pe o viață sănătoasă și pe biofeedback-ul oferit de echipamentele portabile ale „Sistemului adaptiv IoT pentru Educația 4.0”. Ca rezultate ale scenariilor cu *smartphone* am identificat că: studenții răspund mai bine la întrebări dacă sunt relaxați, învață mai bine după script sau video interactiv, sunt mai sănătoși dacă au un puls redus și o capacitate de recuperare mai mare. Având în vedere gradul ridicat de acceptanță a echipamentelor portabile în rândul studenților, este necesară implementarea acestor noi tehnologii în procesul de instruire academică - Educația 4.0. Ținând cont de senzorii încorporați în echipamentele portabile, am putut adăuga valoare Educației Academice 4.0.



**O viitoare aplicație pentru examenele online** – un instrument care să certifice că examenul a fost dat fără fraudă.

**Limitări:** Precizia senzorilor poate fi afectată de factori precum condițiile de mediu (soare, ploaie, cald, frig), configurațiile utilizatorului, plasarea senzorilor și contactul cu pielea. Senzorul trebuie să fie curat și fără lichid, apă, praf, parfum sau ulei. O altă limitare este numărul mic de participanți la experimente. Sunt necesare mult mai multe date și grupuri omogene pentru crearea unor modele pentru prognoza/atenționarea anticipată a studenților cu ajutorul algoritmilor inteligenței artificiale. Informațiile culese cu ajutorul dispozitivelor portabile nu sunt destinate utilizării în diagnosticul medical al unor boli.

**Provocările IoT pentru Educația 4.0:**

- durata de viață limitată a bateriei pentru dispozitivele inteligente (2-4 zile)
- date nestructurate (tipuri de date diverse)
- rețele și comunicații (dispozitive, senzori în modul cu fir și wireless, moduri fixe și mobile)
- eficiență energetică și consum, confidențialitate, securitate și etică.

## **6. Sistemul de atenționare timpurie cu algoritmi de învățare automată pentru succesul în învățare**

În acest capitol am prezentat sistemul de atenționare timpurie bazat pe datele obținute din două cursuri online realizate cu Educația 4.0 și rezultatele experimentelor efectuate. În predarea tradițională, profesorul poate identifica studenții care nu au învățat în timpul semestrului numai după corectarea lucrărilor de examen. M-am concentrat în mod special pe Inteligența Artificială cu algoritmi de învățare automată („*Machine Learning*” *ML*), metodele Data Mining (*DM*) și pe analiza învățării („*Learning Analytics*” *LA*). Am efectuat diverse studii experimentale, iar rezultatele lor se regăsesc în lucrările mele [o4], [o8], [o10] și [o14]. Cu ajutorul algoritmilor *ML* am realizat o clasificare a studenților cu 6-8 săptămâni înainte de examen.

Plecând de la premisa că **nota de la examen și succesul învățării depind de activitatea online** am făcut următoarele afirmații („*Hypothesis*” *H*) pe care le-am prezentat și demonstrat în diverse lucrări:

**H1: Învățarea autoreglată începe devreme în semestru** [M. Ioniță Ciolacu, 2017b].

**H2: Există o relație între activitatea în timpul semestrului și gradul de reușită la examen** al studenților [M. Ioniță Ciolacu, 2017b].

**H3: Utilizarea chestionarelor online pentru verificarea celor învățate („quiz”) influențează reușita la examen** [M. Ioniță Ciolacu, IEEE 2018].

**H4: Atenționarea studenților aflați în pericol, respectiv inactivi în timpul semestrului, ajută la creșterea succesului la examen** [M. Ciolacu, IEEE 2018].

**H5: Accesul la date multimodale** (vezi Fig. 5.2 și Fig. 6.17), obținute din activitatea în timpul semestrului dar și cu ajutorul senzorilor inteligenți, poate duce la o acuratețe mai mare a predicției învățării [M. Ciolacu, IEEE 2019b].

În acest capitol prezint rezultatele experimentelor mele cu algoritmi de învățare automată. Activitatea a fost derulată în trei pași:

- I. Identificarea studenților cu probleme cu ajutorul clusterelor;
- II. Identificarea cât mai devreme în semestru a studenților cu probleme prin **realizarea unei prognoze (reușită sau nereușită la examen)** pentru studenții dintr-un nou semestru, cu ajutorul unui model cu rețele neuronale pentru atenționare pentru a-i ajuta să reușească la examene și să-i motivăm să nu renunțe la studiu;
- III. Analiza rezultatelor de la examene după înștiințarea prin email de către sistemul de avertizare timpurie cu rețele neuronale.

### 6.7 Rezultatele Sistemului adaptiv de Atenționare Timpurie cu rețele neuronale

În subcapitolele anterioare, am investigat scenariile în care studenții folosesc numai materialele digitale cu diferite metode de învățare automată (ML), cu scopul de a putea prezice cât de mult depinde rata de promovare a examenului de modul lor de învățare [M. Ioniță Ciolacu 2017b]. Prin urmare pentru sistemul de atenționare am luat în considerare numai rezultatele aplicației Machine Learning pentru învățarea mixtă („*blended learning*”) și numai metoda de învățare supervizată, care a avut cele mai bune rezultate în testele noastre și anume algoritmi cu rețele neuronale.

Tab. 6.19 prezintă numărul de seturi de date utilizate pentru antrenarea, testarea și analiza rezultatelor sistemului de atenționare timpurie („*#go live*” și „*#at risk*”).

Au fost efectuate două tipuri de studii experimentale:

- I. Realizarea unei predicții pentru studenți pentru un nou semestru („*#go live*”),
- II. Recunoașterea în direct a studenților cu risc („*#at risk*”).

Această metodologie am aplicat-o pentru cursul de Matematică („*Mathematics*”) și pentru cursul de Managementul Informației („*Knowledge Management*” KM) (vezi Tab. 6.14).

**Tab. 6.3** Seturile de date utilizate pentru sistemul de atenționare timpurie și rezultatele obținute (identificarea studenților aflați în pericol)

Setul de date	Etapile sistemului de atenționare timpurie			
	Antrenare #Training	Testare #Evaluation	Aplicarea #Go live	Studenții identificați a fi în pericol #At risk
Mathematics/ BA	115	111	91	21
Knowledge Mgmt. / BA	110	97	78	38
Knowledge Mgmt. / BI	60	53	35	20

**Software:** Am folosit mediul de dezvoltare IDE („Integrated Development Environment”) programul *R Studio* Versiunea 1.2.5019 pentru programarea algoritmilor Machine Learning.

Din experimentele subcapitolului 6.6 a rezultat că, spre deosebire de cursurile pur virtuale, folosirea click-urilor de tip „quiz” în cursurile cu învățare mixtă oferă puține informații. Prin urmare, nu am considerat click-urile din chestionarele de test pentru fiecare lună ca pe o intrare separată, dar am folosit click-urile activității lunare cumulate pe parcursul semestrului ca model de intrare în faza de antrenare WT 16/17. De asemenea, numele studenților au fost anonimizate cu algoritmul MD5. La utilizarea rețelei neuronale, am considerat doar datele interacțiunii în curs (clicuri pentru primele 2 luni, respectiv octombrie și noiembrie). Fig. 6.12 prezintă metodologia de implementare a sistemului ERS. Prin aceasta studenții sunt informați cât mai curând posibil despre pericolul de a nu reuși la examen, astfel încât să aibă suficient timp să reacționeze.

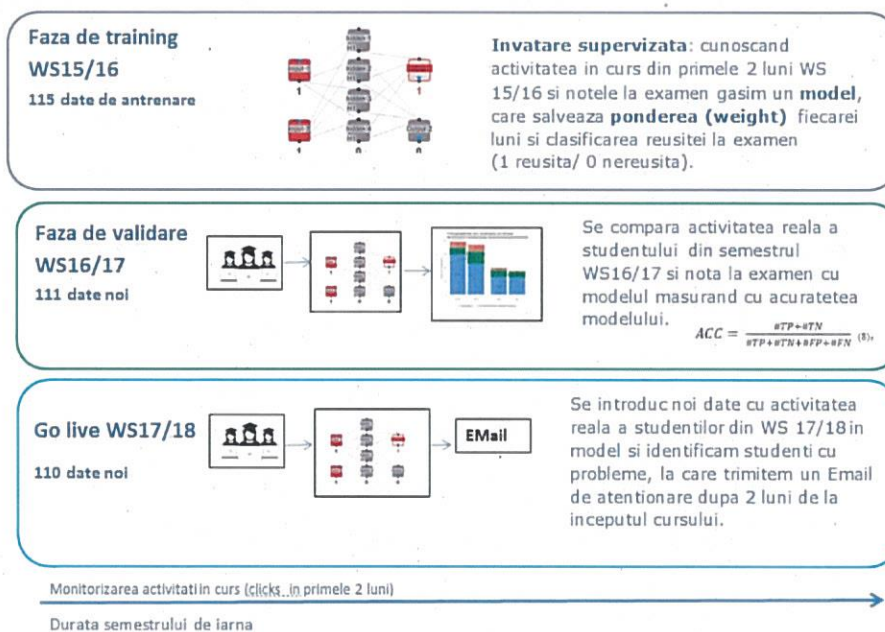


Fig. 6.16 Metodologia de implementare a Sistemului de Atenționare Timpurie [o10, M. Ioniță Ciolacu et al, IEEE 2018]

În Tab. 6.17 prezint 3 combinații de atribute, care oferă modele cu cele mai bune rezultate pentru Facultatea de Economie (BA): CL.SUM 3-4; CL.SUM 3-4-5; CL.SUM 3-4 și QU.SUM 3-4; CL.SUM 3-4-5 și QU.SUM 3-4-5; CL.SUM 3-4 și QU.POI 3-4; CL. SUM 3-4-5 și QU.POI 3-4-5.



Tab. 6.4 Cele mai bune modele și rezultatele celor 3 scenarii de clasificare cu rețele neuronale pentru Facultatea BA

Atributele de intrare	Neuronii ascunși	Acuratețe (ACC)	TPR	TNR
CL.SUM 3-4-5 și QU.SUM 3-4-5	6	88%	81%	93%
CL.3-4 și QU.POI 3-4	1	63%	61%	65%
CL.3-4-5 și QU. POI 3-4-5	8	95%	90%	97%

Cel mai bun model pentru BA ia în considerare atributele din primele 3 luni, și are 6 neuroni în stratul ascuns și oferă o acuratețe de 88%, recunoaște cu o sensibilitate (TPR) de 81% studenți de succes și identifică cu o specificitate (TNR) de 93% studenții în pericol.

În Tab. 6.18 prezintă 3 combinații de atribute, care oferă modele cu cele mai bune rezultate pentru Facultatea de Informatică BI: CL.SUM 3-4-5; CL.SUM 3-4 și QU.POI 3-4; CL.SUM 3-4-5 și QU.SUM 3-4-5.

Tab. 6.5 Cele mai bune modele și rezultatele pentru Facultatea BI

Atributele de intrare	Neuronii ascunși	Acuratețe	TPR	TNR
CL. SUM 3-4-5	5	94%	93%	94%
CL.SUM 3-4 și QU.POI 3-4	3	100%	100%	100%
CL.SUM 3-4-5 și QU.SUM 3-4-5	4	98%	93%	94%

Cel mai bun model NN pentru Facultatea de Informatică BI ia în considerare atributele din primele 2 luni și are 3 neuroni în stratul ascuns. Acesta oferă o acuratețe de 100%, recunoaște cu o sensibilitate (TPR) de 100% studenții de succes și cu o specificitate (TNR) de 100% pentru studenții în pericol. Topologia modelului NN poate fi văzută în Fig. 6.13. Pentru implementarea în limbajul R a NN-ului am folosit biblioteca neuralnet, comanda: library(neuralnet). În continuare, afișăm NN-ul cu comanda: plot(nn).

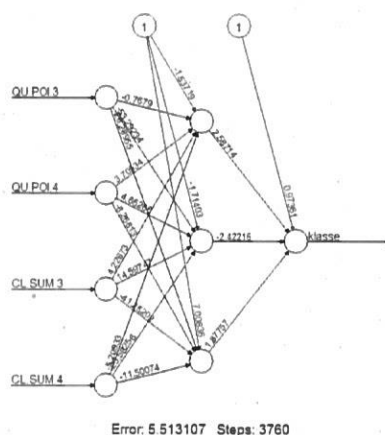


Fig. 6.17 Topologia rețelei neuronale pentru cursul de Manag. Inf. al Facultății BI

Experimentele [M. Ioniță Ciolacu et al, 2017] au arătat că activitățile LMS ale primelor două luni pentru studenții anului întâi sunt mai semnificative pentru succes sau insucces decât întreaga perioadă (75% precizie pentru primele două luni, față de o precizie de 70% luând în considerare patru luni).

Corectarea examenului de Matematică în Ianuarie 2018 a fost la fel de interesantă ca și evaluarea rezultatelor de laborator. Bucuria a fost mare, deoarece rata eșecului a scăzut aproape la jumătate, până la 11% față de anii precedenți, cu un examen la fel de dificil, așa cum au arătat testele comparative din alte facultăți. La Facultatea Turism și Psihologie nu s-a folosit sistemul de atenționare timpurie, iar rata de nereușită a fost de 31% pentru același examen. Inteligența artificială a îmbunătățit performanța studenților la examinare la THD.

## 6.8 Contribuții în Capitolul 6

Examinând conținutul acestui capitol, pot menționa următoarele contribuții personale:

1. o contribuție este însăși ideea, implementarea și testarea „*Sistemului de Atenționare Timpurie*”, care folosește algoritmi Machine Learning și datele activității studenților din cursurile online. Prin intermediul acestuia vin în sprijinul tuturor studenților care nu învață suficient, prin oferirea de ajutor personalizat înainte ca ei să se afle în pericol de a pierde examenul sau de a renunța la studiu, identificându-i pe aceștia după 8-12 săptămâni în funcție de activitatea în curs. Sistemul de Atenționare cu rețele neuronale identifică cursanții cu probleme și îi avertizează în timp util.

2. folosirea algoritmilor de clasificare (vezi Cap. 2 Inteligența Artificială) grație cărora am reușit să identific și să explic necesitatea creării unui sistem de atenționare timpurie a studenților, care sunt în pericol de a pierde examenul și a-i atenționa timpuriu înainte de a se prezenta nepregătiți la examen.

3. utilizarea modelelor învățate de rețelele neuronale pentru a identifica studenții cu risc și pentru a le trimite un e-mail de atenționare. Observăm reducerea la jumătate a ratei de eșec la examinare și reducerea numărului de studenți care nu au participat la examen. Notele obținute la examene de către studenți s-au îmbunătățit substanțial în comparație cu cei, care utilizau același curs dar studiau la alte facultăți, care nu au fost atenționați de către sistem.

Pe viitor studenții își pot monitoriza direct activitatea pe parcursul întregului curs prin analiza învățării („*Learning Analytics*”) care utilizează acest sistem de atenționare, cu o interfață de instruire adaptivă și personalizată.

**Rezultatele** cercetărilor mele oferă promisiuni suficiente pentru:

- a continua să folosim experiența studenților cu algoritmi de învățare Machine Learning și Learning Analytics, folosind pentru succesul studenților un model auto-reglementat;

- a identifica studenții aflați în situație de risc și pentru a putea interveni din vreme, înainte de examinare.

## 7. Concluzii

### 7.2 Contribuții originale

Contribuțiile originale<sup>3</sup> din perioada de desfășurare a cercetării doctorale sunt următoarele:

1. Identificarea elementelor Educației Academice 4.0 și a competențelor necesare Industriei 4.0 [o2], [o4], [o7], [o8] și capitolul 4.
2. Am dezvoltat procesul Educației 4.0 adaptiv și personalizat de învățare și predare ajutat de Inteligența Artificială cu senzori inteligenți și echipamente portabile bazat pe modelul didactic „*self-regulated learning*” al lui Zimmerman [o8], [o 9] și capitolul 4.
3. Identificarea etapelor procesului Educației Academice 4.0 susținut de dispozitive electronice și inteligența artificială [o9], [o10], [o14].
4. Am identificat, care sunt senzorii relevanți pentru Educația Academica 4.0 prin investigarea în detaliu a senzorilor „smartwatch-ului” și „smartphone-ului” - [o13] și capitolul 3.
5. Pornind de la semnalele biologice, dispozitivele portabile (wearable devices) și senzorii inteligenți am propus o schemă de analiză a datelor multimodale obținute de la studenți în timpul învățării - [o10] și capitolul 5.
6. Am analizat semnalele biologice și am identificat care dintre acestea sunt relevante pentru analiza activității studenților în cadrul Educației Academice 4.0 [o13], [o14] și capitolul 3.
7. Am realizat un prototip IoT pentru Educația 4.0 cu minicomputerul Raspberry Pi și placa de dezvoltare Grove Pi utilizând senzori de temperatură și umiditate, senzorul ultrasonic, senzorul de lumină și senzorul de sunet [o14].
8. Am proiectat și dezvoltat un **Sistem de Atenționare Timpurie**, personalizat, pe e-mail, a studenților folosind algoritmi de învățare automată (machine learning ML) - [o4], [o8], [o9], [o11] și capitolul 6.
9. Sistemul de atenționare timpurie a fost testat și am obținut primele rezultate ale aplicării inteligenței artificiale (AI) cu metode Machine Learning. Rezultatele au fost validate în sesiunile de iarnă și de vară din anul universitar 2017-2018 pentru cursul de Matematica și în sesiunea de vară 2018 pentru cursul de Managementul Informației. Prin intermediul sistemului de atenționare timpurie am reușit să motivam studenții, în sesiunile din 2019 și 2020, să învețe și să

---

<sup>3</sup> unde [o] este numărul lucrării originale în care contribuția a fost publicată din lista secțiunii 7.4.



**reducem la jumătate numărul studenților**, care nu au promovat examenele - [o8], [o10], [o12], [o14] și capitolul 6.

10. Am realizat două formulare de feedback pentru „experiența studenților cu Educația 4.0” în timpul învățării, pentru a identifica gradul de acceptare de către studenți a echipamentelor portabile și a senzorilor, în general, în Educația Academică 4.0. Acestea au fost publicate în [o13], [o14] și în capitolul 5.

## Concluzii

În urma cercetărilor efectuate am constatat că utilizarea echipamentelor portabile, a Inteligenței Artificiale și a algoritmilor Machine Learning în cadrul unui sistem de atenționare timpurie („*Early Recognition System*”) cu metoda de învățare autoreglată („*self-regulated learning*”) aduce rezultate promițătoare în privința măsurării procesului de învățare, dar și un mod de viață sănătos al studenților, creșterea încrederii în competențele și forțele proprii. Pentru învățarea online acest sistem poate oferi intervenții personalizate și medii de învățare adaptabile prin intermediul Internetului și al Inteligenței Artificiale. De aceea AI ar trebui să fie integrată în modul existent de predare al cunoștințelor pentru pregătirea forței de muncă destinate Industriei 4.0.

## 7.4 Lista publicațiilor științifice originale

Lucrările științifice le-am publicat la conferințe internaționale și au fost citate în peste 96 de articole științifice dintre care amintesc:

- lucrarea [o1] a fost citată în cartea: „*Redesigning Prediction Algorithms for At-Risk Students in Higher Education: The Opportunities and Challenges of Using Classification Techniques in a University Academic Writing*”<sup>4</sup> în articolul „*Redesigning Higher Education Initiatives for Industry 4.0*”.
- conceptul Educației 4.0 din [o2] și [o4] a fost analizat în jurnalul „*Brazilian Journal of Development*” în articolul „*Education 4.0 in engineering: perception of professors from 3 Brazilian universities*”<sup>5</sup>.
- lucrarea [o10] a fost citată în jurnalul de Ortopedie și Chirurgie „*Der Chirurg*” în articolul „*Künstliche Intelligenz in der Orthopädie und Unfallchirurgie*”<sup>6</sup>.
- lucrarea [o12] a fost citată în articolul „*Prescriptive Education im Zuge der Industrie 5.0*” la conferința Asociației Inginerilor Electroniști Germania, 2020.

[o1] Monica Ioniță Ciolacu, Rick Beer, „*Adaptive user interface for higher education based on web technology*”, Conference: 2016 IEEE 22<sup>nd</sup> International Symposium for Design and Technology and Electronic Packaging (SIITME 2016), Oradea,

---

<sup>4</sup> <https://www.igi-global.com/chapter/redesigning-prediction-algorithms-for-at-risk-students-in-higher-education/224218>

<sup>5</sup> <http://www.brjd.com.br/index.php/BRJD/article/view/3245>

<sup>6</sup> <https://link.springer.com/article/10.1007/s00104-019-01091-9>

Romania, Oct. 20-23, 2016, pp. 300-303, published: **2016**, indexată ISI - fiind citată de către **14** autori.

[o2] **Monica Ioniță Ciolacu**, Paul Svasta, Waldemar Berg, Heribert Popp, “*Education 4.0 for Tall Thin Engineer in Data Driven Society*”, Conference: 2017 IEEE 23<sup>rd</sup> International Symposium for Design and Technology and Electronic Packaging (SIITME 2017), Constanța, Romania, Oct. 26-29, published: **2017**, indexată ISI - fiind citată de către **24** de autori.

[o3] **Monica Ioniță Ciolacu**, Heribert Popp, „*Lehre 4.0: Effiziente virtuelle Weiterbildung /Open Innovation Education 4.0*”, Forschungsbericht 2016-2017, Wissens- und Technologietransfer der Technische Hochschule Deggendorf, Germany, pp. 52-58, published: **2017**.

[o4] **Monica Ioniță Ciolacu**, Ali Fallah Tehrani, Rick Beer, Heribert Popp “*Education 4.0 – Fostering Student Performance with Machine Learning Methods*”, Conference: 2017 IEEE 23<sup>rd</sup> International Symposium for Design and Technology and Electronic Packaging (SIITME 2017), Constanța, Romania, Oct. 26-29, 2017, pp. 432-437, published: **2017**, indexată ISI - fiind citată de către **37** de autori.

[o5] Heribert Popp, Erwin Semke, **Monica Ioniță Ciolacu**, “*Virtueller, wissensbasierter und analytischer MINT-Coach (VWA-MINT)*”, In Book: Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst (Ed). Erfolgreicher MINT-Abschluß an bayerischen Hochschulen, Publisher: Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, München, Germany, Oct. 2015, pp. 72-81, published: **2015**.

[o6] Heribert Popp, **Monica Ioniță Ciolacu**, „*Lehre 4.0 revolutioniert E-Learning in Hochschule und Weiterbildung*”, Jurnalul: Die neue Hochschule (DNH), (4), Germany, pp.12-15, published: **2017**.

[o7] **Monica Ioniță Ciolacu**: „*Education 4.0: Artificial intelligence and wearable devices assisted Higher Education*”, 6.er Tag der Forschung, 10.04.2019, [www.th-deg.de/Forschung/Tag%20der%20Forschung/2019/6.TdF2019\\_Flyer.pdf](http://www.th-deg.de/Forschung/Tag%20der%20Forschung/2019/6.TdF2019_Flyer.pdf), Technische Hochschule Deggendorf, Germania, published: **2019**.

[o8] **Monica Ioniță Ciolacu**, Leon Binder, Rick Beer Heribert Popp, “*Education 4.0 für Akademiker 4.0 Kompetenzen -Blended Learning 4.0 Prozess mit Learning Analytics Cockpit*”<sup>5</sup>, Arbeitskreis Learning Analytics der Fachgruppe E-Learning in der Gesellschaft für Informatik (GI), “Digitalisierungs(wahn)Sinn? Wege der Bildungstransformation – DeLFI und HDI 2018, Goethe-Universität Frankfurt, Doctoral Workshop, [http://ceur-ws.org/Vol-2250/WS\\_LA\\_paper7.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-2250/WS_LA_paper7.pdf), indexată la: German National Library for Science and Technology, published: **2018**.



[o9] Heribert Popp, **Monica Ioniță Ciolacu**, Leon Binder, *“Smarter Blended Learning 4.0 Prozess”*, Tagungsband zum 17. E-Learning Tag der FH JOANNEUM University of Applied Sciences, 13 Sept. 2018; Graz, Austria, pp. 101-112, published: **2018**.

[o10] **Monica Ioniță Ciolacu**, Ali Fallah Tehrani, Leon Binder, Paul Svasta: *“Education 4.0 - Artificial Intelligence assisted higher Education: Early recognition System with Machine Learning to support Students Success”*, Conference: 2018 **IEEE 24<sup>th</sup> International Symposium for Design and Technology and Electronic Packaging (SIITME 2018)**, Location: Iasi, Romania, Oct. 25-28, 2018, accepted for oral session, pp. 23-30, published: **2018**, indexată ISI – fiind citată de către **15 de autori**.

[o11] Heribert Popp, Rick Beer, **Monica Ioniță Ciolacu**, *“Blended Learning 4.0: KI unterstützte digitale Lehre” – Workshop*, In F. Waldherr, C. Walter (Ed.), Tagungsband zum Forum der Lehre an der Technische Hochschule Ingolstadt, Germany, 16 April 2018, pp. 72-78, [https://diz-bayern.de/images/documents/400/DiZ\\_FdL\\_2018\\_Tagungsband.pdf](https://diz-bayern.de/images/documents/400/DiZ_FdL_2018_Tagungsband.pdf), published: **2018**.

[o12] **Monica Ioniță Ciolacu**, Heribert Popp: *„Education 4.0: Künstliche Intelligenz gestaltet smarte Blended Learning Prozesse”*, Forschungsbericht 2018-2019, Conference „6er Tag der Forschung”, Technische Hochschule Deggendorf, Germany, pp. 51-59, 10. April 2019, published: **2019**, fiind citată de către **1 autor**.

[o13] **Monica Ioniță Ciolacu**, Paul Mugur Svasta, Dan Alexandru Stoichescu, Ioan Tache, *“Education 4.0 - Jump to Innovation IoT in Higher Education”*, Conference: 2019 **IEEE 25<sup>th</sup> International Symposium for Design and Technology and Electronic Packaging (SIITME)**, Cluj-Napoca, Romania, Oct. 23-26, 2019, pp. 135-141, published: **2019**.

[o14] **Monica Ioniță Ciolacu**, Leon Binder, Heribert Popp, *“Enabling IoT in Education 4.0 with Biosensors from Wearables and Artificial Intelligence”*, Conference: 2019 **IEEE 25<sup>th</sup> International Symposium for Design and Technology and Electronic Packaging (SIITME)**, Cluj-Napoca, Romania, Oct. 23-26, 2019, pp. 17-24, published: **2019**.

[o15] Heribert Popp, **Monica Ioniță Ciolacu**, Leon Binder, *“Education 4.0: IoT- und CoP-unterstützte Smarte E-Learning-Prozesse”*, 19. E-Learning Tag 2020, “Innovation & Reflexion”, FH Joanneum University of Applied Sciences, Sept. 2020, Graz, Austria, **accepted Workshop, in press**.

[o16] Heribert Popp, **Monica Ioniță Ciolacu**, *“KI- und IoT-unterstützte Blended-Learning-Prozesse – smart Blended Learning”*, Forum der Lehre 2020, „VIELFALT LEBEN - Heterogenität in Studium und Lehre“, Technische Hochschule Regensburg, Germany, Nov. 2020, **accepted Workshop, in press**.



- [o17] **Monica Ioniță Ciolacu**, Raport de cercetare numărul 1, "*Educația Academică 4.0 și Metodele Machine Learning*", 2017.
- [o18] **Monica Ioniță Ciolacu**, Raport de cercetare numărul 2, "*Sistem de Avertizare timpurie cu metodele Inteligenței Artificiale în Procesul Educațional*", 2017.
- [o19] **Monica Ioniță Ciolacu**, Raport de cercetare numărul 3, "*Dezvoltarea unui sistem educațional de avertizare timpurie care utilizează metode Machine Learning și rețele neuronale*", 2018.
- [o20] **Monica Ioniță Ciolacu**, Raport de cercetare numărul 4, "*Inteligența Artificială și senzori inteligenți în procesul educațional*", 2018.
- [o21] **Monica Ioniță Ciolacu**, Raport de cercetare numărul 5, "*Sistem de Avertizare Timpurie bazat pe senzori inteligenți neinvazivi, Inteligența Artificială și Machine Learning pentru îmbunătățirea succesului la examen și a sănătății studenților*", 2019.
- [o22] **Monica Ioniță Ciolacu**, Ali Fallah Tehrani, Paul Svasta, Ioan Tache, Dan Stoichescu: „*Education 4.0: An Adaptive Framework with Artificial Intelligence, Raspberry Pi and Wearables - Innovation for creating value*”, Abstract submitted for 26th IEEE International Symposium SIITME 2020.

## **Bibliografie selectivă**

- [1] N. A. Crowder, "Automatic tutoring by intrinsic programming". In A. A. Lumsdaine & R. Glaser (Eds.), *Teaching machines and programmed learning: A source book*, pp. 286-298, Washington, D.C.: National Education Association of the United States, 1960.
- [4] B. F. Skinner, "Teaching Machines", In: Lumsdaine, A. A.; Glaser, Robert (eds.): "Teaching Machines and Programmed Learning - A Source Book", National Education Association of the United States, pp. 137-158, 1958.
- [8] M. Hermann, T. Pentek and B. Otto, "Design Principles for Industry 4.0 Scenarios", *IEEE - 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, pp. 3928 – 3937, 2016.
- [12] T. Mitchell, "Machine Learning" Book, McGraw Hill Series in Computer Science/ Engineering/ Math, 1997.
- [19] B. Motyl, G. Baronio, S. Uberti, D. Speranza, S. Filippi, "How will change the future engineers' skills in the Industry 4.0 framework? A questionnaire survey", 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy, pp. 1501-1509, 2017.

- [24] S. Jokic, I. Jokic, S. Krco, V. Delic, "ECG for Everybody: Mobile Based Telemedical Healthcare System", In: Loshkovska S., Koceski S. (eds) ICT Innovations 2015, Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 399. Springer.
- [31] J. Blessy, A. Anpalagan, „Body area sensor networks: Requirements, operations, and challenges”, *IEEE Potentials*, Volume: 33, Issue: 2, March-April 2014, <https://ieeexplore.ieee.org/document/6755575>, pp. 21-25, 2014.
- [35] P. Svasta, "Interconnection Techniques in Electronics", "A Way to Turn Your HOBBY Into PROFESSION", available: <http://www.tie.ro/2017/tie-concept/>, TIE 2017.
- [67] D. Ifenthaler, C. Widanapathirana, „Development and validation of a learning analytics framework: Two case studies using support vector machines”. *Technology, Knowledge and Learning*, 19(1-2), pp. 221-240, 2014.
- [72] L. Brehm, G. Holger, "Learning Lab "Digital Technologies" – Concept, Streams and Experiences", 4th International Conference on Higher Education Advances (HEAD'18), Universitat Politècnica de València, pp. 1271–1278, 2018.
- [78] IEEE 802.15.6 Standard, "Wireless Body Area Network (WBAN) Standard", <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>, 2011.
- [82] A. Mandelbaum, A. Shalev, "Word Embeddings and Their Use in Sentence Classification Tasks", *Mathematics, Computer Science*, October 27, 2016.
- [84] S. Gervais-Ducouret, "Next smart sensors generation", *Sensors Applications Symposium (SAS)*, 2011 IEEE.
- [85] W. Burlison, "Affective Learning Companions: strategies for empathetic agents with real-time multimodal affective sensing to foster meta-cognitive and meta-affective approaches to learning, motivation and perseverance", *Diss. MIT*, 2006.
- [87] D. Girardi, F. Lanubile, N. Novielli, "Emotion detection using noninvasive low-cost sensors", 7<sup>th</sup> International Conference on Affective Computing & Intelligent Interaction, pp. 125-130, 2017.
- [95] J. Hernandez, D. J. McDuff, R. W. Picard, „BioPhone: Physiology Monitoring from Peripheral Smart phone Motion", 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), MIT 2015, <https://dam-prod.media.mit.edu/x/files/pdfs/15.Hernandez-et-al-EMBC.pdf>.
- [98] M. Uluitu, "Manual de fiziologie", Editura fundației "Romania de mâine", București 1997.
- [99] C. Simu, "Contributii la Technicile de prelucrarea a semnalului Electrocardiografic", Teza UPB Timisoara, Facultatea de Electronica și Telecomunicatii, 2010, [http://www.tc.etc.upt.ro/docs/cercetare/teze\\_doctorat/tezaSimu.pdf](http://www.tc.etc.upt.ro/docs/cercetare/teze_doctorat/tezaSimu.pdf).

- [100] Electronica azi, "Masurarea ritmului cardiac", accesat la data de: 19.08.2018 <http://electronica-azi.ro/2016/09/03/masurarea-ritmului-cardiac-si-a-nivelelor-de-oxigen-din-sange-pentru-dispozitive-portabile-si-purtabile/>.
- [101] Texas Instruments, "SpO Pulse Ox Wrist Oximeter Reference Design", accesat la data de: 20.10.2018, <http://www.ti.com/lit/ug/tidu124/tidu124.pdf>.
- [107] Virtuelle Hochschule Bayern, "The concept of the Bavarian Virtual University", <https://www.vhb.org/en/about-us/> [accesat la data de: 01.02.2019]
- [118] E. Rauch, A. R. Vickery, C. A Brown, D. Matt, "SME Requirements and Guidelines for the Design of Smart and Highly Adaptable Manufacturing Systems", In Book "Industry 4.0 for SME", January 2020.
- [120] D. A. Kolb, „*Experimental Learning: Experience as the Source of Learning and Development*”, 1984
- [124] E. Panadero, J. Alonso-Tapia, "How do students self-regulate? Review of Zimmerman's cyclical model of self-regulated learning", *Universidad Autónoma de Madridnales de Psicología*, vol. 30, n° 2 (Mayo), pp. 450-462, 2014.
- [130] D. Petcu, "Contribuții la dezvoltarea sistemelor biometrice", Teza de doctorat, Universitatea Politehnica București, 2018.
- [136] L. Angrisani, P. Arpaia, F. Bonavolontà, and R. Schiano Lo Moriello, „*Academic Fablab at University of Naples Federico II: New Research and Development Opportunities in the Fileds of IoT and Industry 4.0*”, IEEE 2018 Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, 16-18 April, Brescia, Italy, 2018.
- [137] K. Maenaka, "MEMS inertial sensors and their applications", IEEE 5th International Conference on Networked Sensing Systems, 2008.
- [138] M. C. Chen, R.-C. Chen, Q. Zhao, "Combining Smartwatch and Environmental Data for Predicting Heart Rate", IEEE Conference on Applied System Innovation ICASI 2018, 13-17 April 2018, Japan, pp. 661-664, 2018.
- [139] O. Herrera-Alcántara, A. Y. Barrera-Animas, M. González-Mendoza and F. Castro-Espinoza, "Monitoring Student Activities with Smartwatches: On the Academic Performance Enhancement", *Sensors Journal*, MDPI, 2019.
- [142] RKI, Robert Koch Institut, „*Mit Daten von Fitnessarmbändern und Smartwatches mehr über die Verbreitung des Coronavirus erfahren*”, [https://www.rki.de/DE/Content/Service/Presse/Pressemitteilungen/2020/04\\_2020.html](https://www.rki.de/DE/Content/Service/Presse/Pressemitteilungen/2020/04_2020.html), accesat la data de: 07.04.2020.