

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

Ана Р. Узелац

**ПРАЋЕЊЕ ПАРАМЕТАРА ФИЗИЧКОГ
ОКРУЖЕЊА ПРИМЕНОМ ИНТЕРНЕТА
ИНТЕЛИГЕНТНИХ УРЕЂАЈА У ЦИЉУ
АНАЛИЗЕ ЊИХОВОГ УТИЦАЈА НА
КВАЛИТЕТ ПРЕДАВАЊА**

докторска дисертација

Београд, 2015

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

Ana R. Uzelac

**MONITORING PARAMETERS OF
PHYSICAL ENVIRONMENT AND
ANALYZING THEIR IMPACT ON LECTURE
QUALITY USING INTERNET OF THINGS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2015

Ментор:

Проф. др Божидар Раденковић
Универзитет у Београду
Факултет организационих наука

Чланови комисије:

Доц. др Живко Бојовић
Универзитет у Београду
Факултет организационих наука

Проф. др Маријана Деспотовић Зракић
Универзитет у Београду
Факултет организационих наука

Доц. др Зорица Богдановић
Универзитет у Београду
Факултет организационих наука

Проф. др Милорад Станојевић
Универзитет у Београду
Саобраћајни факултет

Датум одбране:

ПРАЋЕЊЕ ПАРАМЕТАРА ФИЗИЧКОГ ОКРУЖЕЊА ПРИМЕНОМ ИНТЕРНЕТА ИНТЕЛИГЕНТНИХ УРЕЂАЈА У ЦИЉУ АНАЛИЗЕ ЊИХОВОГ УТИЦАЈА НА КВАЛИТЕТ ПРЕДАВАЊА

АПСТРАКТ

Предмет овог истраживања је праћење параметара физичког окружења применом Интернета интелигентних уређаја и анализа њиховог утицаја на квалитет предавања. Главна хипотеза од које се полази и која је доказана је да се применом технологије Интернета интелигентних уређаја у настави може побољшати процес одвијања наставе. Задатак интелигентних уређаја је да мере релевантне параметре физичке средине, као и активности предавача и студената, који ће потом бити послати на обраду. Побољшање процеса одвијања наставе остварено је имплементацијом система за одређивање квалитета предавања који у готово реалном времену омогућава анализу прикупљених података и приказује обрађене резултате. Како би се реализовао систем који је у могућности да у реалном времену пружи информацију о квалитету предавања, урађен је преглед релевантних истраживања и достигнућа у области техничких и друштвених наука. Урађен је преглед и класификација постојећих имплементација паметних учионица. Да би се идентификовали параметри физичке средине који утичу на квалитет предавања, проучена је литература релевантних области, спроведена анкета и обрађени добијени резултати, па су на основу тога издвојени они који би могли утицати на квалитет предавања. С обзиром на то да се систем бави и анализом предавачевог понашања, проучени су и радови из области образаца понашања и социолошких сигнала као и њихова веза са технологијама које се баве препознавањем активности посматраних субјеката. На

самом почетку су дефинисани захтеви система, а потом је представљена архитектура система која испуњава дефинисане захтеве. У основи пројектованог система налази се класификатор који је истрениран да одговори да ли студенти сматрају да је предавање у датом тренутку квалитетно или не. Тачност класификатора на скупу података за учење износи 93.2%. Затим је имплементиран систем у *Matlab*-у који има могућност да обради дигитални сигнал како би из њега извукао различите гласовне карактеристике, као и да обради изворне податке добијене помоћу акцелерометра. Вредности ових параметара се потом користе као улазне вредности за класификатор чији је задатак да, на основу истренираног модела, за дате улазне вредности одлучи којој класи припадају. Након имплементације система урађена је евалуација у реалним условима за четири различите групе података а добијена тачност се креће од 70.7% до 83.8%.

Кључне речи: Интернет интелигентних уређаја, паметне учионице, обрада дигиталног сигнала, класификација, машинско учење, технологија облака.

Научна област: Информациони системи и технологије.

Ужа научна област: Електронско пословање.

УДК број: 004.89

MONITORING PARAMETERS OF PHYSICAL ENVIRONMENT AND ANALYZING THEIR IMPACT ON LECTURE QUALITY USING INTERNET OF THINGS

ABSTRACT

The subject of this dissertation is monitoring the parameters of the physical environment and analysing their impact on the lecture quality using Internet of Things. This research has proved the main hypothesis that using Internet of Things during lectures can enhance the learning process. The aim of the Internet of Things is to measure relevant parameters of the physical environment, as well as the lecturer's and students' activity which will then be sent for further analysis. Enhancement of the learning process is achieved through the system which is able to analyse the collected data in order to distinguish the lecture quality in almost real time. To this end and for the purpose of developing such system, relevant researches and achievements from both technical and social sciences were reviewed. Existing smart classroom systems were reviewed and classified. In addition, relevant researches from related fields were also studied and leveraged with the results obtained from the questionnaire analysis, in order to identify parameters of the physical environment that could have impact on the lecture quality. Bearing in mind that the aim of such system to analyse lecturer's behaviour, researches related to behaviour pattern and social signals analysis were also examined together with their relationship to the technologies dealing with recognizing subject's activities. After defining system requirements, the system architecture that meets the specified requirements was presented. The system is essentially based on the classifier that is trained to determine if students are satisfied with the lecture quality at a given moment. The classifier's accuracy on the training dataset was up to 93.2%. The system is entirely implemented in *Matlab* and has the ability to process digital signal in order to extract different sound features, as well as to analyse data received using the accelerometer. These values are later used as the input for the classifier with the aim to

distinguish to which class the input values belong, while this decision is based on the data received from the training model. The system was evaluated in the real classroom environment using four testing datasets and the accuracy received is ranging 70.7% to 83.8%.

Keywords: Internet of Things, Smart Classrooms, Digital Signal Processing, Classification, Machine learning, Cloud Computing.

Scientific field: Information Systems and Technology.

Narrow scientific field: E-Business.

UDK: 004.89

Садржај

1. Увод.....	1
1.1. Дефинисање предмета истраживања.....	2
1.2. Циљеви истраживања.....	3
1.3. Полазне хипотезе.....	4
1.4. Методе истраживања.....	5
1.5. Структура и организација рада.....	6
2. Појмови и дефиниције.....	8
2.1. Интернет интелигентних уређаја. Појам и дефиниција.....	8
2.2. Паметне учионице.....	10
2.2.1. Појам и дефиниција.....	10
2.2.2. Класификација.....	10
2.2.3. Анализа постојећих паметних учионица.....	15
2.2.4. Паметне учионице засноване на концепту Интернета интелигентних уређаја.....	16
2.3. Квалитет предавања.....	18
2.3.1. Дефиниција.....	18
2.3.2. Мерење квалитета предавања.....	19
3. Преглед остварених резултата и релевантних истраживања.....	21
3.1. Научне дисциплине.....	21
3.2. Невербално понашање.....	21
3.2.1. Језичка вокализација.....	23
3.2.2. Лице, поглед и усмереност главе.....	25
3.2.3. Гестикулација и држање.....	29

3.2.4. Карактеристике звука и екстракција гласовних карактеристика.....	32
3.3. Обрасци понашања.....	35
3.3.1. Достигнућа у области проучавања образаца понашања	35
3.3.2. Достигнућа у области препознавања човекових активности.....	39
3.3.3. Утицај параметара из физичког окружења на квалитет предавања	42
4. Спецификација и анализа захтева система	57
4.1. Технички захтеви	57
4.2. Захтеви у вези са прикупљањем података и местом постављања сензора.....	58
4.2.1. Складиштење и обрада података	58
4.2.2. Приказивање података.....	59
4.3. Захтеви у вези са архитектуром система.....	59
4.4. Захтеви које треба да испуњава окружење.....	61
4.5. Захтеви у вези са перформансама решења	61
5. Селекција и анализа параметара који утичу на квалитет предавања.....	62
5.1. Анкетни упитник.....	62
5.1.1. Узорак	62
5.1.2. Анализа резултата.....	63
5.2. Потенцијални параметри за мерење социолошких сигнала	64
5.3. Потенцијални параметри из физичког окружења	65
5.4. Окружење у коме је обављено опсервационо истраживање	68
5.5. Анотација података	70
5.6. Анализа параметара	72
5.6.1. Параметри добијени из звучног сигнала	72
5.6.2. Параметри добијени из физичке средине	74

5.7. Евалуација класификатора	75
5.8. Коначна селекција параметара.....	77
6. Дизајн и имплементација компоненти система и њихова интеграција	79
6.1. Опис предложеног система за одређивање квалитета предавања.....	79
6.2. Архитектура предложеног система за праћење квалитета предавања.....	81
6.3. Имплементација система за праћење квалитета предавања	85
6.3.1. Модул за управљање подацима	86
6.3.2. Модул за обраду података.....	87
6.3.3. Модул за класификацију	87
6.3.4. Модул за презентацију	88
6.3.5. Модул за нотификације	94
6.4. Дијаграм случајева коришћења	94
6.5. Системски дијаграм секвенци.....	97
6.6. Евалуација система	101
6.7. Анализа перформанси класификатора и резултата истраживања	103
7. Научни доприноси	105
8. Будућа истраживања	108
9. Закључак.....	109
10. Литература.....	111
11. Списак слика	135
12. Списак табела.....	137
13. Прилози	139
14. Биографија аутора	146

1. Увод

Концепт Интернета се од његовог настанка стално мењао - од првобитне академске мреже коришћене искључиво за размену порука, преко статичког и динамичког *Web* садржаја до данашњег Интернета који се састоји од милијарду међусобно повезаних рачунара. Даљи развој се креће у правцу повезивања не само већег броја рачунара, већ и разних интелигентних уређаја. Интелигентни уређаји представљају разне физичке објекте са могућношћу комуникације без интервенције човека. На овом концепту је заснован Интернет интелигентних уређаја (енгл. *Internet of Things, IoT*), а његова основна идеја се огледа у обједињеном присуству најразноврснијих објеката као што су идентификација радио-фреквенције - *RFID* (енгл. *Radio-frequency Identification*) тагови, сензори, актуатори, мобилни уређаји, који кроз јединствене шеме адресирања имају могућност међусобне интеракције и сарађивања с циљем обављања одређених задатака [80].

Интернет представља променљиву парадигму која је временом од мреже која повезује рачунаре који су били фиксирани за једно место еволуирао ка томе да постане доступан било где и било кад, а у скорије време добија и нову димензију која омогућује повезивање не само рачунара већ и разних других интелигентних уређаја.

Да би се постигла *end-to-end* комуникација између интелигентних уређаја, заслужно је више научних дисциплина, а кључну улогу имају телекомуникационе науке, технологије које се баве развојем бежичних сензора и технологија сензорских мрежа. С обзиром на то да је ово нов концепт, постоји велики број проблема које је потребно решити пре његове масовне примене. Када се ти проблеми реше, могућности примене овог концепта биће огромне, утицаће на квалитет људског живота, а уследиће и трансформације у великом броју сектора. Захваљујући чињеници да ће скоро сви објекти бити умрежени, биће омогућена комуникација између њих, што ће иницирати развој аутоматских система контроле са разноврсним применама - почев од саобраћаја, логистике и транспорта, па све до здравствених система. Коришћењем

IoT-а и само окружење се може учинити интелигентнијим, па у будућности можемо очекивати све већи број паметних простора, зграда, градова, итд. Учионице представљају још једно од места где је могуће применити овај концепт да би се добило паметније окружење, способно да унапреди процес предавања и учења.

1.1. Дефинисање предмета истраживања

Проблем који ће се разматрати у оквиру ове дисертације односи се на могућности примене *IoT* технологије у паметним учионицама, са циљем прикупљања релевантних параметара физичког окружења за време предавања на основу којих би било могуће аутоматски одредити квалитет предавања у реалном времену.

У основи предмета истраживања ове дисертације налази се појам *IoT* и могућност његове примене у паметним учионицама. Постоје разне дефиниције појма *IoT*, а, по једној од њих, *IoT* представља повезаност у било ком тренутку, на било ком месту, било чега [130]. Иако се паметне учионице већ дуже време истражују и унапређују, у овом тренутку не постоји много имплементација у којима се користи *IoT*. Предмет истраживања ове дисертације била би имплементација *IoT* у учионици и добијање паметног окружења које активно „слуша“, анализира гласове и одређује квалитет предавања. То неће бити могуће простом применом *IoT*-а, већ његовим упаривањем са социолошким и бихевиористичким параметрима који се могу добити посматрањем учесника.

Главни задатак ове дисертације биће примена сазнања до којих се дошло у приступном раду кроз извођење практичног експеримента. Ова дисертација ће се фокусирати на предавача и њене/његове активности, као и на окружење у коме се одвија настава, па ће се истовремено тумачити и корелација свих опсервација физичког окружења. Параметри физичке средине (температура, осветљење, количина буке, присуство гасова, итд.), за које је у претходно обављеним истраживањима утврђено да на неки начин утичу на процес учења, биће подробније испитани и анализирани. Након тога ће бити имплементирана паметна учионица опремљена

одговарајућим сензорима и мониторинг уређајима који ће служити за детекцију параметара за које је показано да могу бити релевантни. Прикупљени подаци ће се потом анализирати и упарити, с циљем да се добије информација о квалитету предавања у реалном времену. Паралелно са снимањем окружења, посматраће се и активности предавача: да ли се интензивно помера, да ли и како говори, монотоност његовог гласа, итд. На крају ће се ови подаци објединити, како би се добила информација о квалитету предавања коју касније могу да користе студенти и предавач.

1.2. Циљеви истраживања

Примарни циљ ове дисертације је имплементација паметне учионице опремљене одговарајућим интелигентним уређајима која ће у реалном времену моћи да пружи информацију о квалитету предавања.

Реализација ће се одвијати у следећим правцима:

- Истраживање постојећих имплементација паметних учионица и њихова класификација, са посебним освртом на паметне учионице које се заснивају на *IoT* концепту;
- Истраживање параметара физичке средине који имају утицај на когнитивне способности студената - истраживањем литературе и путем анкете;
- Истраживање радова из области образаца понашања који се баве њиховом анализом и дају одговор о психолошком стању посматраних субјеката;
- Истраживање радова који се баве препознавањем активности посматраних субјеката, са могућношћу њихове примене у праћењу активности предавача;
- Дефинисање захтева које дати систем треба да испуњава;

- Развој система за праћење активности студената и предавача који испуњава дефинисане захтеве;
- Тестирање развијеног система путем експеримента и евалуација добијених резултата.

Током рада на овој дисертацији, користиће се најновија достигнућа из области *IoT*.

1.3. Полазне хипотезе

Главна хипотеза која ће бити тестирана у докторској дисертацији гласи:

„Осавремењивање садржаја учионице као места у коме се одвија настава могуће је применом сензора који би имали за циљ да омогуће прилагођавање процеса одвијања наставе у реалном времену, прикупљањем и истовременом анализом података добијених посматрањем релевантних параметара физичке средине, као и активности предавача и студената.“

На основу дефинисаног предмета истраживања, може се издвојити неколико посебних хипотеза које се односе на делове предмета истраживања:

X0.1. Паметне учионице опремљене сензорима могу да допринесу општем побољшању научно-образовног процеса.

X0.2. Могуће је имплементирати паметну учионицу коришћењем *IoT*-а која испуњава дефинисане циљеве истраживања.

Даљим прецизирањем наведених посебних хипотеза, формулишу се појединачне које се односе на елементарне чиниоце предмета истраживања.

X0.1.1. Коришћењем сензора могуће је испитати разне параметре физичког окружења, као и добити корисне информације о посматраним субјектима.

X0.1.2. Добијене податке је могуће сакупити, анализирати, упарити и доћи до закључака који се односе на квалитет предавања у реалном времену.

X0.1.3. Могуће је у реалном времену пратити и идентификовати активности предавача без ометања самог предавања.

X0.1.4. Праћењем параметара физичког окружења у реалном времену и упаривањем добијених података са активношћу предавача добијају се показатељи који се могу искористити за прилагођавање предавања очекивањима студената.

1.4. Методе истраживања

Током израде овог рада користиће се следеће методе истраживања: научно посматрање, научни експеримент, научно испитивање, информатичка метода и метода анализе садржаја. Информатичка метода ће се користити приликом прављења одговарајућег софтверског решења. Од техника научног испитивања користиће се анкета, а подаци добијени анкетом биће обрађени статистичком методом. Поред статистичке методе, од општих научних метода користиће се аналитичко-дедуктивна и компаративна. Аналитичко-дедуктивна метода ће се користити приликом анализе понашања студената и предавача током експеримента, као и приликом анализе постојећих паметних учионица. Добијени резултати ће бити обрађени коришћењем статистичке методе. Компаративна метода ће се користити приликом упоређивања постојећих паметних учионица.

Од посебних научних метода користиће се аналитичко-синтетичка метода, метода класификације и метода индукције и дедукције. Методе анализе ће се користити приликом рашчлањивања понашања студената и професора на појединачне бихевиористичке сигнале. Класификација паметних учионица биће извршена коришћењем методе класификације.

У експерименталном делу посматраће се перформансе имплементираног система и информације о квалитету предавања када се оно одвија у паметним учионицама.

Добијени резултати експеримента треба да потврде главну хипотезу о осавремењивању садржаја учионица применом сензора који би имали за циљ да омогуће прилагођавање процеса одвијања наставе у реалном времену прикупљањем и истовременом анализом података добијених посматрањем релевантних параметара физичке средине, као и активности предавача и студената.

Резултати истраживања биће презентовани текстуално, табеларно и графички. Истраживање ће бити интердисциплинарно, јер укључује научне дисциплине као што су статистика, информатика и психологија. Обрада добијених резултата припада статистици, а прављење одговарајућег софтверског решења способног за обраду података припада информатици. У истраживању ће се, приликом проучавања реакција учесника, користити и достигнућа остварена у психологији.

1.5. Структура и организација рада

Рад је организован према фазама истраживања у следеће целине:

- Дефинисање следећих појмова:
 - Интернет интелигентних уређаја
 - Паметне учионице
 - Квалитет предавања

- Преглед остварених резултата и релевантних истраживања:
 - радови који се баве препознавањем образаца понашања
 - радови који се баве препознавањем човекових активности
 - радови који проучавају утицај параметара из физичког окружења на неки аспект предавања или учења

- Спецификовање и анализа захтева система
- Селекција и анализа параметара који утичу на квалитет предавања
- Дизајн и имплементација компоненти система и њихова интеграција
- Евалуација перформанси система

2. Појмови и дефиниције

2.1. Интернет интелигентних уређаја. Појам и дефиниција.

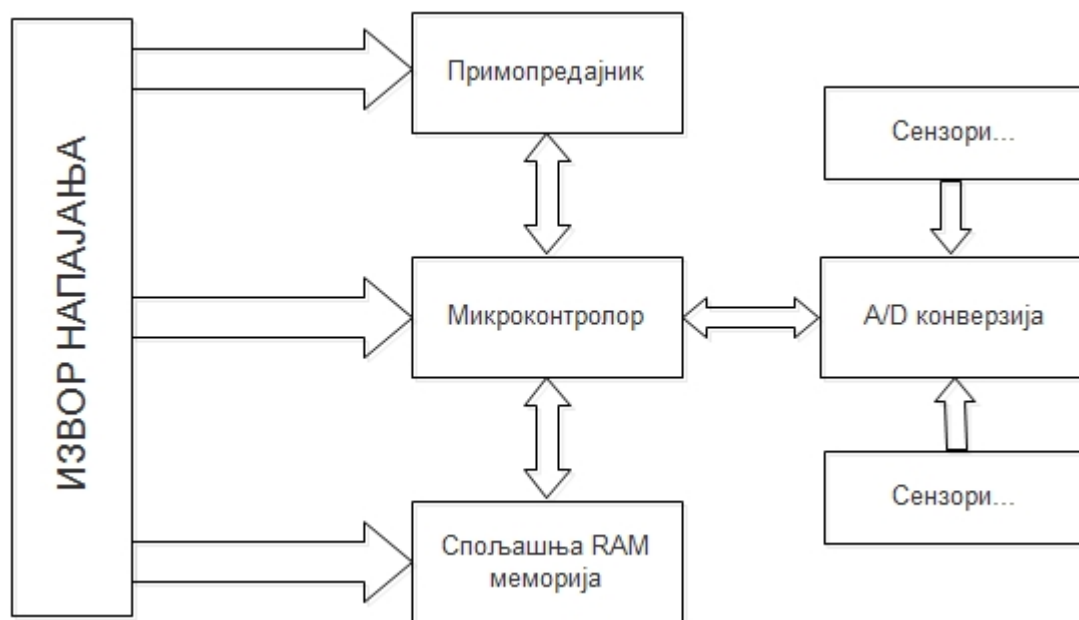
Појам *IoT* није једноставан за дефинисање и његова дефиниција зависи првенствено од тога да ли се акценат ставља на објекте који се повезују или на начин њиховог повезивања. Објектима су првобитно сматрани *RFID* тагови који представљају кључни део *IoT* концепта. Али, временом је овај термин проширен и на разноврсне „интелигентне“ уређаје, као и на пратеће мрежне и сервисне технологије, па се данас *NFC* (енгл. *Near Field Communications*), заједно са *WSAN* (енгл. *Wireless Sensor and Actuator Networks*) и *RFID*-ем, сматрају атомским компонентама које ће повезати реални свет са дигиталним [215]. Међународна унија за телекомуникације - *ITU* (*International Telecommunication Union*) има своју визију појма *IoT* и посматра га као повезаност у било ком тренутку, на било ком месту, било чега [130].

Друге врсте дефиниција у први план стављају начин на који су повезани објекти. Једну од тих дефиниција дала је ИПСО Алијанса - *IPSO* (енгл. *IP for Smart Objects Alliance*) - [61] чији је један од задатака да промовише Интернет протокол као мрежну технологију за повезивање интелигентних уређаја широм света. Они у средиште *IoT* стављају *IP* стек, као протокол који има потенцијал и све неопходне квалитете да повеже интелигентне уређаје ма где се они налазили. Сличан приступ има и *Internet Zero* [79], који подржава „*IP* преко свега“ парадигму, а - као и *IPSO* - сматра да се поједностављењем тренутног *IP* протокола може добити протокол којег могу да користе интелигентни уређаји.

IoT може бити виђен и као „*Web of Things*“ [90], тј. може да искористи постојеће већ развијене *Web* стандарде за повезивање и интегрисање објеката у реалном свету, тако што претвара објекте у *RESTful* ресурсе који се могу користити директно преко хипертекст трансфер протокола - *HTTP* -а (енгл. *HyperText Transfer Protocol*). На тај начин би уређаји и њихова својства могла бити доступни преко *Web* прегледача без

потребе инсталирања додатног софтвера или драјвера. Уређаји би на тај начин постали интегрални део *Web*-а тако што би користили *HTTP* као апликациони слој.

Различите технологије су утицале на настанак и развој *IoT*-а, а једна од кључних је бежична технологија. Дошло је до значајних смањења у величини и тежини, али и у количини енергије која је неопходна за рад. Поред бежичне технологије, битан је и развој сензорских мрежа, чији саставни део представља сензор. Сензори представљају мале уређаје који раде на ограниченој меморији, а састоје се од микроконтролера, мале *RAM* меморије од неколико *KB*, радио примопредајника и неколико аналогних сензора који су повезани за микроконтролор преко *A/D* конвертора и извора енергије. Сам сензор има задатак да снима неку особину окружења у којој се налази (температура, ваздушни притисак, влажност ваздуха, итд.), али са прилично ограниченом могућношћу процесирања и приказивања прикупљених података. На слици 1 дат је приказ блок дијаграма сензорског чвора.



Слика 1. Блок дијаграм сензорског чвора [78]

Сензорске мреже састоје се од једног броја сензора (тај број може бити и доста велики) који имају могућност да међусобно комуницирају. Најчешће имају задатак да

своја „опажања“ шаљу до гејтвеја сензорских чворова, чији је задатак да даље рутира сакупљене податке до крајњег одредишта. Енергија коју сензори користе за комуникацију је далеко већа од оне која им је неопходна за „опажање“; зато су технике као што су компресија података и агрегација јако битне у сензорским мрежама, док технике рутирања треба да буду такве да се ниједан чвор не преоптерети превише. Досадашња решења за традиционалне мреже делимично могу бити примењена и на сензорске мреже, али због специфичних захтева које сензорске мреже морају да испуне, нека су потпуно неприменљива, па доста тога мора да се ради испочетка. Неки од концепата (на пример локализација и позиционирање) нису се јављали код традиционалних рачунара, па ти концепти морају бити развијени од самог почетка.

Као што је наглашено у уводу, предмет овог истраживања је примена *IoT*-а у паметним учионицама, па ће пре даље анализе бити дата дефиниција овог појма.

2.2. Паметне учионице

2.2.1. Појам и дефиниција

Паметне учионице су инспирисане истраживањем паметних простора и представљају паметни простор развијен у учионици [242], док паметна окружења могу бити дефинисана као окружења која подржавају стационарна и мобилна информациона окружења која се могу повезати на Интернет [229]. Такође, паметне учионице се могу дефинисати и као интелигентна окружења опремљена различитом хардверском и софтверском опремом: пројекторима, камерама, сензорима, модулима за препознавање говора, лица, погледа, итд. [292].

2.2.2. Класификација

Данас се може наћи велики број различитих имплементација паметне учионице, па постоје бројна развијена решења за видео конференције, учење на даљину базирана на мултимедијалном окружењу, учионице у којима су студенти приказани помоћу *3D*

технике, итд. Услед њихове разноврсности тешко је направити једну свеобухватну поделу. Једна од могућих подела би била у зависности од функционалности, па би све паметне учионице могле бити смештене у следеће категорије [81]:

- Виртуелни асистенти
- Учионице са аутоматизованим снимањем предавања
- Дигитализација писаних материјала
- Системи за видео/аудио конференције
- Виртуелизација учесника

2.2.2.1. Виртуелни асистенти

Виртуелни асистенти имају задатак да „препознају“ људски говор и/или покрете као инструкције и да позову извршавање одговарајућих акција. Помоћу њих је могуће променити слајд, отворити жељени документ, итд. Ово се најчешће постиже помоћу мултимодалног процесирања, па информације добијене из различитих модалитета имају улогу у повећању тачности приликом препознавања појединачних модалитета. На пример, ослањање само на препознавање говора у неким случајевима даје недовољно тачне резултате због разних спољних утицаја у виду буке, па се зато врши упаривање са модулима који препознају унапред дефинисане гестове и тумачи се њихова комбинација, при чему су тако добијени резултати далеко бољи него кад се посматра само један од њих [292].

У виртуелне асистенте спадају ласерске оловке које представљају замену за миша [17], као и дигиталне табле односно екрани осетљиви на додир, као у случају *Classroom 2000* пројекта [1], где предавач црта по екрану а систем дигитално генерише одговарајуће линије.

Предност оваквих учионица над обичним је у томе што аутоматизација окружења омогућује предавачу да буде усредсређен на предавање, као и да се слободно креће, при чему је ефикаснији јер није неопходно да троши време на подешавање опреме.

2.2.2.2. Аутоматизовано снимање предавања

Окружења која омогућују аутоматизовано снимање предавања прате кретање предавача. Праћење предавача се обезбеђује снимањем комплетне сцене помоћу статичне широкоугаоне камере, а добијена слика се потом софтверски анализира како би се открила позиција предавача, па се та информација користи за навођење друге камере која је ближа предавачу [18], [231]. Други начин је да се комплетно снимање врши помоћу једне камере, а да се предавач задржава у центру сцене помоћу техника дигиталног кроповања и механичког праћења, при чему долази до слабљења резолуције [295], [299]. Групе система који обављају аутоматизовано снимање предавања уз могућност праћења кретања предавача познате су под називом *виртуелна режија* [293].

Код аутоматског праћења постоји проблем када се прати објекат који је у великом контрасту са позадином (на пример предавач који носи тамно одело а у позадини се налази светао зид). Овакви проблеми се могу превазићи корекцијом позадине. Поред аутоматског, могуће је и мануелно праћење предавања. Постоје и фиксирани позиције за камере којима се снимају студенти и посебно фиксирани камере које служе за снимање професора, а ручно подешавање је могуће притискањем тастера на пулту.

2.2.2.3. Дигитализација писаних материјала

Дигитализација писаних материјала представља групу софтверско-хардверских компоненти која врши трансформацију рукописа у електронски формат, односно директно се прикупљају подаци добијени од паметних табли и екрана осетљивих на додир [293].

Једно типично решење је *PAOL* (енгл. *Presentations Automatically Organized from Lectures*), који представља систем којим се снима садржај презентације добијен од прикупљеног низа слика високе резолуције [55]. *PAOL* ради тако што снима таблу и добија серију слика битних догађаја. Сам процес се састоји из два дела: за време првог дела који је главни, дигитално се уклања предавач и све слике се без икакве селекције чувају. У другом делу се уклањају дупликати, издваја се једна која се затим изоштрава како би се повећала читљивост. Цео процес, изузев повећавања читљивости, обавља се у реалном времену, а накнадне обраде ради добијања оштријих слика завршавају се најкасније два минута после завршетка предавања. Снимљене слике се могу дистрибуисати у реалном времену или сачувати да би се касније синхронизовале са другим садржајима.

У пројекту *MC13* [282] направљен је механизам за снимање и дигитализацију дигиталних белешки написаних на електронској белој табли или на дигиталном таблету са аудио-визуелним снимањем предавача. Систем омогућује студентима да погледају лекције преко *Web* прегледача са факултетског или кућног рачунара.

2.2.2.4. Системи за аудио/видео конференције

Системи за видео/аудио конференције су комерцијално широко заступљени и представљају системе који користе интерактивне телекомуникационе технологије за успостављање истовремене двосмерне комуникације путем слике и звука.

У ову групу спадају и разни облици теле-едукације, а најчешћи облици система развијени за теле-едукацију направљени су за *desktop* рачунаре и захтевају од предавача да седи испред *desktop* рачунара и - користећи тастатуру и миша - држи предавање на даљину. Један од примера потпуно другачијег приступа приказан је у раду [292]. Ту је приказана паметна учионица опремљена са два пројектора, при чему један приказује предавање које држи професор и представља аналогон табли за писање која се користи у обичним учионицама, док други пројектор приказује портрете удаљених студената. Приказ на табли се синхронизује и приказује на клијентима којима приступају студенти и све промене које направи професор

рефлектују се на њему. Професор има могућност да уступи студенту реч и све оно што студент уради или изговори приказује се како на пројектору тако и на клијентима свих студената. Још једна предност је и што професори нису везани за рачунар, тастатуру и миша. Овај теле-едукациони систем омогућује истовремено држање предавања и студентима који су физички присутни као и онима који су удаљени. И у овом случају можемо приметити да ова паметна учионица садржи и неке функционалности које спадају у неке друге категорије и нису део система за видео/аудио конференције.

Проблем код теле-едукације је недостатак физичког контакта, размене емоција, повратне реакције, као и недостатак осећаја припадности некој групи. Зато је циљ теле-едукације да се развија у правцу имитирања реалности.

2.2.2.5. Виртуелизација учесника

Виртуелизација учесника се односи на стварање виртуелног окружења које има за циљ да симулира приказ традиционалне учионице. Конкретно - виртуелизација се може посматрати као софтверски рендеринг виртуелног простора учионице који се дигитално попуњава сликом или видео записом студената, стримовањем у реалном времену или приказаним у облику аватара [81]. Наведене компоненте у реалном окружењу се систематски допуњују; а у одређеним случајевима представљају јединствену целину, због чега се тешко разграничава где се једна категорија завршава а где почиње друга [81].

Платформа *EVE* (енгл. *Educational Virtual Environment*) је један од примера креирања тродимензионалних виртуелних простора [24]. *EVE* представља окружења и системе који су развијени с циљем да симулирају и подрже разне сервисе за е-учење. Акцент у овом решењу је на сарадњи између студената и професора, која је неопходна како би се постигао напредак у учењу. Поседује велики број сервиса од којих су најзанимљивији они везани за сам процес учења одређених курсева намењен већем броју корисника. Предавања се одвијају у виртуелном 3D окружењу, док је свака особа је представљена помоћу свог аватара у виртуелној учионици. Аватари имају

могућност прављења одређеног броја гестова, као што су слагање или неслагање, мимике (тужан, срећан) као и приказа одређених акција.

2.2.3. Анализа постојећих паметних учионица

У табели 1 дат је преглед паметних учионица са главним карактеристикама.

Табела 1. Преглед паметних учионица са карактеристикама [81]: [А] виртуелни асистенти, [Р] аутоматизовано снимање предавања, [Д] дигитализација писаних материјала, [К] системи за видео/аудио конференције, [В] виртуелизација учесника

Назив пројекта	Функција	Основне карактеристике
<i>Blending-reality smart classroom</i> [36]	А, Д, К, В	Интеракција човека и рачунара уз помоћ гласа; видео/аудио комуникација у реалном времену у оба смера; 3D приказ сцене учионице; интелигентни видео систем са праћењем;
<i>Eve</i> платформа [24]	В, Д	Виртуелна предавања са аудио конференцијом, где је сваки учесник замењен својим аватаром.
<i>IBMD</i> [89]	А	<i>RFID</i> бежична сензорска мрежа.
<i>VAVC</i> [153]	В, К	Виртуелна учионица, хардверски и технички захтеви; моделовање понашања аватара.
<i>PAOL</i> [55]	Р	Аутоматизовано снимање садржаја табеле снимањем серије слика.
Препознавање покрета [223]	А	Препознавање акција предавача
<i>uPen</i> [17]	А, Д	Ласерски поинтер са тастерима, могућност писања по површини и манипулација на даљину са свим функционалностима миша.
<i>Standard Natural Classroom</i> [159]	А, Д, К	Паметна учионица са широким спектром компонената за препознавање лица и израза, говора, покрета, пажње, емоција у гласу, и технологијама које се користе у теле-едукацији с циљем да се направи интерактивно окружење за присутне и удаљене студенте.
<i>Smart Remote Classroom</i> [242]	К, Р, Д, В	Платформа за учење на даљину у реалном времену заснована на хибридном протоколу апликационог слоја за вишезначно прекривање <i>TORM</i> и адаптивној шеми за испоруку садржаја <i>AMTM. SameView</i> софтвер за прављење мултимедијалног садржаја снимањем предавања са угњеженом 3D технологијом.
<i>MC13</i> [282]	А, Р, Д	Паметна учионица опремљена механизмима који врше аутоматску контролу амбијента, праве снимке предавања и синхронизују их са дигиталним записима прикупљеним преко електронске табле и таблета.
<i>CyLab</i> [213]	К, Р	Предавање на даљину између две паметне учионице са системом за аутоматско снимање презентације, праћење снимљених предавања на захтев.
<i>Intelligent Environment for Tele-education</i> [292]	А, К	Интелигентна окружења која препознају говор и покрете и врше одређене радње на основу запаженог. Теле-едукациони систем који користи <i>SameView</i> .
<i>CHIL</i> [252]	А	Рад приказује моделе за детектовање предавача помоћу низа камера и микрофона и његово праћење, препознавање говора и оријентацију главе.
<i>Open Smart Classroom</i> [254]	К	Паметна учионица опремљена <i>Web</i> сервис технологијом за учење на даљину.

Као што се види из табеле, а поткрепљено је претходним разматрањима, постоји велики број имплементација паметних учионица и аспекти на које се фокусирају су различити.

2.2.4. Паметне учионице засноване на концепту Интернета интелигентних уређаја

До сада су коришћене разне технологије за унапређење и усавршавање паметних учионица, али је *IoT* за сада мало коришћен у овом контексту.

Једна од првих примена *IoT*-а у паметним учионицама била је 2008. године, када је представљена паметна учионица чија је инфраструктура заснована на *IoT*-у [84]. У раду је представљен и скуп прототипова за различите просторе у којима се одвија процес учења.

У другом раду представљена је паметна учионица која има могућност да детектује активност студената - анализирањем њихових покрета и емоција на основу обраде краћих и дужих говорних карактеристика [159]. Циљ овог система је био да посматра студенте који уче на даљину и у реалном времену одговори да ли активно прате презентацију.

Друге примене *IoT*-а у паметним учионицама су углавном у вези са коришћењем технологија као што су *RFID* или *NFC* за лоцирање студената и израчунавање њиховог присуства [34], [240].

Следећи рад који је у уској вези са овим истраживањем испитује начине на које се може користити *IoT* и примењује различите аналитичке технике са циљем оптимизације простора у којем се учи [37]. Оптимизација се огледа у давању сугестија предавачима да прилагоде своје предавање и активности. Још један рад који се бави испитивањем могућности оптимизације простора у коме се учи користи *IoT* заједно са *crowdsourcing*-ом [246]. У раду је представљен и модел где сваки

студент има могућност да постави своје жељене вредности за различите параметре окружења.

Паметна учионица која је у уској вези са овом тезом има могућност да у готово реалном времену, са тачношћу од 80%, одреди степен заинтересованости студената [82]. У истраживању је коришћена камера и широкопојасни микрофон за посматрање понашања студената с циљем да се пронађу обрасци који се могу користити за предвиђање степена заинтересованости студената. У раду је коришћен и паметни телефон са уграђеним тркоординатним акцелерометром, који је био смештен у предавачевом џепу са циљем да мери активности предавача. Циљ поменутог истраживања је био да посматра студенте и њихове активности, док је у овој тези фокус на испитивању параметара физичког окружења и активности предавача.

IoT је млад концепт са великим потенцијалом и могао би се искористити ради унапређења процеса предавања. Један од начина како би се то могло урадити је коришћење пажљиво одабраних сензора који би детектовали одређене параметре из физичког окружења, за које би се утврдило да имају директан утицај на квалитет предавања. Прикупљене податке би требало у реалном времену обрадити и упарити са подацима добијеним коришћењем других извора (као што су камере и микрофони). Добијени резултати би могли бити предочени предавачу у реалном времену и он би могао своје предавање да коригује у зависности од добијене повратне информације.

Техничка достигнућа су увек имала велики утицај на развој паметних учионица, зато би требало очекивати да се развој *IoT*-а одрази и има одређени утицај на њихов даљи развој. Сам *IoT* није довољан, неопходно га је упарити са социолошком и бихевиористичком анализом параметара, како би паметне учионице постале окружења која активно „слушају“, анализирају гласове, квалитет предавања, итд. У таквој учионици, квалитет предавања се може мерити директно а резултати презентовати предавачу у реалном времену, омогућујући адаптацију приступа презентацији, промену теме, детаљније разматрање исте, итд. Оваква учионица

помогла би предавачу да ostvari бољи utisak и пружи квалитетнија предавања у континуитету, док би слушаоци присуствовали интересантнијим предавањима. На тај начин би процес учења постао краћи, интересантнији и ефикаснији, а студенти који би слушали предавања у оваквој паметној учионици би за краће време постизали боље резултате.

2.3. Квалитет предавања

2.3.1. Дефиниција

Сервис представља процес којим се улазне величине трансформишу са циљем да се корисницима обезбеди нека додатна вредност [117]. Предавач презентује лекцију са циљем да побољша знање студената које може бити посматрано као додатна вредност, па држање предавања можемо сматрати сервисом у едукацији. Сва достигнућа из литературе која се баве сервисима могу бити примењена и у контексту вишег образовања [270]. Када би предавачи знали потребе студената, били би у могућности да прилагоде своје понашање и презентацију како би задовољили очекивања студената, а то би имало позитиван утицај на студентово поимање квалитета предавања и његово задовољство.

Квалитет у вишем образовању је комплексан концепт, где једном дефиницијом не можемо обухватити све његове различите аспекте [98]. Квалитет сервиса састоји се од две различите компоненте: квалитета исхода и квалитета процеса [87], а пошто је показано да све што важи за квалитет сервиса може бити примењено и на квалитет предавања [54], следи да је и квалитет предавања састављен од истих компоненти. Излазни квалитет се може видети у побољшању вештина до којих је дошло после предавања. Квалитет процеса се може поделити на опипљиве (стање учионице, осветљење, акустика, квалитет презентације...) и неопипљиве компоненте (способност предавача да испредаје лекцију, предавачева жеља да помогне студентима, итд.) [54].

Када говоримо о квалитету сервиса, обично мислимо на корисничково поимање квалитета који се огледа у поређењу очекиваног квалитета и његове перцепције о постигнутим актуелним перформансама [296]. Стога се предавање посматрано као сервис може сматрати квалитетним у случају када предавач задовољи или превазиђе студентова очекивања [199].

2.3.2. Мерење квалитета предавања

Не постоји могућност објективног мерења квалитета сервиса [200], као ни најбољи начин да се он дефинише и измери [38]. С друге стране, постоје многе студије које потврђују везу [255] или позитивну корелацију [99], [19], [97] између студентовог поимања квалитета предавања и студентовог задовољства предавањем. Задовољство се може дефинисати као емоционална реакција на производ или искуство до ког се дошло у току неког сервиса (енгл. *service experience*) [251]. Задовољство је субјективна перцепција [48] – мишљење корисника о степену испуњења његових захтева [128]. Истраживање пружа емпиријску подршку да корисничково поимање квалитета води његовом задовољству [44]. Многа истраживања потврђују да студентово поимање квалитета неког сервиса претходи студентовом задовољству [29], [92].

Због свих наведених разлога, приликом одређивања квалитета предавања потребно је испитати студентово задовољство самим предавањем. Студентово укупно задовољство се може мерити коришћењем различитих упитника после одржаног предавања, али из података добијених на тај начин није могуће издвојити сегменте предавања када су студенти били задовољни на супрот оних када студенти нису били задовољни предавањем. Да би се дошло до информације да ли су студенти задовољни предавањем у датом моменту (за време неког одређеног сегмента), потребна је њихова повратна информација у реалном времену, а не анкетирање обављено након његовог завршетка. Коришћењем повратне информације у реалном времену могуће је извршити издвајање оних сегмената предавања када су студенти били задовољни предавањем на супрот оних када то нису били.

Паралелно са издвајањем сегмената и њиховим сврставањем у једну од две категорије, неопходно је посматрати предаваче и студенте и идентификовати њихове образце понашања, а истовремено и пратити параметре у физичком окружењу. Тек упаривањем образаца понашања са параметрима физичке средине, биће могуће извести закључак о квалитету предавања. На пример, зевање је углавном знак да су студенти незаинтересовани за предавања и ако се овај образац понашања пронађе код великог броја студената, то би могло да значи да је предавање незанимљиво. С друге стране, овај образац не би требало посматрати изоловано од осталих физичких параметара, јер некад зевање може бити проузроковано одређеним параметрима физичке средине, као што је случај са загушљивим ваздухом у учионици или када долази до промене осветљења од јаког ка слабијем [10].

Скупљање информација у ове сврхе није нимало једноставан посао, јер је неопходно праћење великог броја сигнала, као и њихова обрада, да би се добиле информације које се могу касније искористити. Истраживање [107] је показало да је понашање студената предвидиво и да понашање на часу директно зависи од студентовог стила учења.

Да би се дао одговор на ово питање, неопходно је прво испитати који су гестови и образци понашања у директној вези са заинтересованошћу студента за предавање. Поред тога, требало би испитати који су то параметри физичке средине који утичу на квалитет предавања. Након утврђивања образаца понашања, неопходно је утврдити које од њих је могуће посматрати и испитати коришћењем описаних технологија. Као што је речено, потребно је посматрати и професора и његове активности како би се стекао комплетан увид у предавање, па је неопходно пронаћи начин да се испита и активност професора.

3. Преглед остварених резултата и релевантних истраживања

3.1. Научне дисциплине

Психолог *Daniel Kahneman* и пионир вештачке интелигенције *Herb Simon* изнели су теорију по којој су код људи присутна два типа понашања: прво, засновано на навикама, које се одвија аутоматски; и друго, које је праћено свесним одлучивањем [207]. Најновија истраживања показују да навике имају далеко већи удео у људском понашању од смислених реакција [146]. Највећи део људског понашања је несвестан и није намеран, а изражајни невербални сигнали су тако суптилни да се не кодирају ни декодирају намерно и свесно [5]. Из тога произлази да су људи прилично предвидиви и да се понашају по унапред утврђеним обрасцима.

Постоји велики број научних дисциплина које се баве испитивањем различитих облика људског понашања и углавном су то разне гране психологије. Такође, ова теза је у вези и са дисциплином која се зове социјално рачунарство (*social computing*), а која се бави рачунарском анализом социолошких сигнала добијених путем сензора и има за циљ увођење социјалне интелигенције у рачунаре. Развој сензора који се могу закачити за тело или на неки одевни предмет отвара безброј могућности за праћење људи у неком дужем временском оквиру [23]. Могућност аутоматског препознавања покрета човека је значајна за праћење промена понашања. Проучавање образаца понашања захтева примену достигнућа техничких и друштвених наука како би добијени закључци били што тачнији и прецизнији.

3.2. Невербално понашање

Сам термин невербално понашање односи се на непрекидан извор сигнала који изражавају информације о осећањима, менталном стању, личности и другим

одликама људи [225]. Ово се одиграва кроз широк спектар бихевиористичких сигнала. Термин бихевиористички сигнал обично означава скуп временских промена у неуромишићној и психолошкој активности који траје од неколико милисекунди (нпр. трептај) до више минута (разговор) па и више сати (седење). Поруке које могу бити пренете на овај начин су следеће [67]:

- Поруке о афективним стањима (нпр. страх, радост, непажња, стрес);
- Манипулатори представљају скоро све оне покрете помоћу којих се један део тела дотерује, масира, трља, држи, штипа, грицка, чеше, или на други начин манипулише другим делом тела [65];
- Амблеми - интерактивни сигнали који су специфични у појединим културама и у оквиру њих имају веома прецизно значење (слегање раменима, подигнути палчеви) и користе се уместо речи;
- Илустратори - акције које прате говор, као што је показивање прстом или дизање обрва, а названи су тако јер паралелно илуструју говор у току његовог одвијања;
- Регулатори - посредници приликом конверзације, као што су размена погледа, климање главом, смешкање.

Није лако одредити који проценат комуникације се размени невербално, а процене се крећу од 65% [20] до 90% [22]. У многим ситуацијама су нелингвистички социолошки сигнали (као што је говор тела, фацијална експресија, тон гласа) од истог значаја као лингвистички садржај приликом одређивања бихевиоралних исхода [5], [184]. Један део научника се слаже да они настављају да коегзистирају паралелно са људским говором као његова допуна [60], [217]. Утврђено је и да акустичке карактеристике имају утицај на перцепцију емоција. *Fairbanks* и *Pronovost* су проучавали пет емоција и њихов утицај на висину тона, при чему је утврђено да се помоћу опсега висине тона и његове средње вредности може разликовати следећих

пет емоција: љутња, страх, индиферентност, туга и презир [70]. Код љутње су на пример присутне велике варијације, док се туга идентификује помоћу успореног говора и малих промена у ритму и висини тона. Пријатне емоције изазивају регуларан ритам, док непријатне емоције као што је туга показују одређену неправилност [40].

Многа извршена истраживања потврђују да невербално понашање игра важну улогу у перцепцији социолошких ситуација и да представља преовлађујући извор информација који се може користити за разумевање социолошких интеракција [6].

Психолошка истраживања показују да су пажња и заинтересованост главни фактори који утичу на процес учења и поимање знања [88], па би истраживање образаца понашања требало усмерити на њихово мерење. Ако би предавачи располагали тачном информацијом о задовољству слушалаца, то би им у великој мери помогло да изложе материјал на начин занимљив највећем броју слушалаца.

3.2.1. Језичка вокализација

Често је вербална комуникација праћена једним бројем невербалних и несвесних сигнала који се називају и искрени сигнали јер су подсвесни. При социјалној интеракцији невербална комуникација је извор поузданих сигнала који дају информације о емоцијама, менталним стањима и разним другим особинама. Пошто су подсвесни, тешко их је сакрити или намерно приказати. У то су укључени и невербални звукови: смејање, плакање, шапутање, уздисање - који могу а не морају бити пропраћени речима, тако да пружају одређене информације о ставу појединца о одређеној социјалној интеракцији.

Као контраст лингвистичком делу изговореног, нелингвистички део садржи информацију о стању говорника [133]. Велики број истраживања је тренутно усмерен ка препознавању емоција из неких карактеристика говорног језика као што су интензитет, тоналитет говора, итд. Такође, постоје покушаји препознавања смеха [262], плача [196] и кашља [167].

Вокално невербално понашање је представљено помоћу пет главних компоненти [268]:

- Квалитет гласа представља наглашавање одређених слогова и садржи три главна аспекта (висину тона, темпо и енергију [46]);
- лингвистичка вокализација;
- нелингвистичка вокализација;
- тишина;
- обрасци смене говорника.

У овом тренутку постоје развијене бројне технике којима је могуће мерити ове главне компоненте и њихове карактеристике. У табели 2 је дат преглед компоненти, са развијеним техникама и уређајима којима се могу мерити.

Табела 2. Компоненте невербалног вокалног понашања са техникама мерења

Параметар	Учесник	Техника	Уређај који се користи
Тонска висина гласа	Предавач	[175], [211], [122], [247]	Микрофон
Темпо говора	Предавач	[209], [176], [177]	Микрофон
Енергија гласа	Предавач	[218]	Микрофон
Смех	Студент/предавач	[262]	Микрофон
Плач	Студент/предавач	[156]	Микрофон
Кашаљ	Студент/предавач	[167]	Микрофон
Сегмент са говором насупрот сегменту без говора	Студент/предавач	[4], [155], [75]	Микрофон
Смена говорника	Студент/предавач	[13], [224]	Микрофон
Детекција тишине	Студент/предавач	[219], [218]	Микрофон

Истраживачка група *Human dynamics* развила је алгоритме и технологију која може да аутоматски екстрахује 22 карактеристике говора у реалном времену, при чему корисник може да добије повратну информацију у жељеном тренутку.

3.2.2. Лице, поглед и усмереност главе

Лице је најизражајнији део тела и вероватно један од најважнијих извора невербалне комуникације због чињенице да се тешко контролише. Из израза лица могуће је извести закључак о човековом расположењу.

Ekman и *Friesen* су направили категоризацију израза лица, тако што су идентификовали сваки појединачни покрет мишића лица који постоји и избројали укупно 43 таква покрета [83]. Назвали су их акционим јединицама јер њиховом комбинацијом настају сви могући изрази лица. Идентификовано је око три хиљаде израза за које се може рећи да имају значење и представљају емоције. Ове акционе јединице се могу користити код аутоматске анализе лица, јер се хиљаде разних анатомски могућих израза лица могу описати као комбинација атомских јединица. Све те комбинације су сакупили заједно са правилима за њихово читање и тумачење у „Систем за шифровање акција лица“ - *FACS* (енгл. *Facial Action Coding System*).



Слика 2. Акционе јединице које учествују у приказу емоције [66]

На слици 2 је дат приказ неких акционих јединица које учествују у приказу емоције, а на слици 3 је приказ шест основних универзално препознатљивих емоција.



Слика 3. Приказ шест основних универзално препознатљивих емоција [83]

Поред израза лица, и поглед представља један од начина којим се може мерити пажња. Показано је да људи чији је поглед фокусиран више пазе од људи чији поглед лута [256]. Такође је показано да људи који пажљиво слушају другу особу, седам пута дуже је гледају. Смер у коме особа гледа може бити одређен на више начина. Урађени су бројни експерименти на овом пољу и показано је да смер погледа може бити доста тачно израчунат посматрањем очију и оријентације главе [147].

Урађена су и бројна истраживања која говоре о вези између менталног стања особе, правца погледа и израза лица. Показано је да смер погледа и одговарајући израз лица који га прати говоре о томе да ли посматрач воли или не воли посматрани објекат

[16]. Ако је израз лица срећан, посматрач има позитивне емоције према објекту, а ако његов израз лица показује гађење, емоције су негативне.

Да би се машински препознао и анализирао поглед са циљем идентификовања емоција са лица и извео закључак о понашању, неопходно је да се прво пронађе лице, затим да се екстрахују његове карактеристике и анализирају покрети очију, а на крају да се изврши класификација и мапира добијена информација са одговарајућим социолошким понашањем, односно емоцијом.

Постоје бројне технике којима је могуће детектовати лице. Приликом проналажења делова слике где се лице налази користе се технике које детектују област слике где се налази људска кожа, коришћењем вредности пиксела, што чини ове методе осетљивим на промену осветљења и шум [173]. Најчешће коришћену шему за детекцију лица предложили су истраживачи *Viola* и *Jones* [268].

Када је лице детектовано, следећи проблем је његово праћење и у ту сврху се најчешће користи техника оптичког тока [272], [271], [188]. Ограничења која постоје кад се користи ова техника доводе до нагомилавања грешке и осетљивости која настаје приликом промене осветљења, па се користе и технике секвенцијалног процењивања стања [104]. Иако је овим поступком дошло до унапређења технологија праћења лица, и омогућена је анализа у реалном времену; истовремено праћење већег броја лица, њихове позе, као и карактеристика лица у неком окружењу без додатних захтева још увек представља проблем.

Што се тиче аутоматске анализе лица, због широке примене у когнитивним наукама овом облашћу се бавио велики број научника. Многи до сада развијени анализатори израза лица покушавају да препознају мали скуп типичних емоционалних израза лица као што су срећа и туга [197]. Да би се детектовао неки финији израз лица као што је мрштење, започета су истраживања на машинској анализи претходно описаних атомских јединица. Пошто су оне независне у интерпретацији, могу се касније користити на неком вишем нивоу одлучивања чији је циљ препознавање неке

основне емоције, или стања као што је интересовање, (не)слагање, разна психолошка стања, затим социолошких сигнала (амблема, регулатора и илустратора) и слично [66], [42], [109], [67]. Данас постоји неколико развијених прототипова који могу да препознају између 15 и 27 атомских јединица, не само из фронталног угла, већ и из профила [152], [198]. Такође, постоје и покушаји ка препознавању спонтаних (неодглумљених) акционих јединица [154], [156].

Описане методе испољавају солидну тачност у контролисаним условима. Међутим, ове методе су још увек далеко од тога да дају добре резултате у реалним животним ситуацијама, јер су промене у изразима лица у реалном животу далеко суптилније од одглумљених и преувеличаних промена у којима се тестирају ови системи. У последње време постоје пробни покушаји ка препознавању афективних стања из аудио-визуелних снимака спонтаног људског понашања [238], [298]. Треба истаћи да постојећи системи за анализу фацијалних карактеристика зависе од тачности улазних података, тј. од могућности праћења главе, лица и других карактеристика, па су, због несавршености ових алгоритама, њихове перформансе и снага доста ограничени.

Што се тиче система за праћење очију и погледа, данас постоји неколико комерцијално доступних, али они нису применљиви ван лабораторије, јер захтевају стављање различитих гломазних уређаја на особе које се посматрају, тако да системи за праћење очију који су данас доступни нису прихватљиви за коришћење у паметним учионицама. Иако могу да прате покрете очију са великом тачношћу, тешко се могу користити ван контролисаних лабораторијских услова. Због тога би било корисно фокусирати се на друге параметре.

На пример, показано је да је оријентација главе сасвим довољан индикатор пажње [7]. Слично као код праћења лица, постоји проблем и код праћења погледа [59]. Да би се одредио правац погледа, системи за праћење очију користе такозвани ефекат црвених очију, на пример разлику у рефлексији од зенице и рожњаче, или се добијена слика компјутерски обрађује па се проналази око и одређује оријентација ириса. Међутим, проналажење решења које не захтева постављање неког уређаја на

корисника, а да у исто време буде тачно и брзо, и даље је велики проблем чак и у окружењима где се од корисника очекује да седи испред рачунара и да се не помера превише испред њега (до 30 цм). У табели 3 је дат скуп параметара које је могуће мерити, као и предлог техника и уређаја који се при томе користе.

Табела 3. Детекција и праћење лица и оријентације главе и технике које се при томе користе

Параметар	Учесник	Техника	Уређај који се користи
Детекција лица	Студент/предавач	[152], [294], [253], [230], [191], [108], [121], [77], [269]	Камера
Праћење лица	Студент/предавач	[272], [271], [188]	Камера
Детекција среће	Студент/предавач	[197]	Анализатор лица, камера
Афективно стање	Студент/предавач	[238], [298]	Микрофон, камера
Оријентација главе	Студент/предавач	[287], [137], [93], [236], [283]	Камера

Из свега написаног можемо да закључимо да данас постоји неколико хардверских и софтверских метода за праћење оријентације главе и смера погледа, али да је њихово практично коришћење доста ограничено и најчешће захтева пажљиво контролисање или да особа која се посматра има на себи постављене уређаје.

3.2.3. Гестикулација и држање

Гестикулација је несвесно померање тела, главе и руку и представља пратећи део говора. У гестове спадају и адаптори (чешање, додиривање увета и носа, увртање косе, играње оловком), који могу бити знак досаде, стреса и негативних осећања [139]. Веза између емоција и гестова је слабија у односу на везу која је присутна у другим каналима невербалне комуникације. Из њих се може лакше препознати љутња, срећа и туга, а теже изненађење, страх и гнушање [41].

Као и гестикулација, и држање особе је такође несвесно и представља поуздан показатељ о односу дате особе према социјалној ситуацији [225]. Једна од

класификација постуралних понашања разматра три главна критеријума за процену социолошког значења држања [233]. Први критеријум се односи на испитивање да ли држање једне особе узима у обзир и присуство других људи. На пример, ако је особа окренута у супротном смеру од осталих, то представља знак да није укључена и да не учествује у датој интеракцији. Други критеријум се односи на оријентацију тела, тј. да ли је особа окренута лицем у лице ка другој особи или паралелно у односу на њу. Ако су особе окренуте лицем у лице сматра се да су далеко ангажованије у разговору од оних које стоје паралелно. Трећи критеријум се односи на (не)усаглашеност: симетрично држање тела двеју особа говори у прилог томе да су те две особе у дубокој психолошкој повезаности, насупротив онима чије је држање несиметрично. Потпуно слагање са неком особом води ка камелеон ефекту, односно несвесном подражавању нечијег понашања [35], које представља узајамно понашање људи и знак је припадности и свиђања.

Главни изазов код испитивања гестикулације и држања је детектовање људских фигура, а додатни проблем представља различита боја гардеробе коју људи носе, па вредности пиксела не играју никакву улогу и не могу се користити при детекцији људског тела. Зато су развијени приступи који из неких делова слике екстрахују карактеристике као што су хистограми смера ивица [49], [301] а одлуке се доносе коришћењем класификатора. У случају видео записа, дати приступ може бити додатно побољшан додавањем информација о покрету коришћењем оптичког тока [50]. Остали приступи се углавном ослањају на детектовање појединачних делова тела и онда се, коришћењем општих правила о људској анатомији, изводи закључак о положају тела [172], [259].

Када је људска фигура препозната, долази се до два основна изазова код препознавања гестикулације: детектовање делова тела који учествују у гесту (најчешће су то руке) и моделовање њихове временске динамике.

Препознавање гестова у истраживањима се углавном своди на препознавање образаца и до сада се мало пажње обраћало интерпретацији социолошке

информације коју они са собом носе. Највише радова је било усмерено ка коришћењу гестова као алтернативе за тастатуру [195], [244], [279] као и операцијама с мишем али и за аутоматско читање знаковних језика [57], [142]. Постоје и радови који проучавају могућност машинског препознавања стила ходања са циљем идентификације у биометријским апликацијама [149], [151], [271]. Уобичајен приступ је сегментација човековог тела на појединачне компоненте (ноге, рамена, труп) и њихова геометријска репрезентација приликом ходања - коришћењем вектора растојања [271], оператора симетрије [103], геометријских карактеристика тела и корака, растојања између стопала и карлице [136], итд.

Технике развијене за детекцију гестикулације и држања тела приказане су у табели 4.

Табела 4. Технике за детекцију гестикулације и држања тела

Параметар	Учесник	Техника	Уређај који се користи
Детекција људског тела	Предавач/студент	[49], [301], [172], [265]	Камера
Детекција делова тела који учествују у покрету	Предавач/студент	[259], [114], [2], [261], [187], [234]	Камера
Моделирање временске динамике	Предавач/студент	[2], [187], [249]	Камера
Гест као алтернатива знаку на тастатури	Предавач	[195], [244], [279]	Камера
Аутоматско читање знаковних језика		[57], [142]	Камера
Стил ходања као идентификација у биометријским апликацијама	Предавач	[149], [151], [269]	Камера
Држање за потребе видео надзора	Предавач	[76]	Камера

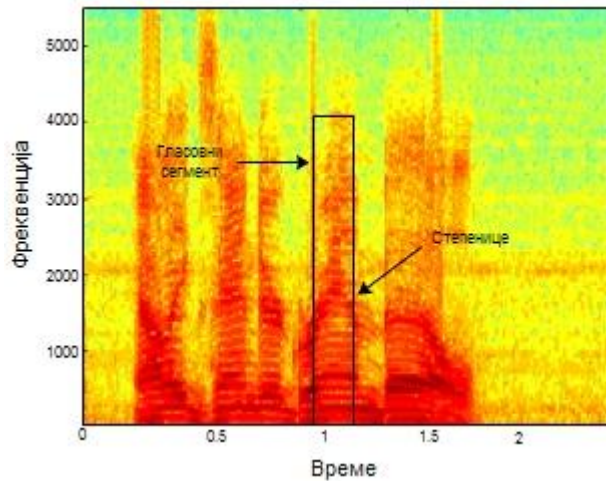
Аутоматско препознавање држања је проучавано и у радовима који се баве видео надзором [76] и препознавањем активности [271]. Као и у случају гестикулације, и у случају држања тела постоји мали број радова где је држање препознато као социолошки сигнал, најчешће да би се одредио ниво заинтересованости деце за учење коришћења рачунара [178], као и емотивног стања људи [245], [91].

Праћење покрета руку и тела у окружењима која немају нека ограничења и где су присутне велике промене у осветљењу и динамичкој позадини представља и даље изазов. Такође, у свакодневном понашању руке су често сакривене – прекрштене, у џеповима, итд. Највећи број данас доступних система не уме да се избори са овим проблемима.

3.2.4. Карактеристике звука и екстракција гласовних карактеристика

У глас се убраја све оно што је укључено у говор, осим самих речи. Широко коришћен термин *тон гласа* наглашава његов мелодијски аспект. Овај квалитет звука се назива висином тона (енгл. *pitch*). Синоним за висину тона је фундаментална фреквенција. Гласовни сегменти могу бити лако идентификовани посматрањем спектрограма. На слици 4 је приказан један гласовни сегмент. Степеничаста структура је јасан индикатор да се ради о гласовном сегменту. Сваки корак дефинише један формант ($F1, F2, F3, \dots$), док фундаменталну фреквенцију ($F0$) није могуће идентификовати у малом спектрограму, већ је неопходно генерисати спектрограм ширег опсега [31]. Енергетске концентрације на одређеним фреквенцијским опсезима одређују специфичности гласа (да ли је мушки или женски, различите индивидуалне карактеристике).

Да би се генерисале карактеристике социолошких сигнала, неопходно је из говорног сигнала издвојити регионе говора и фундаменталну фреквенцију. Региони говора су битни приликом израчунавања интерактивности док је фундаментална фреквенција значајна за индивидуална мерења. Детекција говорних сегмената се обавља помоћу *Basu*-овог алгоритма који је успешан чак и у бучним окружењима [14]. Први корак је да се утврде сегменти са говором и тишином, а потом се делови са говором класификују као регије са звучним и беззвучним сегментима. Звучни сегменти су они који имају висину тона и можемо их сматрати као звукове самогласника, а беззвучни су сви остали. Беззвучни сегменти имају особину да се не могу лако регистровати микрофоном ако се само мало удаљи.



Слика 4. Пример гласовног сегмента у спектрограму

3.2.4.1. Аутокорелација

Стандардна нормализована аутокорелација $A[k]$ сигнала $s[n]$ дужине N може се дефинисати на следећи начин [14]:

$$A[k] = \frac{\sum_{n=k}^N s[n]s[n-k]}{\left(\sum_{n=0}^{N-k} s[n]^2\right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{n=k}^N s[n]^2\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Говорни сегменти имају неколико изражених врхова који представљају периодичну компоненту говора, док делови без говора или са буком имају пуно малих врхова. Максимални врх, као и њихов број, су добри индикатори да ли је реч о говорном сегменту или не.

3.2.4.2. Спектрална ентропија

Спектрална ентропија се користи за препознавање деоница са говором из звука код препознавања активности говорника. Снимљени звук је у пракси често лошијег квалитета, па ентропија омогућава поузданије информације о говорним и гласовним сегментима. Ентропија за негласовне сегменте је увек виша од ентропије гласовних сегмената.

Да бисмо израчунали спектралну ентропију, прво је неопходно извршити нормализацију $P[w]$ која се ради помоћу формуле [14]:

$$P(w) = \frac{P(w)}{\sum P(w)}$$

Сврха нормализације је да ова карактеристика постане непроменљива за енергију сигнала. Потом се спектрална ентропија рачуна на следећи начин [14]:

$$H_s = - \sum_w p[w] \log p[w]$$

А може се отићи и корак даље и израчунати релативна спектрална ентропија помоћу формуле [14]:

$$H_r = - \sum_w \left(p[w] \log \frac{p[w]}{m[w]} \right)$$

где $m[w]$ представља медијану спектрума.

Ово може бити корисно у ситуацијама када постоји константан звучни извор, нпр. гласан шум или ветар. Перформансе постигнуте коришћењем релативне ентропије су минималне у бучним окружењима пошто додатна бука има раван спектрум.

3.2.4.3. *Формантна фреквенција*

Формантна фреквенција је фреквенција људског говора и користи се за одређивање специфичности гласа (мушки, женски, индивидуалне карактеристике), као и дистинктивне одлике појединих гласова.

За рачунање формантне фреквенције користе се Фуријеове трансформације.

3.2.4.4. *Енергија*

Енергија представља јачину (гласност) сегмента.

Како би се нивелисао утицај енергије у звуку на остале параметре, узима се просечна вредност за дужину гласовних и негласовних сегмената на интервалу.

Из описаних карактеристика могу да се изведу и неке друге, као што је дужина гласовних сегмената, вредност највећег аутокорељационог врха, његова локација као и њихов укупан број.

Горе описане гласовне карактеристике могу се користити за добијање информације о понашању самог говорника. *Scherer* је показао да висина тона, амплитуда и стопа артикулације могу бити довољне слушаоцу да створи слику о емоционалном садржају говора [235].

3.3. Обрасци понашања

Иако је језик присутан јако дуго и представља један од начина комуникације, постоје истраживања која говоре да анализом нејезичких сигнала можемо предвидети људско понашање [5]. Као додаток томе стоји и истраживање [52] где је показано да је теже сакрити и замаскирати невербално понашање у односу на вербално. Наравно, није свако невербално понашање од истог значаја. Истраживања показују да постоји јака корелација између одређеног понашања и психосоматских реакција које се огледају у брзини откуцаја срца, величини зенице, температури тела и дисању [30]. Невербално понашање може бити приказано и преко звукова, гестова, израза лица. Визуелни канал који преноси информације о изразима лица и гестовима је најзначајнији приликом одређивања образаца понашања [5].

3.3.1. Достигнућа у области проучавања образаца понашања

Неки истраживачи су видели потенцијал у прикупљању и анализи социолошких сигнала и постоји један број радова који се баве овом тематиком. Зачетник на овом пољу је свакако *Alex Pentland* који је објавио велики број радова који се баве анализом социолошких сигнала.

Pentland је проучавао нелингвистичке сигнале као што су покрети тела, изрази лица, тон гласа [206] и сматра да су један од најмоћнијих канала из којих се могу „прочитати” нелингвистички социолошки сигнали управо варијације у брзини, и јачини говора, јер их је најтеже свесно контролисати [5]. Утврђено је да је њиховим праћењем већ после само неколико минута могуће предвидети ко ће с ким да размени визит карте на састанку, који парови ће разменити бројеве телефона у кафићу, исход разговора приликом преговора о плати [204], [206], [47], итд., при чему тачност износи и преко 90% за оне случајеве за које је било довољно материјала за извођење закључка. Добијена тачност је већа од оне до које долазе психолози посматрањем.

Pentland је поделио све гласовне карактеристике у четири класе: активност, истицање, мимикрију и утицај [203].

Активност се односи на ниво конверзацијске активности и представља заинтересованост и узбуђење. Представља укупну количину енергије у говорном сигналу.

Истицање, тј. укљученост, је индикатор јачине мотивације говорника. Ако је конзистентна, то означава менталну фокусираност, а ако су присутне варијације то представља отвореност ка утицају неких других људи. Утицај се мери помоћу варијација у прозодији, нпр: висини тона и амплитуди.

Мимикрија представља несвесно опонашање друге особе у току конверзације.

Утицај представља количину утицаја, односно доминације коју свака особа има на другу приликом социјалне интеракције, а мери се помоћу броја преклапајућих говорних сегмената. Ако је у разговору детектован јак утицај, то може бити индикатор пажње, пошто је практично немогуће да особа одржи ритам у смењивању говорника а да при том не обраћа пажњу.

У табели 5 је дат списак гласовних карактеристика и њихова подела.

Табела 5. Списак гласовних карактеристика са њиховом поделом

Име карактеристике	Класа којој припада
Средња вредност формантне фреквенције	Истицање (спектрални центар)
Средња вредност сигурности формантне фреквенције	Истицање
Средња вредност спектралне ентропије	Истицање
Средња вредност највећег аутокорелационог врха	Истицање (спектрални центар)
Средња вредност локације највећег аутокорелационог врха	Истицање (спектрални центар)
Средња вредност укупног броја аутокорелационих врхова	Истицање
Средња вредност енергије у фрејму	Активност
Средња вредност промене енергије у времену	Истицање
Стандардна девијација формантне фреквенције	Истицање (спектрални центар)
Стандардна девијација сигурности у формантну фреквенцију	Истицање
Стандардна девијација спектралне ентропије	Истицање
Стандардна девијација вредности највећег аутокорелационог врха	Истицање (спектрални центар)
Стандардна девијација локације аутокорелационог врха	Истицање (спектрални центар)
Стандардна девијација броја корелационих врхова	Истицање
Стандардна девијација енергије у фрејму	Активност
Стандардна девијација промене енергије у времену	Истицање
Просечна дужина гласовних сегмената	Активност
Просечна дужина говорних сегмената	Активност
Процент времена говора	Активност
Стопа говора	Активност
Део времена у ком се прича	Утицај
Просечан број кратких говорних сегмената	Мимикрија

Израз *процесирање социолошких сигнала* је први пут употребљен у [205] и представљао је групни назив за неколико радова на којима су радили *Alex Pentland* и његова група на *MIT* институту. Неки од њихових радова се односе на аутоматско

екстраховање социолошких сигнала који се детектују у интеракцији између парова људи са циљем да се предвиди исход разговора приликом преговора о плати, запошљавању и брзих састанака [204], [206], [47]. Други радови се односе на коришћење мобилних телефона опремљених сензорима за близину и детекторима за вокалну активност, да би извршили нешто што се зове социолошко читавање (енгл. *social sensing*), као што је аутоматска анализа свакодневних интеракција у групама од десет људи [63], [202]. Индивиде су представљене преко вектора, при чему се рачуна њихова удаљеност од осталих учесника и битних места (кућа, посао, итд.).

Последњих година се појављују и први уређаји способни да мере интеракцију између људи прикупљањем социолошких сигнала. На *MIT* универзитету је направљен уређај који се зове социометар. Носи се око врата и има могућност праћења покрета тела, екстракције разних карактеристика говора и мерења нелингвистичких социолошких сигнала. Опремљен је и инфрацрвеним сензором који има могућност да региструје интеракције „лицем-у-лице“ између два човека. Његова главна улога је да аутоматски сакупља социолошке сигнале добијене из говора, покрета, растојања, као и интеракције „лицем-у-лице“ кроз неки дужи посматрани период. Друга функција му је да омогући интеракцију са корисником преко гласовних команди или помоћу притискања дугмета.

Димензије уређаја су $4.5 \times 10 \times 2 \text{ cm}$, а заједно са батеријом је тежак 110 грама. У социометру се налази микрофон, трокоординатни акцелерометар, трансивер са могућношћу препознавања да ли две особе гледају једна другу, и 2.0 *Bluetooth* модул који омогућује бежичну комуникацију са базном станицом и другим *Bluetooth* уређајима. У случају да је корисник ван домета, прикупљени подаци се чувају на уграђеној *microSD* меморијској карти.

Поред социометра, постоје и разни други уређаји развијени како би се утврдили бихевиористички сигнали испитаника. У [278] је направљен „емоционални миш“ – специјално дизајниран миш опремљен сензорима који могу да мере *PPG* (енгл. *photoplethysmogram*) који се добија при додиру са палцем, *GSR* (енгл. *galvanic skin*

response) читава се преко доњег дела длана и *SKT* (енгл. *skin temperature*) који се читава са центра длана. Очитани подаци се шаљу на сервер где се процесирају и анализирају, па се резултат шаље поново до клијента. Подаци се анализирају коришћењем алгоритма за закључивање. Испитаници су давали субјективне оцене свог емотивног стања и проценат препознавања стања се кретао између 70% и 90%.

Што се тиче анализе социолошких сигнала, присутна је анализа интеракција у малим групама и углавном је фокусирана на детекцију доминантних особа и на препознавање колективних акција. Проблем доминације је обрађен у [124], [226] где се комбинује неколико невербалних карактеристика, најчешће енергија говора и покрети тела како би се идентификовало у сваком тренутку која особа је доминантна. Сличне карактеристике су примењене и у [56], [168] и служе за препознавање акција извршених у сусретима као што су дискусије, презентације, итд. У оба случаја је комбинација информација екстрахованих из различитих модалитета извршена помоћу алгоритама који се заснивају на динамичким Бајесовим мрежама [182] и слојевитим скривеним Марковљевим моделима [189].

3.3.2. Достигнућа у области препознавања човекових активности

У овом истраживању битну улогу игра препознавање акција и стања предавача, па ће бити приказани и радови који се баве овом тематиком. Обично се за препознавање човекове активности користи акцелерометар и постоје системи који их користе и успевају да у реалном времену класификују одређену врсту држања и активности. У [53] су аутори развили двослојни модел који представља комбинацију два постојећа с циљем да класификују велики број активности укључујући: седење, шетање, вожњу бицикла, вожњу у подземној железници, а при томе користе трокоординатни акцелерометар смештен на торзоу.

Један од најуспешнијих и најсвеобухватнијих радова који користи акцелерометре приказан је у [12]. У експерименту који је обрађен у раду, испитаници су били опремљени са пет биаксијалних акцелерометара смештених на различите делове тела

и за то време су обављали разне активности: шетња, седење, стајање, гледање ТВ-а, трчање, возња бицикла, обедовање, читање, итд. Подаци генерисани од стране акцелерометра коришћени су за тренирање скупа класификатора као што су стабла и табеле одлучивања, Бајесов класификатор, алгоритам најближег суседа, итд. У њиховом случају је стабло одлучивања давало најбоље резултате, при чему је степен препознавања активности достигао тачност од 84%.

Подаци добијени путем акцелерометра могу се комбиновати са подацима добијеним путем микрофона, као на пример у [157] где су класификоване активности са тачношћу од 84.4%. Највећи број активности су моделоване коришћењем линеарне дискриминантне анализе (енгл. *Linear Discriminant Analysis - LDA*) и скривених Марковљевих модела (енгл. *Hidden Markov Model - HMM*). Број скривених стања који моделишу сваку активност биран је преко визуелне инспекције.

Једна од главних мана испитивања у [53] је коришћење великог броја акцелерометара којим је смањен комфор испитаника. Напредак технологије омогућује да се овај проблем превазиђе. Узимајући у обзир удобност корисника, истраживачи су представили нове системе који користе мањи број сензора који се могу поставити тако да не сметају испитаницима. У радовима [222], [134], [106], [273], [105] се користи само један трокоординатни акцелерометар а добијени резултати су задовољавајући. На пример, у [134] је приказан један од најбољих резултата за препознавање четири различите активности (лежање, стајање, ходање и трчање) са тачношћу од 99%, или у [222] где се користи такође један трокоординатни акцелерометар смештен близу карлице, при чему се покушава препознавање активности стајања, ходања, трчања, пењања уз степенице, силажења низ степенице, прања зуба, усисавања, устајања са столице - остварујући при томе велику тачност за све активности сем за оне које се свде на померање само руку и усана без померања других делова тела (прање зуба).

У табели 6 је дат приказ претходних истраживања, коришћени сензори и методе класификације, активности које се могу препознати и одговарајућа тачност.

Табела 6. Приказ претходних истраживања у области препознавања активности

Сензори који се користе	Активности које се препознају	Методe класификације	Тачност
5 биаксијалних акцелерометара на различитим деловима тела ([12])	<ul style="list-style-type: none"> • Шетња • Седење • Стајање • Гледање ТВ-а • Трчање • Вожње бицикла • Обедовање • Читање 	<ul style="list-style-type: none"> • Стабла одлучивања • Табеле одлучивања • Бајесов класификатор • Алгоритам најближег суседа 	84%
1 трокоординатни акцелерометар [134]	<ul style="list-style-type: none"> • Лежање • Стајање • Ходање • Трчање 	<ul style="list-style-type: none"> • Неуронске мреже 	99%
1 трокоординатни акцелерометар [222] смештен близу карлице	<ul style="list-style-type: none"> • Стајање • Ходање • Трчање • Пењање уз степенице • Силажење низ степенице • Прање зуба • Усисавање прашине • Устајање са столице 	<ul style="list-style-type: none"> • Стабла одлучивања • Табеле одлучивања • К-најближи сусед • <i>SVM</i> (енгл. <i>Support Vector Machine</i>) • <i>Plurality Voting</i> 	65%-99%
Микрофон и акцелерометар [157]	Активности за време радионице као нпр: <ul style="list-style-type: none"> • Обрада двета • Бушење рупе у дрвету • Ударање чекићем • итд. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>LDA</i> • <i>HMM</i> 	84.4%
Акцелерометар, жирокоп и магнетометар [69]	<ul style="list-style-type: none"> • Ходање • Трчање • Стајање • Кретање уз и низ степенице • Вожња аутобусом 	<ul style="list-style-type: none"> • Неуронске мреже 	97.8%

Данас је све већи број мобилних уређаја опремљен акцелерометрима, па то може бити искоришћено за препознавање активности корисника. Постоје покушаји препознавања активности корисника на основу мобилног уређаја који се налази у џепу корисника, у руци или у џепу јакне [69]. Активности које су тестиране су:

ходање, трчање, стајање, кретање уз и низ степенице, возња аутобусом. Представљени модел састоји се од акцелерометра, жироскопа, магнетометра, микроконтролора и *SD* картице за чување података. За екстраховање карактеристика коришћена је само средња вредност и варијанса, а неуронске мреже за класификацију. Жироскоп и магнетометар су имали улогу да побољшају резултате. Улога жироскопа је била да мери кретање самог уређаја. Сирови подаци су екстраховани и коришћена је њихова средња вредност и варијација. За класификацију активности је коришћена вишеслојна неуронска мрежа и при том је за неке од активности постигнута тачност од 97,8%.

Постоји велики број истраживања која се баве анализом бихевиористичких сигнала с једне стране као и један број оних који се баве препознавањем активности корисника. Анализа бихевиористичких сигнала може бити искоришћена како бисмо добили информацију о стању аудиторијума, а за праћење активности предавача могу бити искоришћена постојећа истраживања која се баве праћењем активности корисника.

3.3.3. Утицај параметара из физичког окружења на квалитет предавања

Велики број физичких параметара је проучаван с циљем да се пронађу они који имају већи или мањи утицај на процес учења који се одвија у учионици.

Да би се добиле прецизне информације о задовољству аудиторијума, неопходно је мерити и параметре који се односе на физичко окружење као што су температура просторије, различити видови осветљења, бука, квалитет ваздуха, итд. Неки од ових параметара се могу лако мерити коришћењем разних уређаја на којима се налазе сензори или коришћењем мобилних телефона са сензорима.

3.3.3.1. Утицај температуре

Многе студије су се бавиле проучавањем односа између термалних услова и процеса учења, али мали број њих је потврдио постојање узрочне везе између температуре и

перформанси студената [171]. Досадашња истраживања само сугеришу да неки специфични услови могу лоше утицати на перформансе [171].

Први експеримент који је испитивао утицај температуре на учење студената урађен је још 1968. године [206]. Студенти су обављали различите школске задате док се температура мењала од 17°C до 33°C, а за индикаторе перформанси је узимана брзина обављања задатака и број направљених грешака. Показано је да су студенти правили 17% више грешака при собној температури од 20°C него при температури од 27°C. С друге стране, брзина обављања задатка је била највећа на температури од 20°C, а најмања на температури од 27°C. И наредни експерименти показују да су перформансе студената лошије на вишим температурама, као на пример у [289] је показано да је брзина читања и разумевања прочитаног лошија на температури од 27°C него на 20°C. Постоје и нека скорија истраживања која потврђују ову везу између меморисања студената и температуре у учионици [212].

Ограничења првих експеримената леже у чињеници да температура није мењана постепено. Овај недостатак је превазиђен у наредним експериментима, као нпр. у [274] где је температура постепено мењана од 20°C ка 25°C док су студенти обављали осам различитих задатака [274]. Утврђено је да је сваки пораст од једног Целзијусовог степена праћен са 2% до 4% лошијом ефикасношћу студената док ова промена није статистички значајније утицала на број начињених грешака.

Многи претходно поменути експерименти су били реализовани у условима где други параметри осим температуре нису били стриктно контролисани и није искључено да се нису мењали током трајања експеримента. Један од експеримената где су сви други параметри држани под контролом изведен је међу студентима виших школа у две врсте учионица од којих су једне опремљене расхладним уређајима, док су друге биле без њих [237]. Овај експеримент је потврдио претходну везу и студенти су остварили боље перформансе у климатизованим, хладнијим учионицама. Још једно истраживање које потврђује боље перформансе студената у климатизованим него у неклиматизованим учионицама је изведен 1980. године [135], а цитиран је у [250]. У

раду су представљене две студије: прва која потврђује да су перформансе студената боље у климатизованим него у неклиматизованим учионицама, и друга које сугерише да температуре у учионицама треба да се крећу између 22°C и 24°C.

С друге стране, постоје експерименти у којима није потврђена ова веза [285], [291]. Први је изведен у строго контролисаним окружењима а сви параметри осим температуре су били непроменљиви. Студенти су решавали стандардизоване тестове и изјашњавали се о субјективном утиску о својим перформансама [285]. Није пронађена разлика у перформансама студената када су радили на температурама од 22°C и 26°C, као ни на температурама од 26°C и 30°C, док је њихов субјективни утисак био да су на вишим температурама били лошије концентрисани. И други експеримент који је у контрадикцији са претходним истраживањима је изведен у строго контролисаним условима [291]. У експерименту није потврђено да су перформансе решавања тестова биле различите кад су испитаници били у могућности да подешавају температуру како они желе. Четири године касније, исти тим истраживача је урадио нови експеримент којим је испитиван утицај повећаних температура на менталне перформансе студената. Температура је мењана од 20°C ка 29°C и пет од десет тестова су показали да су више температуре имале лош утицај на перформансе [290].

Неконзистентност у добијеним резултатима може да се објасни тиме што се у неким експериментима за регулисање температуре користе клима уређаји, расхладни системи, системи за грејање и вентилација који производе буку и као такви могу имати негативан утицај на процес учења [243]. Поред тога, постоје истраживања која показују да не само температура, већ и ниска влажност ваздуха, слаб ветар и недостатак сунца могу утицати на академске перформансе [9]. Ови фактори нису узимани у обзир у претходним истраживањима и то је можда други разлог контрадикторних налаза јер се у њима разматра само температура без контроле ветра и влажности.

У другом истраживању је представљено десет променљивих које се односе на временске прилике и њихов утицај на расположење, укључујући концентрацију и поспаност [119]. Утврђено је да на концентрацију имају највећи утицај влажност ваздуха, температура и број сунчаних сати. Штавише, показано је да повећана влажност заједно са ниским ваздушним притиском има негативан ефекат на концентрацију. Стога, уместо коришћења објективне температуре, многи истраживачи користе ефективну температуру која представља комбинацију температуре, влажности и брзине струјања ваздуха и представља индивидуалну перцепцију амбијенталне температуре.

Ефективну температуру су 1923. године предложили *Houghton* и *Yaglou* [118], а користи се за одређивање нивоа комфора као и за изједначавање и обједињавање субјективног осећаја хладноће, односно топлоте, које разне комбинације температуре, влажности и струјања ваздуха имају на појединца. Ефективна температура је уско везана за термин термални комфор. Термални комфор значи да нормално обучена особа не осећа да јој је хладно, односно претопло, када су температура ваздуха, влажност и брзина ветра у оквиру одређеног опсега који зовемо „комфорна зона“. Једна од организација која се бави дефинисањем стандарда за термални комфор је Америчко друштво за грејање, хлађење и климатизацију - *ASHRAE* (енгл. *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*). Стандард који се односи на термални комфор се зове *ANSI/ASHRAE Standard 55-2013 „Thermal Environment Conditions for Human Occupancy”* [8]. Препоручени температурни опсег се сматра прихватљивим ако је прихватљив за бар 80% људи. Наравно, постоји један број људи који се неће осећати пријатно када је температура у овом опсегу. Развијена је и *Web* апликација која има могућност да израчуна термални комфор који је у складу са *ASHRAE* стандардом 55-2013 и може се користити онлајн [120].

Развијен је велики број индекса којим се одређује топлотни стрес, а један који се показао погодним за различите практичне примене, а једноставан је за коришћење и

лак за интерпретацију, је *humidex* [162] и представља комбинацију температуре и влажности ваздуха.

Неке студије су се бавиле одређивањем температура термалног комфора у различитим условима и климама. Једно од тих истраживања испитује услове термалног комфора на Хавајима. Утврђено је да неутрална температура за природно проветрене, односно климатизоване, учионице износи 26.8°C тј. 27.4°C док су пожељне температуре биле за 2.5°C хладније од неутралних када су посматране природно проветрене просторије, односно 4°C хладније када су посматране климатизоване [144]. Постоји још истраживања у тропским областима која подржавају ово истраживање и сугеришу да неутрални термални осећају нису у корелацији са идеалним или пожељним термалним стањем. Истраживање у Сингапуру у којем је испитиван термални комфор у учионицама показало је да неутрална температура износи чак 28.8°C [286].

Не постоји чврста, него пре сугестивна евиденција да висока температура има негативан ефекат на процес учења, док спрега температуре ваздуха са неким додатним факторима као што су влажност и квалитет ваздуха може да има утицај на процес учења. Стога, праћење комбинације разних фактора може дати више информација него праћење саме температуре.

3.3.3.2. Утицај квалитета ваздуха

Термин „квалитет ваздуха“ се односи на постојање одређених гасова или хемијских једињења, количину угљен-диоксида у ваздуху, као и на учесталост вентилације просторија. Постоји мали број истраживања која показују да квалитет ваздуха утиче на перформансе студената. Слично као код термалних услова, не постоји строга зависност између квалитета ваздуха и перформанси. Неколико истраживања су утврдила постојање одређене корелације између вентилације просторије и перформанси приликом извршавања разних менталних задатака. Ова истраживања не дају јаке доказе већ су више наговештај да слаба вентилација у зградама утиче на смањење перформанси [171].

Показано је да студенти постижу боље резултате на компјутеризованим тестовима који мере брзину реакција када се вентилација појачава [183]. Ова веза је потврђена у америчком истраживању изведеном у 54 школе међу децом петог разреда и утврђено је да постоји веза између перформанси ученика на стандардизованим тестовима способности и количине угљен-диоксида присутног у учионици [239]. Веза између концентрације угљен-диоксида и резултата теста је била статистички значајна ($P < 0.1$), али стоји напомена да је неопходан већи узорак како би се извели неки коначни закључци. Друга потврда долази из данске студије изведене у четири учионице где је мерено седам различитих активности међу којима су читање и решавање математичких задатака. [273]. Утврђено је да дупло бржа вентилација доводи до повећања брзине од 8% у решавању задатака при чему се тачност извршавања не мења.

Резултати истраживања изведеног пет година касније указују да постоји линерна веза између вентилације и резултата на тестовима за оне школе код којих је вентилација испод прописаног минимума, док је остало нејасно да ли се појачавањем вентилације када је она на већ добром нивоу могу постићи бољи резултати [101].

Постоје и истраживања која показују да су студенти мање пажљиви и мање фокусирани кад је количина угљен-диоксида у ваздуху висока [39]. Ови налази су подржани још једним истраживањем које је потврдило везу између редуковане пажње и слабе вентилације [11].

Многа претходна истраживања су показала значајан утицај квалитета ваздуха на перформансе студената. Међутим, постоје и истраживања која ову везу не потврђују и која показују да повећане количине угљен-диоксида не утичу на смањење концентрације али утичу на повећање броја направљених грешака [263]. За разлику од већине истраживања, они дефинишу квалитет ваздуха преко стварне количине угљен-диоксида а не преко квалитета вентилације као што је случај у другим студијама које индиректно рачунају количину угљен-диоксида.

Постоје и радови који испитују утицај вентилације на перформансе студената у лабораторијским условима, а као индикатор перформанси користи се брзина решавања стандардизованих тестова [179] , [129]. Потврђено је да студенти остварују боље резултате кад је вентилација боља. Међутим, не можемо тачно да утврдимо да је вентилација заслужна за боље, односно лошије резултате, јер температура није била константна већ је слабију вентилацију пратила виша температура и обрнуто. С друге стране, значај ова два експеримента је у томе што показују да комбинација слабе вентилације и више температуре има утицај на процес учења. Стога, можемо извести закључак да је комбинација ових фактора значајна за процес учења.

Угљен-моноксид је гас без боје и мириса и представља један од најтоксичнијих загађивача ваздуха у затвореном простору а настаје као нуспроизвод непотпуног сагоревања фосилних горива. Најчешћи извори угљен-моноксида су дувански дим, као и аутомобилски издувни гасови. Високи нивои угљен-моноксида узрокују појаву мучнине и несвестице зато што спречавају довољан доток кисеоника до мозга. Не постоје истраживања која се баве испитивањем утицаја различитих нивоа угљен-моноксида на перформансе студената, али је утврђено да високи нивои угљен-моноксида негативно утичу на брзину којом субјекат процесира податке, да има негативан ефекат на његове перформансе [257], као и да успоравају његове реакције [220].

Постоји мали број експеримената који се бавио истраживањем утицаја различитих испаривих органских једињења на процес учења. У једном од њих је показано да се погоршава меморија када се студенти осетљиви на одређена једињења нађу у просторији где је њихова концентрација висока [174]. Њихове концентрације су биле далеко веће него што је уобичајено за просторије и износиле су између 5 и 25 mg/m^3 . Ограничење ове студије је у томе што су испитаници били само они студенти који су осетљиви на ова једињења. Пар година касније, сличан експеримент је изведен али овог пута међу студентима који нису осетљиви на ова једињења а коришћене су сличне концентрације [194]. Показано је да су испитаници испољавали знаке умора и збуњености кад су концентрације ових једињења биле високе (25 mg/m^3). Те

концентрације су далеко веће од оних које се налазе ван лабораторијских услова па не говоре пуно о томе да ли би благо повишене концентрације ових једињења имале икаквог утицаја на посматране субјекте.

3.3.3.3. Утицај светлости

Научници се слажу да је светлост битан фактор у процесу учења. Постоји више студија које показују да је осветљење у школским зградама од кључне важности у дизајну и конструкцији зато што има велики утицај на физичко и ментално стање студената [62]. Многа истраживања показују позитивну корелацију између одговарајућег осветљења и бољег достигнућа студената, а примећен је посебно позитиван ефекат природног осветљења [64], пошто дневно светло производи биолошке ефекте на људско тело [288]. Учионице у којима нема довољно светла могу да неповољно утичу на учење студента а разлог лежи у утицају које светло има на психологију. Показано је да учионице без дневног светла утичу на поремећаје хормона кортизола који има улогу у концентрацији [143].

Ott је један од првих истраживача који је покушао да пронађе везу између учења и светлости [192], [193]. Утврдио је да су студенти који су били изложени стандардном дневно-белом фуоресцентном осветљењу имали слабију пажњу и показивали су већу хиперактивност, умор и иритабилност него студенти који су били у учионицама са осветљењем пуног спектра.

У прегледном раду из 1982. године, *McGuffey* референцира десет студија које су се бавиле испитивањем везе између дневног светла и перформанси студената [169]. Свих десет указују на то да је добра осветљеност повезана са бољим студентским успехом и перформансама и обрнуто; тамо где је осветљење испод неког прописаног минимума студенти показују слабије перформансе у односу на студенте у добро осветљеним школским зградама.

Heschong Mahone Group је урадила три занимљиве студије у којима је испитивана веза између дневног светла и перформанси студената [110], [111], [112]. У првом

истраживању су анализирани перформансе преко 21 000 студената који су били лоцирани у 2 000 учионица у три државе. Перформансе су мерене коришћењем стандардизованих академских тестова док је количина дневног светла мерена помоћу величине прозора. У студији је коришћена мултиваријантна линеарна регресија као статистички модел. Показано је да студенти остварују боље резултате у решавању математичких задатака (чак до 20%) и тестовима читања (чак до 26%) када похађају часове у учионицама са више дневног светла. Откривено је и да студенти који уче у учионицама са највећим прозорима напредују 15% брже у математици и 23% брже у читању од оних који уче у учионицама у којима су прозори најмањи. Дошло се и до још једне занимљивости: студенти који су били у учионицама где су прозори могли да се отворе напредовали су 7-8% брже од оних који су били у учионицама са фиксираним прозорима. Као могуће објашњење описаних налаза је то што је дневно светло задужено за бољу видљивост, здравље, расположење и понашање у целини. Поред тога, јака осветљеност има подижући ефекат јер спречава производњу мелатонина, па добра осветљеност у учионицама чини ученике буднијим и способнијим за примање и прихватање нових информација.

У следећој студији је потврђена општа тенденција побољшања од 21% у резултатима на тестовима у периоду од јесени до пролећа у учионицама које су имале дневно светло насупрот онима у којима га није било [111].

Иста група је урадила и треће истраживање са циљем да понове претходне резултате. Истраживање је обављено у другом школском дистрику са другачијом климом, административним и наставним планом [112]. Претходно добијени резултати нису потврђени, а као могуће објашњење је дата локација прозора (били су окренути ка истоку при чему је сунце улазило под ниским углом и правило јак бљесак, па су наставници блокирали прозоре како би решили овај проблем) и бука која је долазила кроз отворене прозоре.

Још једна студија која говори у прилог теорији да је светлост заслужна за боље перформансе студената изведена је у Северној Каролини, где су поређене три школе

са природним дневном светлом са школама које га немају [185]. Анализирани су резултати постигнути на *CAT* (енгл. *California Achievement test*) тестовима и *End-Of-Grade* тестовима и утврђено је да су резултати студената у школама са дневним светлом били за 5-14% бољи од резултата које су постигли студенти у другим школама.

Поред природног светла, испитивани су и други извори светлости [138], [100]. Изведена су два експеримента и на видео записима није утврђена значајна разлика у интеракцији у учионици и у расположењу, док је у упитнику који је уследио природно светло описано као више стимулишуће од дневно-белих извора светлости [138]. Други експеримент је показао да се студенти осећају уморније после предавања одржаног у традиционално осветљеној учионици него када је предавање одржано у учионици са природним светлом [138]. У другом истраживању су испитивани различити извори осветљења као што су флуоресцентне лампе широког спектра са и без додатних ултравиолентних суплемената и дневно-беле флуоресцентне лампе [100]. Показано је да су студенти који су најбоље резултате остварили управо они који су радили под флуоресцентним лампама широког спектра.

Друга занимљива корелација се односи на корелацију између старости студената и светлости [216]. Утврђено је да је студентима у нижим разредима потребно мање светла него студентима у вишим разредима.

Посматрајући наведена разматрања, можемо закључити да и осветљење има значајну улогу у процесу учења.

3.3.3.4. Утицај буке

За разлику од претходних параметара, чији утицај на процес учења углавном није довољно испитан, утицај буке на процес учења је предмет великог броја студија. Опште је прихваћено да било која врста буке има негативан утицај на процес учења. Бука има негативан утицај на академске перформансе јер утиче на то да предавач често бива прекинут и приморан да понавља неке делове лекције што води до

губитка времена [145], [45]. Штавише, бука отежава пренос информација између предавача и студената. *Jonson* је показао да ниво буке, тачније ехо, има значајан утицај на фокусирање студената и може да утиче да студент погрешно схвати лекцију [131]. Утврђено је и да студентима треба више напора да процесирају глас предавача када је ниво буке висок [58].

Студије су фокусиране на две врсте буке: екстерну буку и буку која постоји у учионици. Екстерну буку производе различита транспортна средства (возови, авиони, аутомобили, итд.), људи ван школе, итд. Интерна бука представља комбинацију екстерне буке и буке генерисане унутар учионице која обично долази од опреме која се користи у настави као што су рачунари, пројектори, као и од самих студената укључених у разне активности.

Прва истраживања су била више фокусирана на ефекте екстерне буке, али новија истраживања се баве испитивањем интерне буке [27]. Неколико истраживања која су испитивала екстерну буку утврдила су да бука која долази од разних транспортних извора има негативан утицај на пажњу студената у случају кад је ниво буке око 70 $dB(A)$ [232], [228]. Испитивани су и ефекти буке разних транспортних средстава на децу старости од 12 до 14 година [126]. Буке разних извора су пуштане у учионици у трајању од 15 минута јачином од 66 $dB(A)$. Утврђено је да бука која долази од авиона и возила омета присећање, док бука коју стварају возови нема тај ефекат. С друге стране, неки експерименти показују да бука коју стварају возови утиче на перформансе студената. Испитивани су ефекти које имају возови и друмски саобраћај на школе у близини и утврђено је да деца која су била у делу школе који је мање изложен буци постижу боље резултате на тестовима читања од оних који су били у делу школе који је изложен буци возова јачине од 89 $dB(A)$ [28].

Новија истраживања испитују утицај интерне буке на перформансе студената. Посматрани су студенти који обављају различите активности као што је учење читања [113] или рад на тестовима разумевања [166]. Потврђено је да ученици који су у бучним областима праве више грешака у тестовима разумевања од оних који су

у мирнијим деловима [165]. У [85] је испитиван утицај позадинске буке на студенте и показано је да студенти у бучним окружењима слабије читају и имају лошију перцепцију говора док број грешака које праве није статистички значајно различит. Деградација перцепције говора је добро документована. Показано је да су перформансе ученика којима енглески није матерњи језик, а слушају предавања на енглеском језику, далеко осетљивије на позадинску буку од оних којима је енглески матерњи [43]. До сличних закључака се дошло и у једном ранијем истраживању [68]. Поред негативног ефекта који бука има на активности читања и препознавања говора, бука има негативан ефекат и на меморисање и омета студенте када обављају теже задатке [126]. Утврђено је и да бука има већи утицај на млађу децу него на одрасле [277] [132].

С друге стране, постоје истраживања која нису успела да потврде негативан утицај буке на перформансе ученика. Једно од њих је изведено међу старијом децом старости између 13 и 15 година која су решавала математичке задатке при буци између 58 и 69 $dB(A)$ [158].

Нема много студија које се баве истраживањем стандардног нивоа буке у учионицама, а истраживања нису детаљна у описивању акустичких параметара који се том приликом користе и кад су нивои буке приказани преко $dB(A)$ [27]. Објављени резултати се односе углавном на мерења нивоа буке коју производе предавачи, нивое буке који постоје у празним учионицама, као и буке која настаје када су студенти ангажовани разним активностима.

Показано је да се ниво буке коју прави предавач креће између 40 и 80 $dB(A)$ [116]. Велике варијације у нивоу буке потврђене су и у истраживању у којем се користе различите методе мерења и позиције микрофона [210].

У различитим истраживањима се дошло до доста разноликих информација о нивоу буке која је присутна у празним учионицама. Измерени ниво буке у учионици у којој постоји вентилациони систем је био између 23 и 55 $dB(A)$ [116], док су мерења у

Истанбулу показала да је бука присутна у празним учионицама између 35.7 и 60.6 $dB(A)$ [32], а у Великој Британији су измерене вредности између 35 и 45 $dB(A) L_{Aeq}$ [102]. Када студенти уђу у учионицу, ниво буке се повећава од 35 $dB(A)$ ка 56 $dB(A)$ [115]. Нека друга истраживања су дошла до сличних нивоа буке у учионицама у којима су студенти [243], [166]. Очекивано, ниво буке расте када су студенти ангажовани неком активношћу и расте од 65 $dB L_{Aeq}$ у случају када раде самостално за столом до 77 $dB LAeq$, када су ангажовани неком групном активношћу или када се крећу кроз учионицу [243].

У неким студијама су анализирани акустични услови и разумљивост говора. У једној од њих која је изведена међу ученицима старости 12 и 13 година закључено је да одговарајући ниво буке износи 30 $dB(A)$ са оптималним временом одјека између 0.4 и 0.5 секунди [25]. Препоручено је да однос говора и буке буде вредност већа од 15 dB и то у целој учионици, односно између 20 dB и 25 dB када је студент удаљен један метар од особе која говори [21]. Све ове вредности подразумевају да је време одјека између 0.4 и 0.5 секунди.

Сумирано, ова истраживања показују да бука утиче на перформансе студената у школи, као и да студентима смета бука. Бука је такође одговорна за теже разумевање говора. Већи ниво буке је праћен слабијим фокусирањем студената. С друге стране, када је студентима досадно, они производе више буке.

3.3.3.5. Утицај позадинске музике

Неколико експеримената потврђује везу између позадинске музике и бољих перформанси студената. Потврђено је и да важну улогу у процесу учења има почетни ниво узбуђења. Значај узбуђења за учење је познат као *Yerkes-Dodsonov* закон и утврђен је 1908. године. По њему ће одређена количина узбуђења допринети и подићи перформансе извршавања задатка на оптимални ниво, али кад се једном тај ниво узбуђења прекорачи, перформансе опадају. С друге стране, утврђено је да музика у позадини може да утиче на ниво узбуђења [96]. Стога, музика у позадини се може користити за подизање активности студената и може имати позитиван ефекат

на процес учења. Једна од студија која подржава ову тврдњу је изведена међу 26 ученика петог разреда на часу науке у трајању од 42 часа током 4 месеца [51]. Сврха истраживања је била да се одреди да ли музика у позадини може да се користи како би се постигле боље перформансе деце у основном образовању на часовима науке. Пуштање одговарајуће музике у учионици може се користити како би се повећало време у коме су ученици активно ангажовани у учењу. У [170] је цитиран *Knirk*-ов рад из 1987. године, где је показано да позадинска музика од 35 децибела може да повећа пажњу и тако допринесе учењу и побољшању академских перформанси. Штавише, позитивни ефекти на учење су потврђени међу студентима који су на часу слушали Моцарта [86]. Музика има могућност да смири студенте ако је одговарајуће јачине.

Поред горе описаних ефеката, неки експерименти су изведени у групи хиперактивне деце и показано је да, кад се ученици једном прилагоде слушању музике у учионици, постоји општа тенденција ка смањивању непријатељства и повећању сарадње међу њима [95]. Примећено је да студенти настављају да причају, али да је то усмерено ка задацима које решавају. Исти научници су извели експеримент на часу математике и показали да релаксирајућа музика може да побољша решавање математичких проблема, док агресивна музика може да ослаби могућност меморисања и има негативне ефекте на понашање студената [96].

Пошто студенти имају различите личности, бирање одговарајуће музике у позадини није лак задатак. Претпоставља се да је мање комплексна музика најбољи избор [86]. Комплексност музике је представљена темпом, тоналитетом, текстуром, јачином, формом и мелодијским опсегом [86]. Показано је да права музика у позадини зависи од задатка на који су студенти концентрисани. Ако је задатак комплекснији неопходно је да музика буде једноставнија [96]. С друге стране је утврђено да бржа музика индукује веће нивое узбуђења од споре музике, а могуће објашњење лежи у чињеници да у бржој музици постоји већи број догађаја које је неопходно процесирати у јединици времена [74].

С обзиром на претходну дискусију, испоставља се да музика у позадини може да побољша учење и учини га бољим и забавнијим. С друге стране, бирање одговарајуће музике за дати задатак је велики изазов.

3.3.3.6. Утицај мириса

Изведени експерименти су показали да коришћење посебних арома у учионицама има сличне ефекте као позадинска музика. Слично као музика, и мириси утичу на расположење, имају могућност да релаксирају и узбуде. Показано је да неке ароме могу да утичу позитивно на перформансе: мирис пеперминта или лимуна даје више енергије [281] и субјекти који су били изложени овим аромама су решавали пазл 30% брже. Додатно, пријатни мириси могу да побољшају и когнитивни процес. Када су студенти били изложени пријатним мирисима сечене јабуке или лимуна, били су у стању да извршавају задатке који се односе на формирање речи и задатке декодирања боље од оних који нису били изложени поменутиим мирисима.

Стога, закључак је да излагање студената неким аромама може да утиче и побољша процес учења.

4. Спецификација и анализа захтева система

Пре имплементације система, биће дефинисани неопходни захтеви које решење треба да задовољава и истакнута ограничења која утичу на процес прикупљања информација коришћењем *IoT* уређаја, анализу прикупљених података и њихову презентацију.

Све захтеве можемо поделити на захтеве техничке природе и захтеве који се односе на начин прикупљања, складиштење и обраду података, њихово приказивање, захтеве које треба да испуњава окружење, као и захтеве у вези са архитектуром и перформансама система.

Приликом имплементације неопходно је водити рачуна да наведени захтеви система буду испуњени.

4.1. Технички захтеви

Што се тиче захтева техничке природе, неопходно је да систем има следеће могућности:

- Лаку надоградњу,
- Лако прилагођавање,
- Проширивост,
- Флексибилност.

4.2. Захтеви у вези са прикупљањем података и местом постављања сензора

На самом почетку је неопходно извршити мерења и прикупити податке из разних извора. У овом случају је неопходно прикупити податке из физичког окружења, као и податке који говоре о активности професора.

Праћење физичких параметара окружења, као што су температура у учионици, бука и квалитет ваздуха, могуће је остварити постављањем одговарајућег сензора у окружење. При томе треба водити рачуна да сензор буде постављен тако да буде на месту које није лако доступно студентима, али и да буде ван њиховог видокруга како не би привлачило њихову пажњу. Међутим, сазнање да се налазе у паметној учионици засигурно ће утицати на понашање предавача и студената, али се претпоставља да ће се овај утицај временом смањивати. Такође, треба водити рачуна да сензор буде на таквој локацији која неће утицати на квалитет мерења, на пример: сензори који мере температуру не би требало да буду у близини топлотних извора.

Посматрање предавача требало би да буде остварено помоћу сензора чијом комбинацијом би се у сваком тренутку могле добити што тачније информације о његовој активности. У овом случају сензори могу бити постављени на професора, чиме ће квалитет мерења бити далеко бољи него када би се они налазили у његовој околини.

4.2.1. Складиштење и обрада података

Пре извршења мерења, неопходно је извршити синхронизацију времена на свим уређајима који учествују у овом процесу. То је неопходно урадити пре обраде података, јер би у супротном обрада била неконзистентна и долазило би до грешака.

Када се изврше одговарајућа мерења, неопходно их је прво прикупити и ускладиштити на једно место, а затим обрадити.

Приликом складиштења података битно је имати на уму ограниченост меморије сензора. Зато је неопходно да подаци које прикупи сензор буду одмах прослеђени до сервера, где ће се накнадно обрадити. С друге стране, ради чувања батерије код сензора, неопходно је водити рачуна о количини пренетих података и применити оне начине и формате који омогућују пренос података уз што мањи утрошак енергије.

Једини захтев који се тиче обраде података је тај да обрада буде могућа у реалном времену. То аутоматски искључује примену комплексних алгоритама, а укључује бројне једноставне технике којима би се дошло до одговарајуће информације.

4.2.2. Приказивање података

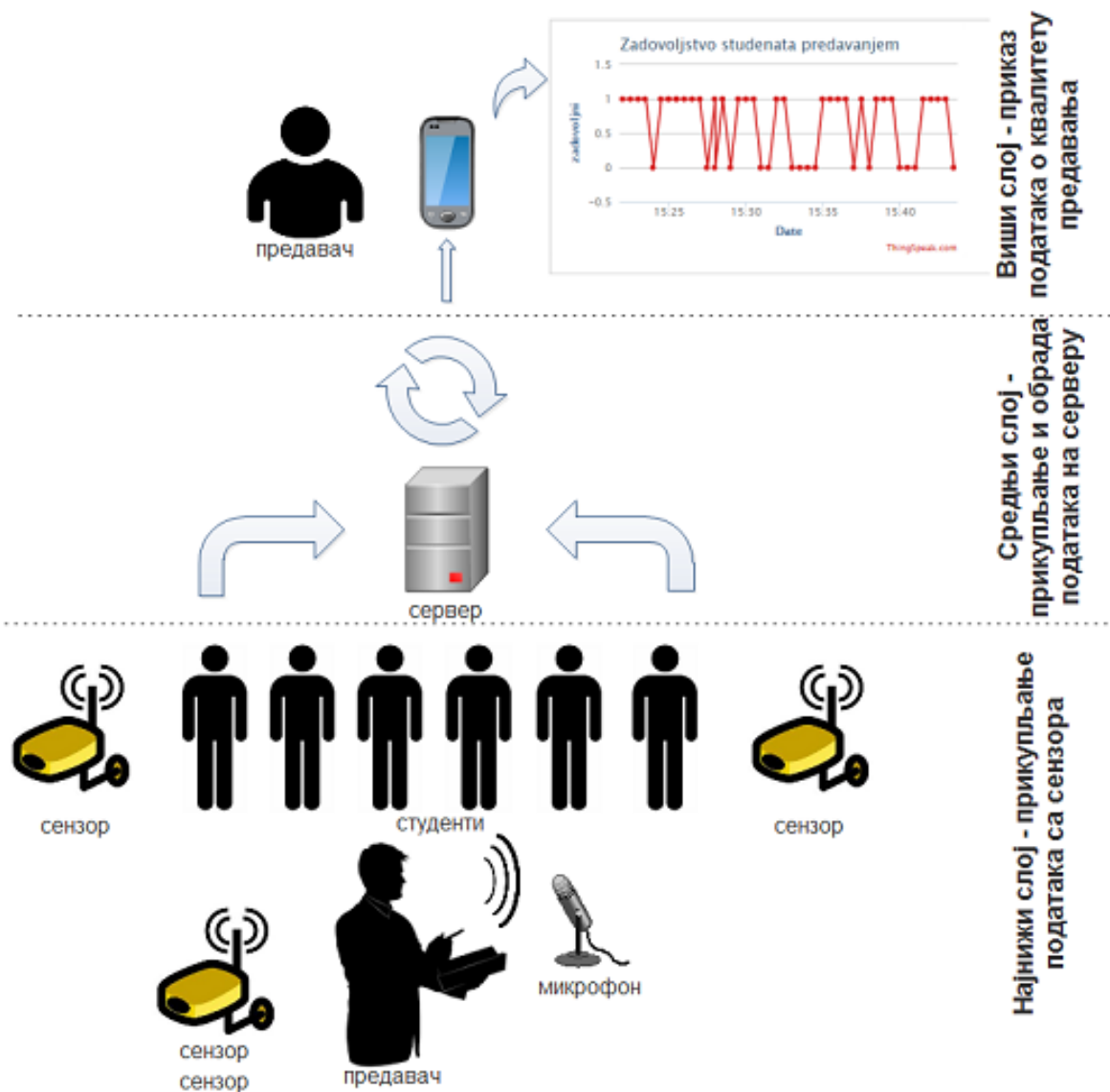
Неопходно је да систем има могућност приказа обрађених података и добијених информација. Пошто је главни учесник предавач, неопходно је да му у сваком тренутку добијене информације буду доступне и приказане у некој за њега разумљивој и корисној форми, како би их он користио за корекцију свог понашања. Најбоље би било да може да прати информације о квалитету на свом паметном телефону. Поред тога, потребно је добијене податке приказати и потенцијалном скупу нових корисника, на лак и једноставан начин.

4.3. Захтеви у вези са архитектуром система

Најнижи слој овог система би требало да се састоји од сензора и разних помоћних уређаја (паметни телефони) који би били задужени за прикупљање података. Прикупљене податке би потом требало послати на сервер где би се подаци скупљали, обрађивали и анализирали. Неопходно је да се потом ти подаци у реалном времену прикажу предавачу на мобилном уређају у форми која му је прихватљива. С друге стране, систем би требало да буде отворен како би један број спољних корисника имао увид у приказане резултате путем једноставне ауторизације, што би могло бити постигнуто коришћењем *Cloud* технологија.

Оваква слојевита структура омогућила би лакшу каснију надоградњу, била би флексибилна у случају неке измене и лака за даљи развој и надоградњу. Такође, сваки од ових слојева би могао бити разложен на неке мање јединице које би обављале неке ситније задатке.

На слици 5 је дата слика коју архитектура система треба да задовољава.



Слика 5. Архитектура система

4.4. Захтеви које треба да испуњава окружење

Циљ овог истраживања је да се направи систем који ће се моћи користити у реалним условима. Стога, окружење у коме се прикупљају подаци треба да буде учионица у којој се обавља процес предавања. У окружењу се смеју поставити неопходни сензори са задатком да мере релевантне параметре које касније шаљу на сервер где се обрађују. Да би услови били што сличнији реалним, ниједан од ових параметара окружења не сме бити контролисан. Потребно је пустити да се параметри окружења мењају оним интензитетом и на начин на који се то дешава приликом стварних предавања.

4.5. Захтеви у вези са перформансама решења

Потребно је да систем има могућност да у готово реалном времену да одговор о задовољству студената квалитетом предавања. Обрада задовољства треба да буде подељена по сегментима и неопходно је да одмах након завршетка одговарајућег сегмента буде доступна информација о задовољству студената за тај сегмент која би истог трена била презентована на одговарајући начин свим учесницима у процесу подучавања.

5. Селекција и анализа параметара који утичу на квалитет предавања

Да би се изабрали параметри који утичу на квалитет предавања, поред проучених релевантних истраживања, спроведена је и анкета, након чега су обрађени добијени резултати.

5.1. Анкетни упитник

Квантитативно истраживање је спроведено уз помоћ структурираног упитника којим су обухваћена питања која се односе на испитивање понашања студената када им предавање није занимљиво, као и на факторе који имају утицај на квалитет предавања. Формулисању упитника је претходило проучавање литературе која се бави утврђивањем фактора који имају утицај на квалитет предавања, као и врсте понашања које се везују за исказивање досаде. Изглед упитника дат је у прилогу.

5.1.1. Узорак

Истраживање је спроведено путем Интернета и у њему су учествовала 293 студента Факултета организационих наука и Саобраћајног факултета, где је 178 студената било мушког, а 115 женског пола. Старосна структура испитаника приказана је табелом 7 и на слици 6.

Табела 7. Старосна структура испитаника

Старосна група	Број испитаника датог узраста
Старији од 30 година	11
Између 26 и 30 година	22
Између 21 и 25 година	98
Између 18 и 20 година	162
Σ	293



Слика 6. Старосна структура испитаника

5.1.2. Анализа резултата

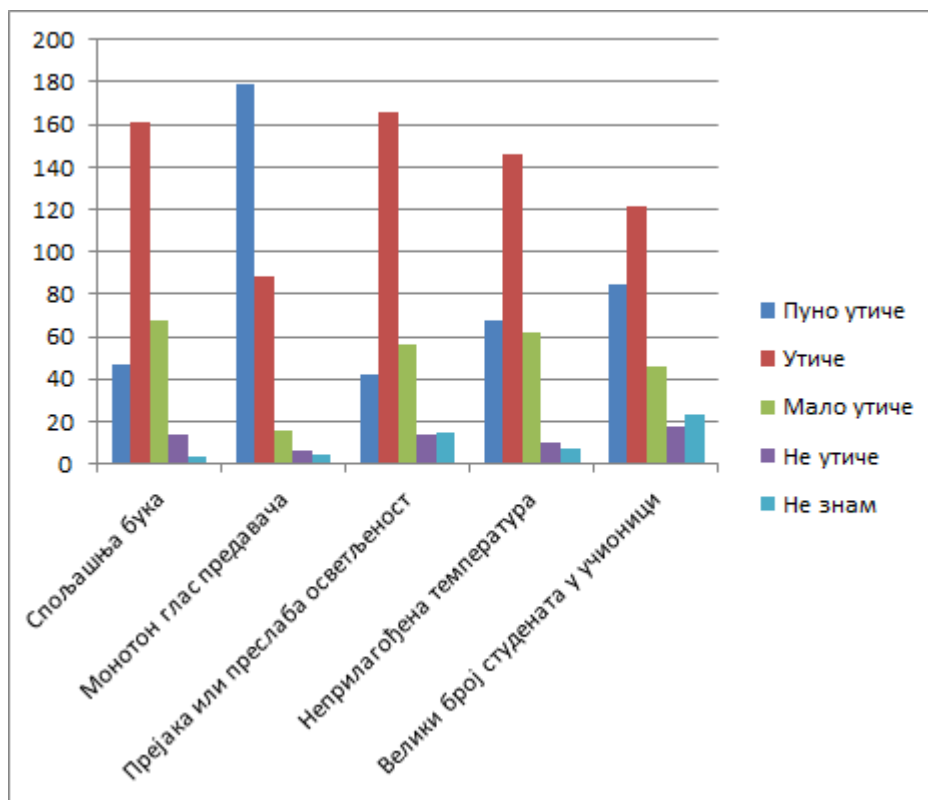
Резултати истраживања приказани су у табели 8 и на слици 7.

Табела 8. Параметри који утичу на квалитет предавања

Параметри	Пуно утиче	Утиче	Мало утиче	Не утиче	Не знам
Спољашња бука	47	161	68	14	3
Монотон глас предавача	179	88	16	6	4
Прејака или преслаба осветљеност	42	166	56	14	15
Неприлагођена температура	68	146	62	10	7
Велики број студената у учионици	85	121	46	18	23

Анкета показује да студенти сматрају да следећи фактори, поређани по важности, имају велики утицај на предавање: монотон глас предавача (61.09%), велики број студената у учионици (29.01%), неприлагођена температура (23.21%), спољашња бука (16.04%) и неприлагођено осветљење (14.33%). Ако посматрамо који фактори утичу на квалитет предавања, онда је редослед фактора следећи: монотон глас предавача (91.13%), неприлагођена температура (73.04%), спољашња бука (70.99%),

неприлагођено осветљење (70.99%) и велики број студената учионици (70.31%). Из анкете се може извести закључак да студенти сматрају да монотон глас предавача несумњиво има највећи утицај на квалитет предавања, а да томе следи неприлагођена температура и спољашња бука.



Слика 7. Утицај различитих фактора на квалитет предавања

5.2. Потенцијални параметри за мерење социолошких сигнала

Предавач може да утиче на достигнућа студената и њихово задовољство преко експресивног понашања [181]. Експресивно понашање се може испољити на више начина: преко лица, говора, тела и тона гласа [5]. Постоји велики број истраживања која су потврдила да анализом различитих вокалних карактеристика као што су висина тона, ритам, енергија, брзина говора, интонација, перцептивна гласност и квалитет гласа, можемо добити информацију о говорниковом емотивном стању [70], [280], [71], [125], [15], [148], [123]. С друге стране, набројане вокалне карактеристике

могу да утичу на ангажовање студената током предавања и на њихов успех у учионици [297]. Најбоље документован вокални знак емоције је висина тона [65]. Поред висине тона, постоји велики број гласовних карактеристика које могу бити издвојене из говорног сигнала, а с обзиром на претходно излагање, одлучено је да се користе мерења социјалних сигнала које је предложио *Pentland* [204]. Као што је већ описано, они су се показали успешним у веома различитим ситуацијама, и параметри дати у табели 5 су управо они чијим мерењем се могу добити корисне информације. С обзиром на горе поменуто излагање, говорни канал је носилац корисних информација којим се може исказати експресивно понашање, па је као такво битно за ово истраживање. Такође, показано је да неке карактеристике говора утичу на фокусираност студента на предавање [266].

Поред говорног канала, предавач може да искаже експресивно понашање кроз своје покрете [180], а покрети предавача могу такође да утичу на квалитет предавања у датом тренутку и неопходно их је мерити.

5.3. Потенцијални параметри из физичког окружења

Ниједно од описаних истраживања не испитује утицај параметара физичке средине на квалитет предавања, али је зато предмет истраживања фокусиран на утицај различитих параметара на неки аспект процеса учења који је у корелацији са квалитетом предавања. Пошто је доказана веза између квалитета предавања и достигнућа студената [33], као и веза између квалитета предавања и перформанси студената [3] основана је претпоставка да би параметри који утичу на достигнућа студената или на њихове перформансе, утицали и на квалитет предавања. Као што је изложено, многи радови су показали негативан утицај неадекватне температуре на перформансе студената [208], [289], [237], [273], [212], као и да комбинација температуре и влажности ваздуха може утицати на фокусираност студената [266]. И резултати анкете указују на то да преко 73% студената сматра да неадекватна температура утиче на квалитет предавања.

С друге стране, показано је да и квалитет ваздуха, посебно ниво угљен-диоксида, има утицај на студентова достигнућа или перформансе [239], [273], [39]; [11]; [129], [174], [194], [275] или на фокусираност студента [266], било да је утицај мерен директно или индиректно, путем учесталости вентилације која снабдева учионицу спољним ваздухом. У оба случаја је показано да високи нивои угљен-диоксида имају негативан утицај. Поред угљен-диоксида, испитиван је и утицај угљен-монооксида на перформансе. Утврђено је да висок ниво угљен-монооксида неповољно утиче на брзину процесирања [257] као и да успорава реакције [220] и смањује перформансе [227]. Бука је доста проучавана и многи експерименти су потврдили негативан утицај буке на академске перформансе [45], [131], [58], [28], [68], [145].

Као што је већ речено, ниски нивои испаривих органских једињења не утичу на перформансе [194], а концентрација ових једињења у затвореним просторима је нижа од посматраних, па нивои испаривих једињења који се могу наћи у учионицама не могу знатно да утичу на квалитет предавања.

Многа истраживања показују да постоји веза између учења и светлости [192], [193], а најчешће се испитује утицај дневног светла на перформансе студената [110] и резултате које они остварују на различитим тестовима [111], [185], мада постоје и радови који испитују утицај разних извора светлости на концентрацију [138]. Већина истраживања се бави врстом осветљења, а мањи број њих се фокусира на слабо осветљење и његов утицај на когнитивне способности студената.

С обзиром на претходно излагање, потенцијални параметри физичког окружења који би могли имати утицај на квалитет предавања, а могу се мерити коришћењем сензора, су: угљен-диоксид, угљен-моноксид, температура, ваздушни притисак, влажност ваздуха и бука. Постоје и сензори који мере количину осветљења, али није могуће на једноставан начин искористити тај податак да би се дошло до информације о којој врсти осветљења се ради. Из тог разлога, светлост неће бити проучавана у даљем разматрању.

Пошто је субјективни осећај температуре различит за сваку особу, уместо мерења објективне температуре, сматра се да би комбинација температуре са влажношћу ваздуха, коришћењем *humidex* формуле [162] и добијањем једне објективније вредности била бољи показатељ термалног дискомфора од саме температуре или влажности [190]. Сензори који мере температуру и влажност ваздуха могли би бити постављени у окружење тако да их студенти не виде. У табели 9 је дат списак параметара који би могли да се мере сензорима а чије вредности би могле имати утицај на квалитет предавања.

Табела 9. Параметри физичког окружења који би могли имати утицај на квалитет предавања

Параметар	Уређај који се користи за мерење	Начин узорковања и анализе
CO ₂	CO ₂ сензор	Једна вредност на интервалу
CO	CO сензор	Једна вредност на интервалу
Температура	Сензор за мерење температуре	Једна вредност на интервалу
Ваздушни притисак	Сензор за мерење ваздушног притиска	Једна вредност на интервалу
Влажност ваздуха	Сензор за мерење влажности	Једна вредност на интервалу
Бука	Сензор за рачунање нивоа буке	Сваке секунде се узоркује вредност, па се сви добијени подаци на једном интервалу обрађују статистичким методама

Сви параметри у табели, изузев буке, узоркују се тако што им се се пошаље једна вредност за жељени посматрани интервал. Сензор буке узоркује вредности сваке секунде, па се онда подаци прикупљени за цео интервал шаљу на даљу обраду. Над тим подацима се могу применити различите статистичке методе као што су: средња вредност нивоа буке, средња вредност апсолутних девијација нивоа буке, збир квадратних девијација нивоа буке, медијана и стандардна девијација нивоа буке.

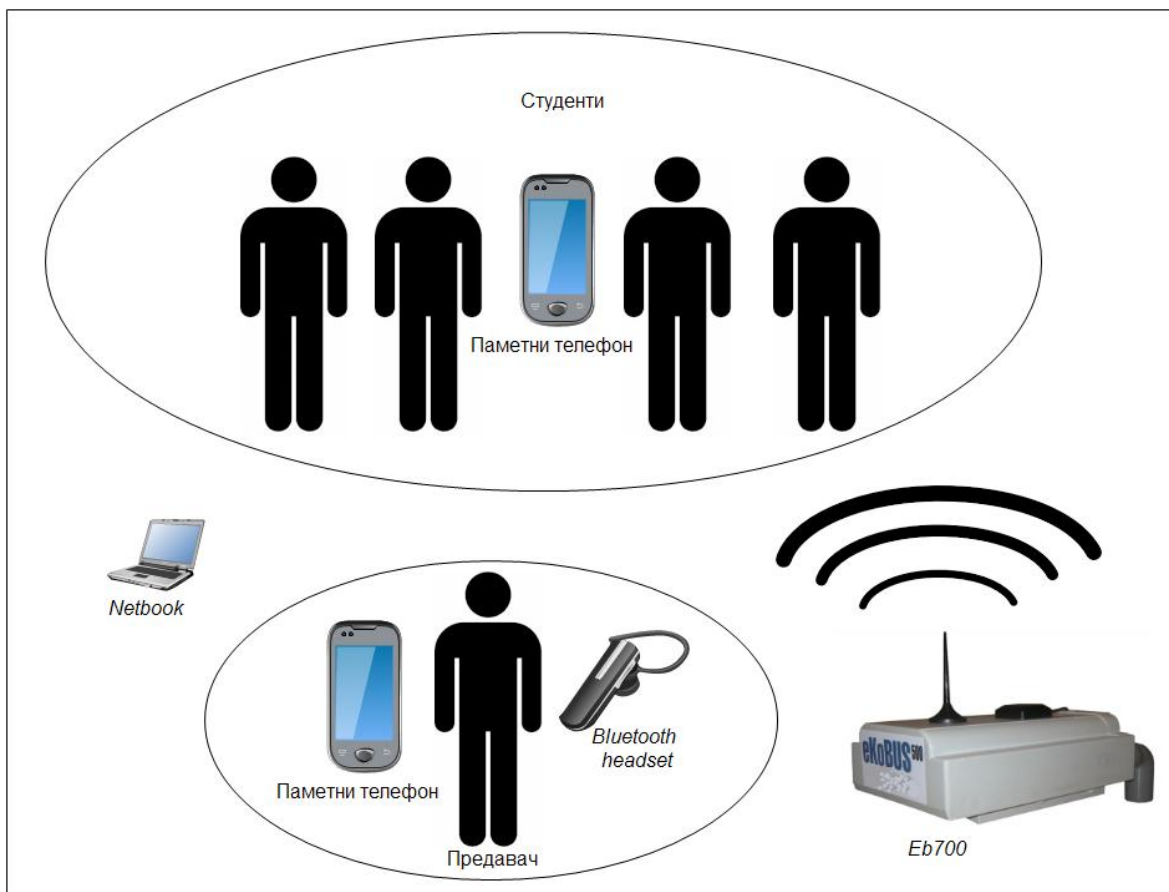
5.4. Окружење у коме је обављено опсервационо истраживање

За мерење су коришћени следећи уређаји:

- *Android* паметни телефон који се налазио на средини учионице и који је коришћен за детекцију нивоа буке.
- *Eb700* уређај [248] - на који је смештено неколико сензора укључујући сензоре за угљен-диоксид, угљен-моноксид, температуру, ваздушни притисак, влажност ваздуха. Уређај је био постављен у учионицу далеко од извора топлоте како она не би имала утицај на квалитет мерења. Уређаји су били удаљени и од прозора како би се избегле грешке у мерењу проузроковане струјањем ваздуха кроз прозор.
- *Bluetooth headset*, који је био повезан на локални рачунар и коришћен за снимање предавачевог гласа.
- Још један паметни телефон који има уграђен трокоординатни акцелерометар и који се налазио у руци предавача а коришћен је за мерење покрета руке предавача.

У датом окружењу је мерено шест параметара физичког окружења: угљен-диоксид, угљен-моноксид, температура, ваздушни притисак, влажност ваздуха и бука. Пошто се субјективни осећај температуре разликује од објективног, уместо коришћења објективне вредности, комбинована је вредност температуре са вредношћу коју је имала влажност ваздуха, при чему је коришћена *humidex* формула [162]. На тај начин је добијена једна вредност која представља термални дискомфорт који је бољи показатељ термалног комфора, него температура и влажност појединачно [190].

Слика окружења у коме је вршено снимање дата је на слици 8.



Слика 8. Поставка сензора у окружењу у коме је вршено мерење

Ниво буке је обрађиван на следећи начин: на сваком интервалу су коришћене следеће статистичке методе: средња вредност, средња вредност апсолутних девијација, збир квадрата девијација, медијана и стандардна девијација.

Звук је сниман на фреквенцији од 8 kHz , коришћењем *Bluetooth headset*-а који је био повезан на рачунар. Екстракција гласовних карактеристика је урађена коришћењем *toolbox*-а који је развијен од стране *Human Dynamics* групе [201]. Као резултат екстракције, добијене су 22 гласовне карактеристике: (1) средња вредност формантне фреквенције, (2) средња вредност сигурности формантне фреквенције, (3) средња вредност спектралне ентропије, (4) средња вредност највећег аутокорељационог врха, (5) средња вредност локације највећег аутокорељационог врха, (6) средња вредност укупног броја аутокорељационих врхова, (7) средња вредност енергије у фрејму, (8)

средња вредност промене енергије у времену, (9) стандардна девијација формантне фреквенције, (10) стандардна девијација сигурности у формантну фреквенцију, (11) стандардна девијација спектралне ентропије, (12) стандардна девијација вредности највећег аутокорелационог врха, (13) стандардна девијација локације аутокорелационог врха, (14) стандардна девијација броја корелационих врхова, (15) стандардна девијација енергије у фрејму, (16) стандардна девијација промене енергије у времену, (17) просечна дужина гласовних сегмената, (18) просечна дужина говорних сегмената, (19) проценат времена говора, (20) стопа говора, (21) део времена у коме се прича и (22) просечан број кратких говорних сегмената.

Коришћен је паметни телефон - који је у себи имао уграђен трокоординатни акцелерометар и био је лоциран у руци која представља најизражајнији део тела - који има способност да прикаже бесконачно много значења [300]. Мерен је интензитет померања руке израчунавањем броја пресека који остварује крива која представља дужину трокоординатног вектора и експериментално одређеног прага. Добијена вредност представља интензитет покрета руке предавача.

5.5. Анотација података

Истраживање је обављено на Београдском универзитету и трајало је цео један семестар (три месеца). За потребе истраживања, снимљено је 41 предавање (од којих је свако трајало 45 минута) на којима је присуствовало око 200 студената. Од 41 предавања, 28 је обављено у учионицама које су међусобно сличне, а сваком предавању је присуствовало између 5 и 10 студената. Снимљени подаци су коришћени за тренирање класификатора. Након што је класификатор истрениран а систем имплементиран, обављено је 13 додатних снимања са циљем да се изврши евалуација система. Евалуација је вршена у условима који се на неки начин разликују од услова приликом тренирања класификатора. Те разлике се првенствено односе на димензије учионице, број студената и предавача.

Задатак процеса анотације је да пронађе сегменте лекције где су студенти задовољни насупрот оних сегмената где студенти нису задовољни квалитетом предавања. Анотација је рађена коришћењем повратне информације о њиховом задовољству квалитетом предавања добијене у реалном времену. За време предавања, студенти су означавали сегменте лекције притискањем једног од два дугмета на *Web* страници и на тај начин исказивали да ли су или нису задовољни квалитетом предавања. Акција при којој је неопходно урадити само један клик мишем је једноставна и као таква не омета превише студентове активности.

Процес сегментације је рађен на интервалима дужине 30 секунди. Дужина трајања деонице изабрана је на основу пилот истраживања које је спроведено и у коме је експериментисано са дужином трајања деонице. Алгоритам је показао највећу тачност када су деонице биле дужине 30 секунди. Скуп вредности које су имали мерени параметри на датом сегменту су му придружени градећи скуп података (енгл. *dataset*) за учење. Приликом грађења скупа података за учење, примењене су следеће рестрикције:

- Сегменти са више од 90% негативних гласова су означени као *незадовољни*
- Сегменти са више од 90% позитивних гласова су означени као *задовољни*
- Сегменти са мање од 90% било позитивних било негативних гласова су одбачени
- Ако је студент на једном сегменту гласао више пута, ти гласови су одбачени
- Одбачени су и сегменти на којима је било доста шума.

Приликом опсервационог истраживања добијено је мало више од 12 сати материјала, који је после примене ових рестрикција сведен на 311 сегмената дужине 30 секунди, тј. на два и по сата искористивог материјала.

5.6. Анализа параметара

За сваки добијени параметар је испитана хипотеза која гласи:

„Не постоји разлика између вредности параметара на сегментима означеним као *задовољни* и сегмената означеним као *незадовољни*.“

Након извршеног т-теста за независне узорке, нулта хипотеза је одбијена за 12 параметара, и они су издвојени са претпоставком да утичу на квалитет предавања.

5.6.1. Параметри добијени из звучног сигнала

Од свих 22 параметра који су екстраховани из звучног сигнала који је добијен анализом професоровог говора, за само седам је показано да имају утицај на задовољство студента: (1) део времена у коме се прича, (2) средња вредност спектралне ентропије, (3) средња вредност енергије фрејма, (4) стандардна девијација формантне фреквенције, (5) стандардна девијација сигурности у формантну фреквенцију, (6) стандардна девијација спектралне ентропије, и (7) стандардна девијација енергије у фрејму.

Стандардна девијација формантне фреквенције и стандардна девијација сигурности у формантну фреквенцију имају значаја у одређивању утицаја који представља индикатор мотивације говорника [150]. Из резултата следи да је стандардна девијација формантне фреквенције и сигурности у формантну фреквенцију мања када су студенти задовољни квалитетом предавања. Ове мале варијације представљају јачину менталног фокуса предавача [150] која води бољој презентацији и повећава задовољство студента квалитетом предавања.

Детаљна листа параметара екстрахованих из звучног извора који утичу на задовољство студената дата у је Табели 10.

Табела 10. Листа параметара екстрахованих из звучног извора који имају значајан утицај на задовољство студента, З – представља сегменте где су студенти задовољни квалитетом предавања, НЗ – сегменте за време којих студенти нису били задовољни квалитетом предавања

Име параметра	Средња вредност (З)	Средња вредност (НЗ)	Значај
Део времена у коме се прича	0.691713	0.633268	0.009
Средња вредност спектралне ентропије	3.584066	3.694968	0.0000000755
Средња вредност енергије фрејма	0.00944839	0.00656667	0.00153762
Стандардна девијација формантне фреквенције	0.292753	0.40313	0.0000000046
Стандардна девијација сигурности у формантну фреквенцију	0.649044	0.526186	0.0000000053
Стандардна девијација спектралне ентропије	0.36218185	0.307906349	0.0000000008
Стандардна девијација енергије у фрејму	1.483397	1.398914	0.020666

Утврђено је да је средња вредност карактеристике „део времена у коме се прича“ већа када су студенти задовољни лекцијом. С обзиром да ова карактеристика представља број преклапања говорних сегмената, као и утицај који предавач има на аудиторијум [150], већа вредност значи већу активност аудиторијума у конверзацији а самим тим и да су више ангажовани током предавања.

Енергија у фрејму представља јачину гласа датог сегмета и означава ниво конверзационе активности. Експеримент је показао да су студенти задовољнији када је ниво енергије већи, што значи да је предавач више укључен у конверзацију и има већу активност током конверзације.

Ентропија представља меру дисорганизације или нереда, а може се користити за мерење „зашиљености“ дистрибуције [260]. Говорни региони имају нижу ентропију, док тишина и бука индукују веће вредности ентропије [260]. Резултати показују да су студенти задовољни квалитетом предавања када је средња вредност ентропије нижа, што значи да постоји више региона са говором а мање делова са тишином или буком.

5.6.2. Параметри добијени из физичке средине

Од свих статистичких анализа које смо извршили на вредностима које представљају ниво буке, само је средња вредност као и средња вредност апсолутних девијација имала значајан утицај на задовољство студената.

Од шест параметара које смо мерили у физичком окружењу, само се количина угљен-диоксида и комбинација температуре и влажности ваздуха (*humidex*) показала као релевантна.

Детаљна листа свих параметара које смо испитивали, изузев акустичких, а који би могли да имају значајан утицај на задовољство студената квалитетом предавања представљена је табелом 11.

Табела 11. Листа параметара који имају значајан утицај на задовољство студента; З – представља сегменте где су студенти задовољни квалитетом предавања, НЗ – сегменте за време којих студенти нису били задовољни квалитетом предавања

Име параметра	Средња вредност (З)	Стандардна девијација (З)	Средња вредност (НЗ)	Стандардна девијација (НЗ)	Значај
Средња вредност нивоа буке	45.74594	2.821128491401978	46.71741	2.69693513029142	0.014358
Средња вредност апсолутних девијација нивоа буке	3.054826	0.765491278199823	3.429972	0.88251132740606	0.000864
CO ₂	470.4436	3.24327526429688	471.5508	2.5972800507454	0.013913
<i>humidex</i>	16.38814	1.335076364108061	17.10867	1.38758977871704	0.000178
Интензитет покрета руке предавача	7.625	14.80399948662523	13.04762	18.8306789574885	0.036602

Пошто се нивои угљен-монооксида нису значајно мењали током времена, хипотеза за угљен-моноксид није одбачена. С друге стране, ниво угљен-диоксида се показао као значајан приликом одређивања студентовог задовољства. Ово су потврдила претходна истраживања [239], [273], [39], [11], [129], [179], [174], [194] која су још

раније показала негативан утицај нивоа угљен-диоксида на достигнућа студената и њихове перформансе. Средња вредност нивоа угљен-диоксида на сегментима на којима су студенти задовољни предавањем је нижа него на оним сегментима када студенти нису задовољни. Слично, резултати показују да су студенти задовољнији када им није врућина (када је *humidex* нижи). Такође је показано да студенти праве више буке када су мање задовољни квалитетом предавања, што се види из средње вредности нивоа буке. И последње, показано је да веома интензивно кретање предавачевих руку може да одврати студенте од слушања предавања (то се види из стандардне девијације интензитета којом предавач помера руку).

5.7. Евалуација класификатора

Након извршења т-теста, добијено је 12 параметара који су се показали као битни за одређивање задовољства студената квалитетом предавања. Учећи *dataset* је модификован тако што су избачени сви параметри који су се показали небитним (који нису одбачени коришћењем т-теста).

Коришћењем добијеног *dataset*-а, израчунате су перформансе за десет различитих класификатора који се доста користе. Класификатори обављају процес класификације, која представља један од најчешћих задатака машинског учења, и представља проблем разврставања непознате инстанце у једну од унапред понуђених категорија — класа. Тестирана је могућност класификатора да успешно предвиде да ли ће инстанца коју представља секвенца од 30 секунди неке лекције бити успешно класификована у одговарајућу класу. За ово је коришћен *Weka toolkit* [94] и 10-струка унакрсна валидација. Код унакрсне валидације се ради вишеструко понављање процеса евалуације на тестном скупу, користећи различите случајно изабране скупове за учење и тестирање. На овом принципу се заснива метода унакрсне валидације, уз одговарајућу замену скупа података за учење и тестног скупа у свакој итерацији [140]. Код методе *k*-струке унакрсне валидације најпре се почетни скуп примера по методи случајног избора подели у *k* међусобно различитих партиција приближно исте величине. Поступак се обавља итеративно, с тим да се у једној

итерацији $k-1$ партиција користи као *dataset* за учење, а конструисани модел се тестира на преосталој партицији која представља *dataset* за тестирање. Поступак се понавља k пута, тако да свака од партиција буде по једном у улози *dataset*-а за тестирање. Оцену стварне фреквенције грешака класификацијског модела представља просечна фреквенција грешака свих k итерација поступка. У пракси се најчешће користи стратификована 5-струка или 10-струка унакрсна валидација, јер се показала као довољно тачна, а није рачунарски презахтевна [186].

За мерење перформанси класификатора коришћени су следећи параметри:

- Тачност
- Процент стварно позитивних (за *задовољне* и *незадовољне* сегменте) (*TP*, енгл. *True positive*)
- Процент лажно позитивних (за *задовољне* и *незадовољне* сегменте) (*TN*, енгл. *True negative*)
- Прецизност
- *Kappa* статистика [267]

Сваки класификатор је тестиран коришћењем истог скупа података за учење који је представљао улаз у Века алат. Највећу тачност (93.2476%) је показао *Random forest* класификатор [26] који је уједно имао и највећу вредност *Kappa* статистике (0.7792), док је *SMO* имао најмању вредност *Kappa* статистике (0.3065).

Испоставило се да класификатори који имају висока одступања/мале варијансе (дрвета одлучивања, неуронске мреже) имају предност у односу на класификаторе са малим одступањима/великим варијансама [160]. Ово се показало као тачно у случају *Random forest* алгоритма, као и код неких других алгоритама који се базирају на стаблима одлучивања који су у нашем случају показали најбоље перформансе.

На основу добијених резултата изабран је *Random forest* алгоритам [26] као класификатор за систем паметне учионице.

Комплетна листа евалуираних класификатора са постигнутим тачностима представљена је табелом 12.

Табела 12. Листа евалуираних класификатора; *TP* – стопа стварно позитивних, *FP* – стопа лажно позитивних; *Z* – сегменти када су студенти задовољни квалитетом предавања; *HZ* – сегменти када студенти нису задовољни квалитетом предавања

Алгоритам	Тачност (%)	<i>TP</i> (Z)	<i>FP</i> (Z)	Прецизност (Z)	<i>TP</i> (HZ)	<i>FP</i> (HZ)	Прецизност (HZ)	<i>Kappa</i>
<i>Random Forest</i>	93.2476	0.976	0.238	0.942	0.762	0.024	0.889	0.7792
<i>Alternating Decision Tree</i> [72]	91.9614	0.968	0.27	0.934	0.73	0.032	0.852	0.7372
<i>BFTree</i> [241]	92.283	0.956	0.206	0.948	0.794	0.044	0.82	0.7583
<i>Random Tree</i>	89.3891	0.919	0.206	0.946	0.794	0.081	0.714	0.6846
Стабла одлучивања [141]	88.1029	0.96	0.429	0.898	0.571	0.04	0.783	0.5905
<i>AdaBoostM1</i> [73]	87.7814	0.964	0.46	0.892	0.54	0.036	0.791	0.571
<i>MultiBoostAB</i> [276]	83.9228	0.976	0.698	0.846	0.302	0.024	0.76	0.3579
<i>NN1</i> [161]	89.0675	0.923	0.238	0.939	0.762	0.077	0.716	0.6694
<i>BayesNet</i>	83.2797	0.927	0.54	0.871	0.46	0.073	0.617	0.4283
<i>SMO</i> [214]	82.6367	0.968	0.73	0.839	0.27	0.032	0.68	0.3065

5.8. Коначна селекција параметара

Следећи корак је одабир оних параметара који су битни приликом класификације, односно одбацивање нерелевантних. Ефективност атрибута је евалуирана применом *Века*-иног евалуатора *InfoGainAttributeEval*, коришћењем његових подразумеваних вредности [284]. Информацијски добитак представља очекивану редукцију ентропије узроковану раздвајањем примера на основу тог атрибута. *InfoGainAttributeEval*

рачуна ефективност атрибута мерењем количине информације која се добија помоћу њега а значајна је за класу. Користи се следећа формула:

$$\text{InfoGain}(\text{Class}, \text{Attribute}) = H(\text{Class}) - H(\text{Class} | \text{Attribute})$$

Где H представља ентропију.

Атрибути и њихове ефективности приказани су у табели 13.

Табела 13. Атрибути и њихове ефективности

Атрибут	Ефективност атрибута
<i>humidex</i>	0.3479
Стандардна девијација формантне фреквенције	0.1806
Угљен-диоксид	0.1269
Стандардна девијација сигурности у формантну фреквенцију	0.1049
Средња вредност спектралне ентропије	0.0887
Стандардна девијација спектралне ентропије	0.0749
Интензитет покрета руку предавача	0.0463
Средња вредност енергије у фрејму	0.0463
Средња вредност апсолутних девијација нивоа буке	0
Стандардна девијација енергије у фрејму	0
Средња вредност нивоа буке	0
Део времена у коме се прича	0

Ови резултати показују да је могуће избацити неке параметре а да се то не одрази на тачност класификатора. Избачена су четири параметра који имају ефективност атрибута 0. Након овога је поново урађена процедура и поново је евалуиран *Random forest* класификатор коришћењем 10-струке унакрсне валидације и подразумеваних вредности. Одбацивање атрибута није се одразило на тачност класификатора.

6. Дизајн и имплементација компоненти система и њихова интеграција

6.1. Опис предложеног система за одређивање квалитета предавања

Задатак система је да препозна да ли су студенти у датом тренутку задовољни квалитетом предавања. Предложени систем за одређивање квалитета предавања састоји се од следећих уређаја:

- *Eb700* уређај – плоча на којој се налазе сензори који мере количину угљен-диоксида, температуру и влажност ваздуха. Да би били испуњени претходно дефинисани захтеви, неопходно је да уређај буде постављен у учионици далеко од извора топлоте и од прозора;
- *Bluetooth headset* који се повезује на рачунар и користи за снимање гласа предавача;
- *Android* паметни телефон у који је уграђен трокоординатни акцелерометар, који се налази у руци предавача и који служи за мерење интензитета којим предавач покреће руку.

На *Eb700* уређају су смештени сензори за мерење температуре, влажности ваздуха и количине угљен-диоксида. Сензори на овом уређају мере параметре из физичког окружења, а након мерења измерене вредности шаљу на сервер. То је неопходно јер сензор има ограничену меморију, а у складу је са унапред дефинисаним захтевима. С обзиром да се вредности температуре, влажности и количине угљен-диоксида не мењају често, довољно је вршити мерење једном у 30 секунди.

Микрофон који се налази на *Bluetooth headset* уређају служи за пријем гласа предавача. *Bluetooth headset* је повезан са рачунаром који добијени звучни сигнал исеца на сегменте у трајању од 30 секунди и обрађује их применом горе описаних алгоритама за обраду сигнала.

Комплетна листа параметара и уређаја који се користе за њихово мерење дата је у табели 14.

Табела 14. Листа параметара који се мере ради одређивања квалитета предавања

Име параметра	Уређај који се користи за мерење или снимање	Начин узорковања и/или анализе
Угљен-диоксид	CO_2 сензор	Једна вредност за сваки интервал од 30 секунди
<i>humidex</i>	Сензори за мерење температуре и влажности	Температура се комбинује са влажношћу ваздуха, коришћењем <i>humidex</i> формуле
Стандардна девијација формантне фреквенције	<i>Bluetooth headset</i> повезан на рачунар	Екстрахован из 8kHz аудио секвенце
Стандардна девијација сигурности у формантну фреквенцију	<i>Bluetooth headset</i> повезан на рачунар	Екстрахован из 8kHz аудио секвенце
Средња вредност спектралне ентропије	<i>Bluetooth headset</i> повезан на рачунар	Екстрахован из 8kHz аудио секвенце
Стандардна девијација спектралне ентропије	<i>Bluetooth headset</i> повезан на рачунар	Екстрахован из 8kHz аудио секвенце
Средња вредност енергије у фрејму	<i>Bluetooth headset</i> повезан на рачунар	Екстрахован из 8kHz аудио секвенце
Интензитет покрета предавачеве руке	Паметни телефон у који је уграђен трогоордиатни акцелерометар	Екстрахован из вредности добијених мерењем трогоордиатног акцелерометра који је снимао на 30 Hz

Трогоордиатни акцелерометар је уграђен у *Android* паметни телефон и региструје вредности све три координате. *Android* се налази у руци предавача јер је рука јако битна приликом изражавања невербалног понашања. Она представља један од најфлуентнијих и најартикулисанијих делова тела – способна је да исказе огроман број значења [300]. Ранија истраживања у акцелерометрији показују да би трогоордиатни сигнал акцелерометра требало узорковати са учесталошћу од бар 30

Hz како би био у стању да ухвати човекове покрете [163], па је и у овом систему коришћена учесталост узорковања од $30 Hz$. Сакупљене регистроване вредности се на сваких 30 секунди шаљу на рачунар где се рачуна интензитет померања руке предавача.

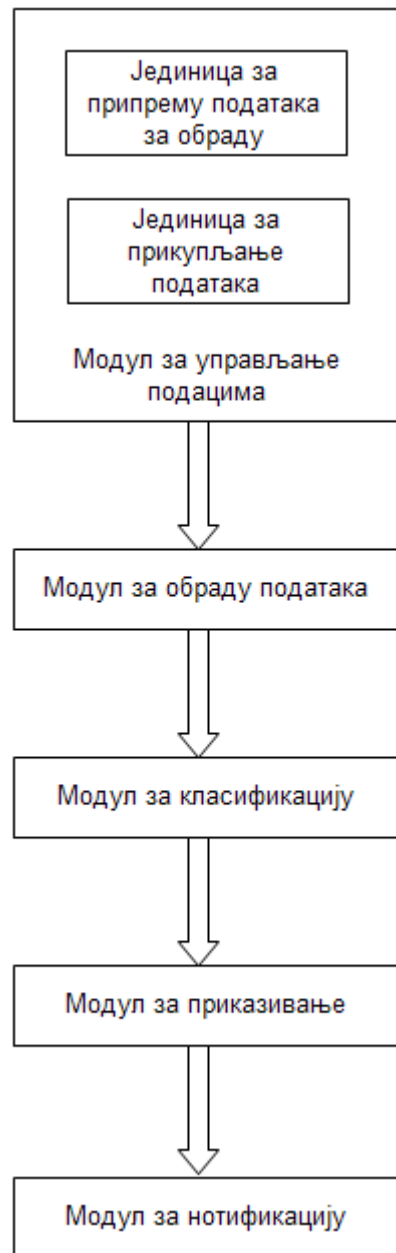
Када се прикупе све вредности за дати временски сегмент и кад се добију све вредности које представљају улазне величине класификатора, врши се класификација коришењем *Random forest* алгоритма који се у овом случају показао као најтачнији од тестираних класификатора. Задатак класификације је да одговори да ли су студенти на датом сегменту предавања задовољни његовим квалитетом или не.

6.2. Архитектура предложеног система за праћење квалитета предавања

Архитектуру система за праћење квалитета предавања чине следеће компоненте:

- Модул за управљање подацима (енгл. *Data Management Module*) који има два саставна дела:
 - Јединица за прикупљање података (енгл. *Data Collection Unit*)
 - Јединица за припрему података за обраду (енгл. *Data Preprocessing Unit*)
- Модул за обраду података (енгл. *Data Processing Module*)
- Модул за класификацију (енгл. *Data Classification Module*)
- Модул за приказивање (енгл. *Data Presentation Module*)
- Модул за нотификације (енгл. *Notification Module*)

Слика саставних компоненти система приказана је на слици 9.



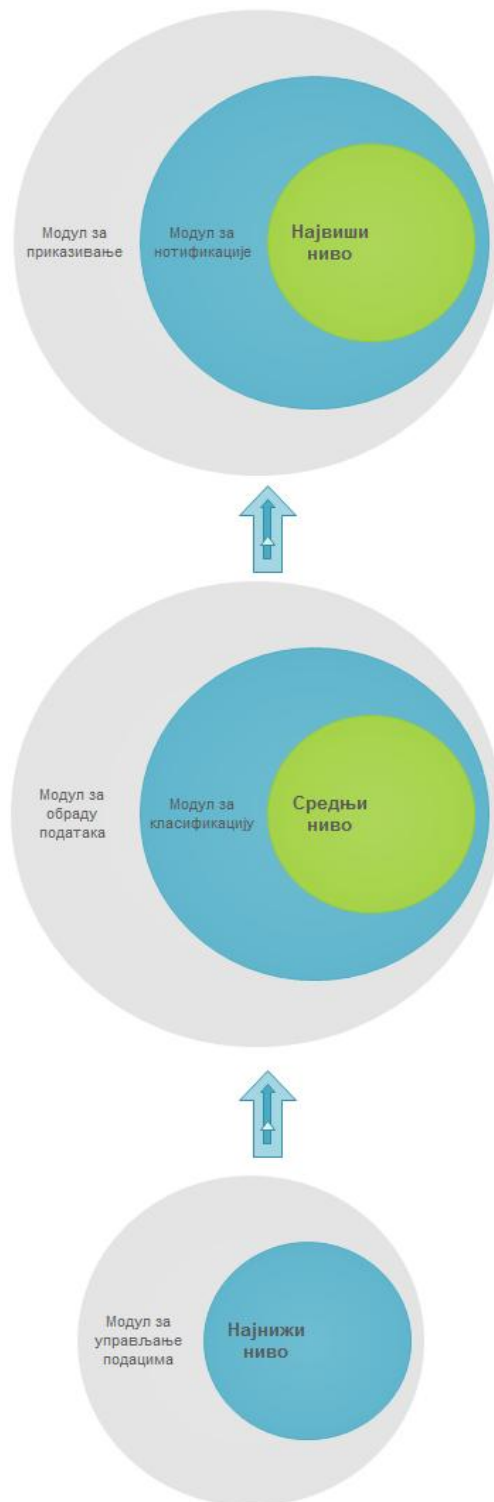
Слика 9. Саставне компоненте система

У захтевима који се тичу архитектуре система стоји да се цео систем састоји од три нивоа – најнижег нивоа на коме се налазе сензори и разни помоћни уређаји, средњег нивоа где се скупљају, обрађују и анализирају подаци, и највишег нивоа где се подаци приказују. У случају овог предложеног система, најнижи ниво се састоји од модула за управљање подацима, средњи ниво се састоји од модула за обраду

података и модула за класификацију, а највиши ниво је растављен на модул за приказивање и модул за нотификације.

Највећи део система је развијен у *Matlab*-у [164]. Уређаји описани у претходном поглављу служе да прикупе податке и да их пошаљу на сервер где се налази модул за управљање подацима који се састоји од јединице за прикупљање података и јединице за припрему података за обраду. Задатак јединице за прикупљање података је да прикупи изворне податке који ће се касније процесирати помоћу јединице за припрему података за обраду. Њен задатак је да, коришћењем вредности температуре и влажности ваздуха, израчуна *humidex* и да конвертује аудио сигнал у формат погодан за екстракцију гласовних карактеристика. Модул за обраду података је задужен да израчуна број пресека које прави крива која представља дужину трокоординатног вектора са експериментално одређеним прагом, као и да екстрахује гласовне карактеристике. Процесирани подаци се потом шаљу у модул за класификацију у који је имплементиран *Random forest* алгоритам. Његов задатак је да на основу улазних вредности да одговор да ли су студенти у датом тренутку задовољни квалитетом предавања или не. Одговор се потом шаље на *ThingSpeak* платформу [258] где се цртају различити дијаграми. Ове дијаграме може да користи предавач, који из њих може добити информацију да ли су студенти задовољни предавањем. Задатак презентационог модула је да графички прикаже задовољство студената квалитетом предавања. Графику могу приступити и студенти и предавачи. Предавачима је ова информација корисна јер могу да прате да ли су студенти задовољни лекцијом, док студенти могу користити ту информацију како би поредили квалитет предавања која се одвијају паралелно и како би донели одлуку које предавање да слушају. Поред графова који су представљени коришћењем *ThingSpeak* платформе, далеко информативнији и детаљнији графови се добијају коришћењем *Matlab* окружења.

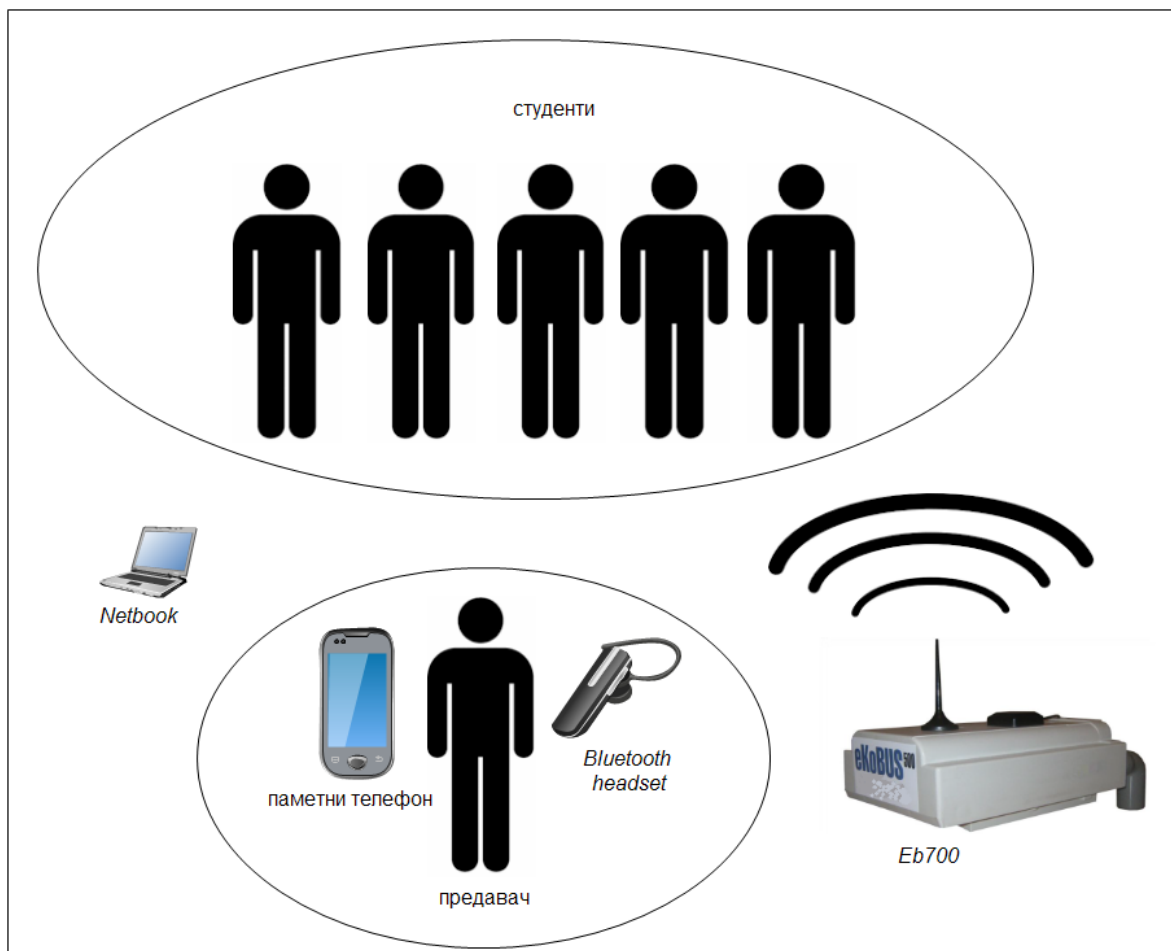
Архитектура система и нивои којима припадају су приказани на слици 10.



Слика 10. Архитектура система и нивои

Модул за нотификацију има задатак да шаље различите нотификације на *Twitter* [264] налог, чији је главни циљ да обавести студенте о квалитету текућег предавања.

Архитектура система приказана је на слици 11.



Слика 11. Архитектура система

6.3. Имплементација система за праћење квалитета предавања

У овој поставци система *Bluetooth headset* је прикључен на рачунар. На самом почетку је неопходно извршити синхронизацију времена на рачунару на који је повезан *Bluetooth headset* и времена на мобилном уређају.

6.3.1. Модул за управљање подацима

Модул за управљање подацима састоји се од две јединице: јединице за прикупљање података и јединице за припрему података за обраду.

6.3.1.1. Јединица за прикупљање података

Задатак ове јединице је да прикупи изворне податке послате са *Eb700* уређаја, односно путем *Android* телефона.

Измерене вредности се шаљу са *Eb700* уређаја на сервер. У случају да из неког разлога не постоје мерења за дати сегмент, узимају се мерења за последњи послати сегмент. С обзиром да се ове вредности не мењају често, овако добијене вредности су прилично тачне.

Паметни телефон који се налази на предавачевој руци детектује вредности треоординатног акцелерометра и сваких 30 секунди шаље податке за претходно измерени сегмент. Чува се информација о времену почетка сегмента а саме вредности у *csv* (енгл. *Comma Separated Value*) формату. Учесталост узорковања вредности добијених акцелерометром је 30 *Hz*. Приказ *csv* фајла дат је у прилогу.

6.3.1.2. Јединица за припрему података за обраду

Задатак јединице за припрему података за обраду је да уради иницијалну обраду прикупљених података и да их припреми за накнадну анализу.

Јединица за припрему података за обраду има следеће задатке:

- рачуна *humidex* коришћењем вредности температуре и влажности ваздуха;
- конвертује аудио сигнал у формат погодан за екстракцију гласовних карактеристика.

Звук се снима на фреквенцији од 8*kHz*, а сваки сегмент од 30 секунди се одваја и чува у радном окружењу *Matlab*-а. Формат фреквенције је одабран из разлога што

алгоритам за екстракцију звуковних карактеристика захтева дигитални запис у овој фреквенцији. Неопходно је да сигнал буде стерео, па се од првог канала направи копија која представља други канал чиме се добија стерео звук. Одговарајући код који то ради је написан у *Matlab*-у а дат је у прилогу.

6.3.2. Модул за обраду података

Анализа сигнала обавља се у *Matlab*-у за деонице од 30 секунди, због чега постоји реално кашњење резултата у истом интервалу, али нема додатних кашњења јер се процесирање претходног сегмента обавља док се наредна деоница снима. Слој за обраду и анализу сигнала је имплементиран у *Matlab*-у и користи другу инстанцу *Matlab*-а која у радном простору има сачуване узорке звука у деоницама од 30 секунди које су спремне за обраду. С обзиром да не постоји додатно кашњење, и захтев који се односи на перформансе система је испуњен.

Модул за обраду података задужен је и да израчуна број пресека који прави крива која представља дужину трокоординатног вектора са експериментално одређеним прагом, као и да екстрахује гласовне карактеристике.

Модул за обраду података има следеће задатке:

- Рачуна дужину вектора, а потом рачуна број пресека који прави крива која представља дужину вектора прави са неким предефинисаним прагом који представља интензитет предавачевих покрета;
- Покреће процес екстракције параметара за снимљени интервал, при чему се добијају карактеристике звука које се користе у анализи.

6.3.3. Модул за класификацију

Процесирани подаци се шаљу у модул за класификацију у коме је имплементиран *Random forest* алгоритам. Његов задатак је да на основу улазних вредности да

одговор да ли су студенти у датом тренутку задовољни квалитетом предавања или не.

Улаз у модул за класификацију су сви параметри који су припремљени у модулу за обраду података. У овај модул је уграђен *Random forest* класификатор и учитан је модел који представља истренирани *dataset*. На основу улазних вредности и истренираног модела, као резултат се добија одговор о томе колико су студенти задовољни квалитетом предавања у виду нула и јединица, при чему је могуће добити и вероватноћу којом се то тврди. Јединица значи да су студенти задовољни квалитетом предавања, а нула да нису. Коришћен је *Weka*-ин *Random forest* класификатор који се позива из *Matlab* окружења. *Matlab* код у коме се позива класификатор дат је у прилогу.

6.3.4. Модул за презентацију

6.3.4.1. Екстерни интерфејс за складиштење и презентацију

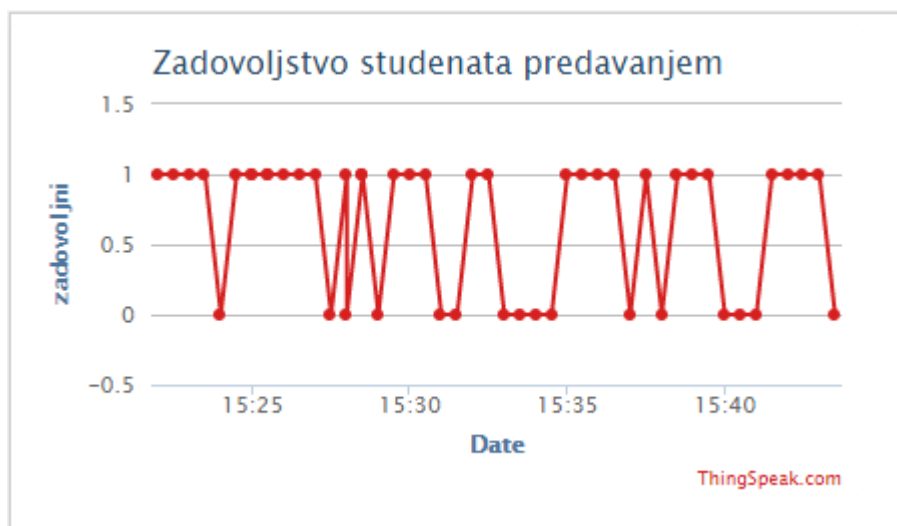
Као екстерни интерфејс за складиштење и презентацију користи се *ThingSpeak* платформа [258] помоћу које је омогућен приступ мерењима трећој страни. Свака учионица може бити представљена као један канал, па се ти подаци могу преузимати и користити за даљу анализу и дељење. Пошто се на платформи чувају сви подаци, није неопходно користити базу података.

ThingSpeak платформа је *cloud* платформа за Интернет интелигентних уређаја која омогућује складиштење података, њихово процесирање и визуелизацију у реалном времену коришћењем *HTTP* протокола. Различите функционалности су обезбеђене употребом *API*-ја.

Подаци се чувају у различитим каналима који могу бити приватни или јавни. Канал омогућује осам поља за податке, информацију о локацији и о измени статуса. Сваки улаз се чува заједно са датумом и временском ознаком и додељен му је јединствен *entry_id* помоћу кога му је могуће приступити. Подржани формати у оквиру

платформе су: *JSON* (енгл. *JavaScript Object Notation*), *XML* (енгл. *Extensible Markup Language*) и *CSV*.

Информација о квалитету предавања се шаље на *ThingSpeak* платформу где се цртају различити дијаграми. Ове дијаграме може користити предавач, који из њих може добити информацију да ли су студенти задовољни предавањем. Задатак презентационог модула је да графички прикаже задовољство студента квалитетом предавања (слика 12). Графику могу приступити и студенти и предавачи. Предавачима је ова информација корисна јер могу да прате да ли су студенти задовољни лекцијом, док студенти могу користити ту информацију како би поредили квалитет предавања која се одвијају паралелно и како би донели одлуку које предавање да слушају.



Слика 12. График који представља да ли су студенти задовољни предавањем генерисан коришћењем *ThingSpeak* платформе

6.3.4.2. Локални презентациони интерфејс

Поред презентације која се обавља помоћу екстерне *ThingSpeak* платформе, презентација података се обавља и помоћу локалног интерфејса у *Matlab*-у. Преко локалног интерфејса предавач може да прати задовољство студената и вредности

параметара, док екстерни може користити за приступ других платформи, учионица, студената, итд.

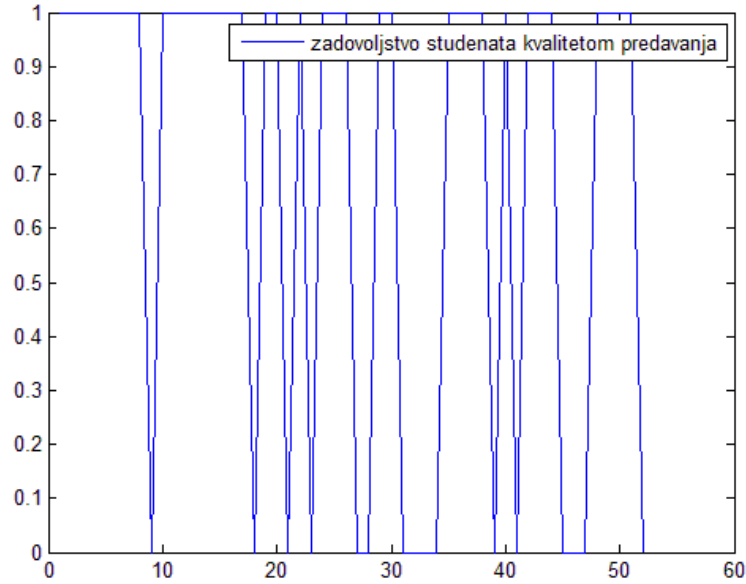
Поред графова који су представљени коришћењем *ThingSpeak* платформе, далеко информативнији и детаљнији графови се добијају коришћењем *Matlab* окружења. Вредности свих релевантних звуковних карактеристика, параметри из физичког окружења, као и информација о интензитету покретања предавачеве руке представљени су коришћењем *Matlab* презентационог интерфејса. Сваки од наведених дијаграма се мења у реалном времену, приказујући релевантне резултате.

Екстраховани параметри, као и крајњи резултат класификације, приказују се помоћу следећих дијаграма:

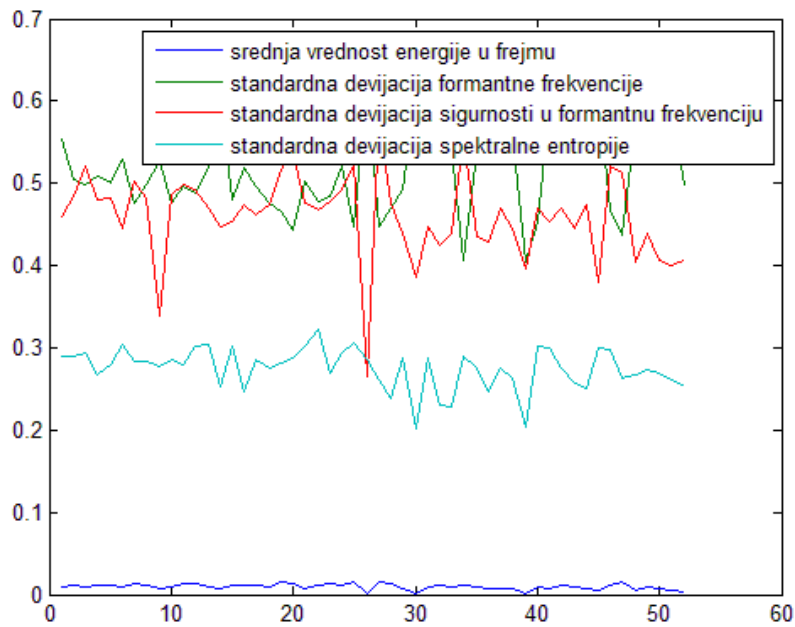
- Дијаграм задовољства студената квалитетом предавања у датом тренутку;
- Дијаграм укупног задовољства студената квалитетом предавања од његовог почетка;
- Дијаграм са релевантним карактеристикама екстрахованим из звука;
- Дијаграм релевантних параметара из физичког окружења;
- Дијаграм који показује интензитет којим предавач покреће руку.

Овако реализована презентација података је и отворена и информативна за све учеснике у процесу учења, па као таква испуњава претходно дефинисан захтев система у вези са презентацијом података.

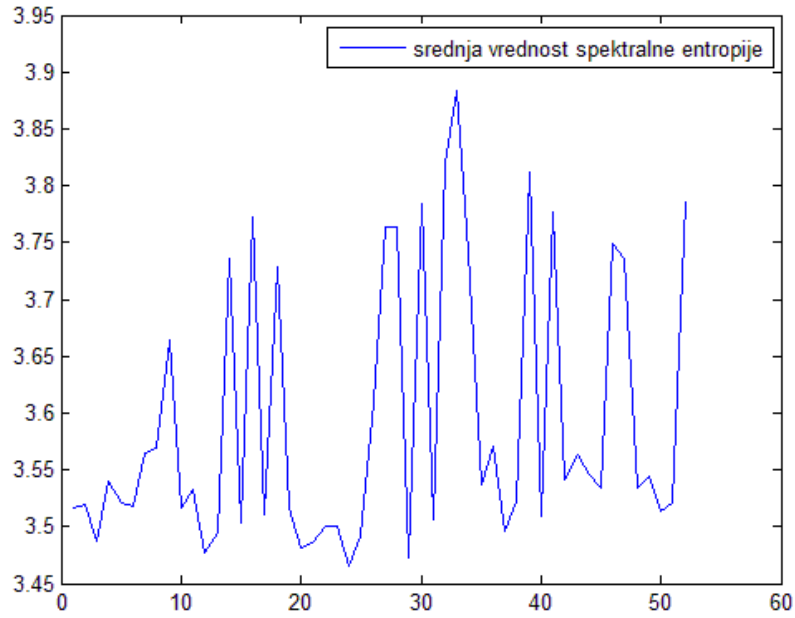
На сликама 13, 14, 15, 16, 17 и 18 је дат приказ локалног презентационог интерфејса.



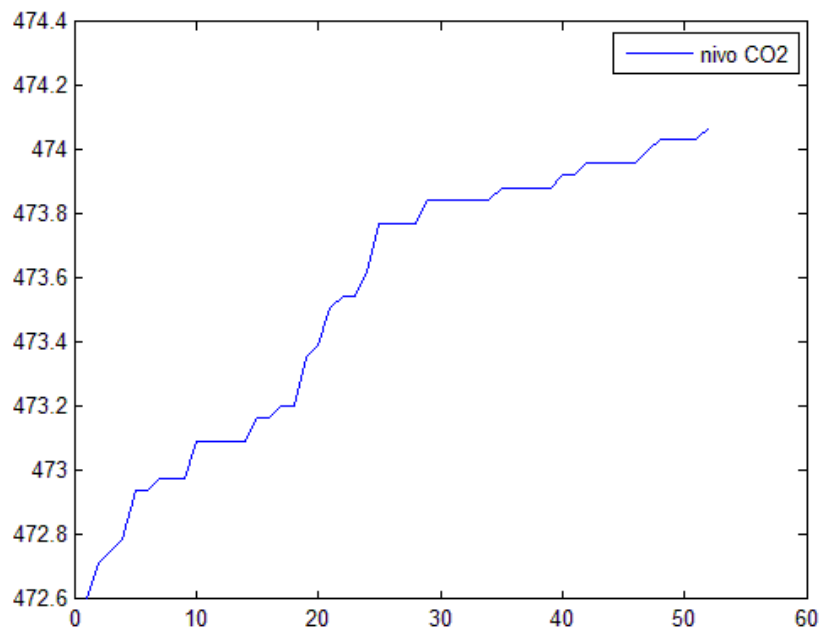
Слика 13. Локални презентациони интерфејс – задовољство студената предавањем



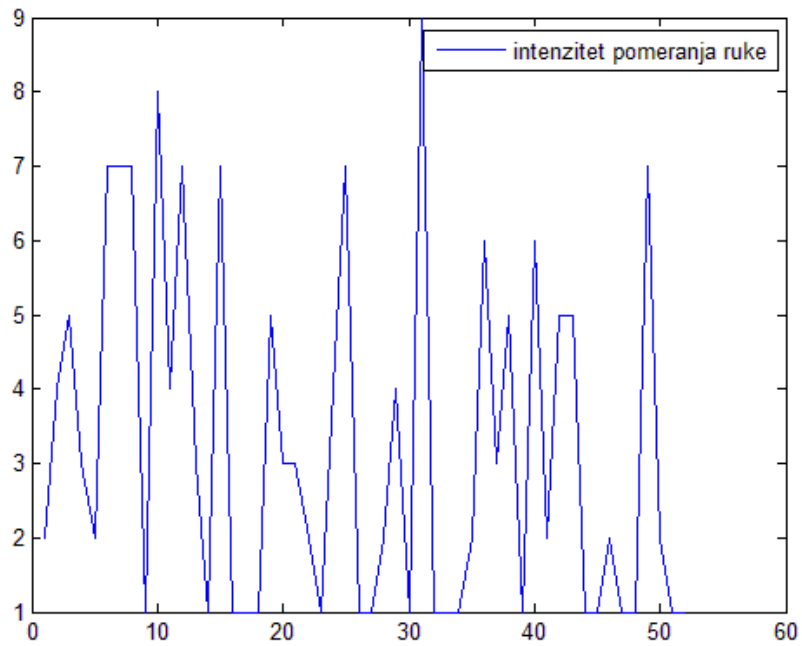
Слика 14. Локални презентациони интерфејс - екстраховане гласовне карактеристике



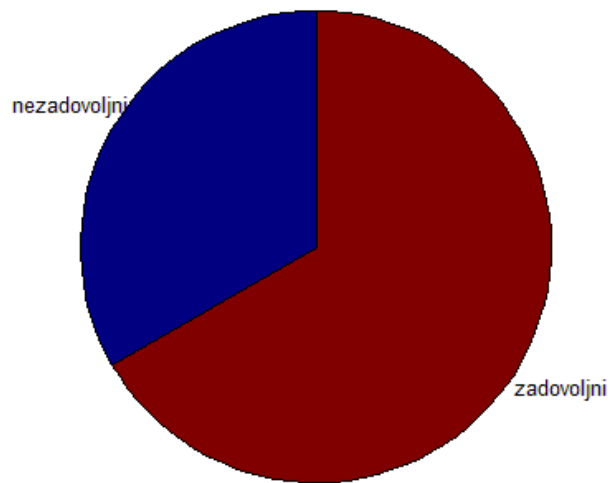
Слика 15. Локални презентациони интерфејс - средња вредност спектралне ентропије



Слика 16. Локални презентациони интерфејс – ниво угљен-диоксида



Слика 17. Локални презентациони интерфејс – интензитет померања руке



Слика 18. Локални презентациони интерфејс – проценат времена када су студенти били задовољни и незадовољни квалитетом предавања

6.3.5. Модул за нотификације

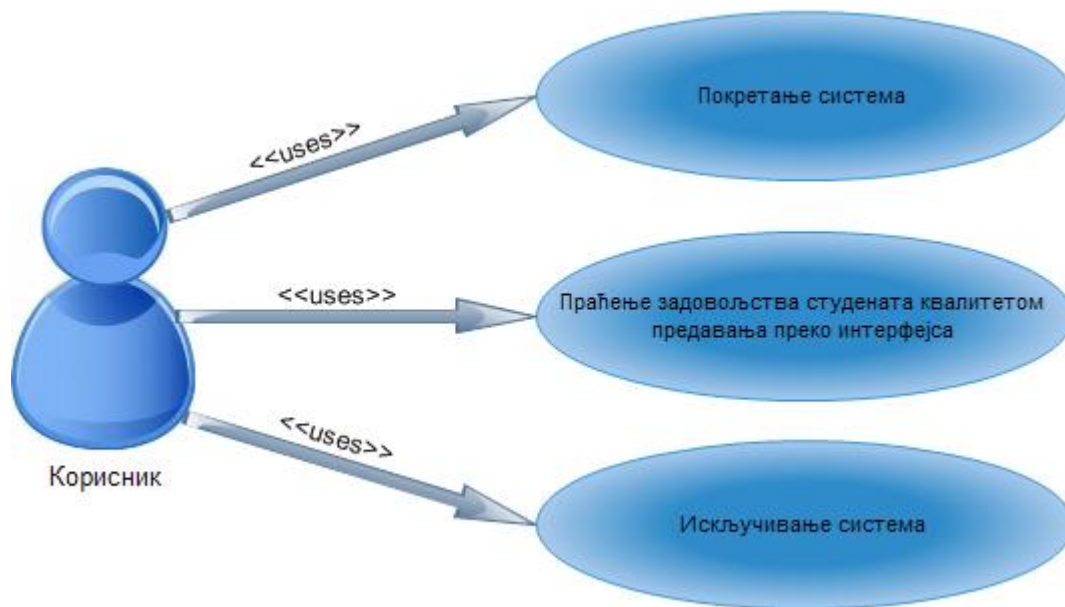
ThingSpeak платформа има могућност да се помоћу *API*-ја повеже са *Twitter* налогом. Користећи ову функционалност, реализовано је слање прилагођених обавештења и порука које могу бити информативне првенствено студентима. Нотификације се шаљу у тренутку када *ThingSpeak feed* буде неко време активан, што представља да је предавање у некој учионици у току, као и када престане активност, тј. заврши се предавање.

На овај начин је омогућено студентима да, у случају паралелних предавања, користећи аутоматски генерисане *Twitter* поруке, могу да одлуче да ли ће пратити неко предавање или не.

6.4. Дијаграм случајева коришћења

Дијаграм случајева коришћења приказује скуп случајева коришћења и актера и примењује се како би се спецификовале функционалности пројектованог система.

Дијаграм случајева коришћења система за праћење параметара физичког окружења применом Интернета интелигентних уређаја с циљем анализе њиховог утицаја на квалитет предавања приказан је на слици 19.



Слика 19. Дијаграм случајева коришћења система

СК1: Случај коришћења – покретање система

Назив: Покретање система

Сврха: Служи за покретање система за праћење параметара физичког окружења применом Интернета интелигентних уређаја, с циљем анализе њиховог утицаја на квалитет предавања

Актери: Корисник

Учесници: Корисник и систем

Основни сценарио:

1. Корисник из *Matlab* терминала покреће систем
2. Систем приказује поруку да је систем покренут и да је започета екстракција параметара

Алтернативни сценарио:

1. Уколико систем не може да се покрене, добија се порука о грешци

СК2: Случај коришћења – праћење задовољства студената квалитетом предавања преко интерфејса

Назив: Праћење задовољства студената квалитетом предавања преко интерфејса

Сврха: Служи за утврђивање задовољства студената квалитетом предавања преко интерфејса у реалном времену

Актери: Корисник

Основни сценарио:

1. Корисник из *Matlab* терминала покрене систем
2. Систем приказује резултате екстракције

Алтернативни сценарио:

1. Уколико дође до проблема – не може да екстрахује податке, или не може да их пошаље даље – јавља поруку о грешци

СК3: Случај коришћења – искључивање система

Назив: Искључивање система

Сврха: Служи за искључивање система за праћење задовољства студената квалитетом предавања

Актери: Корисник

Учесници: Корисник и систем

Основни сценарио:

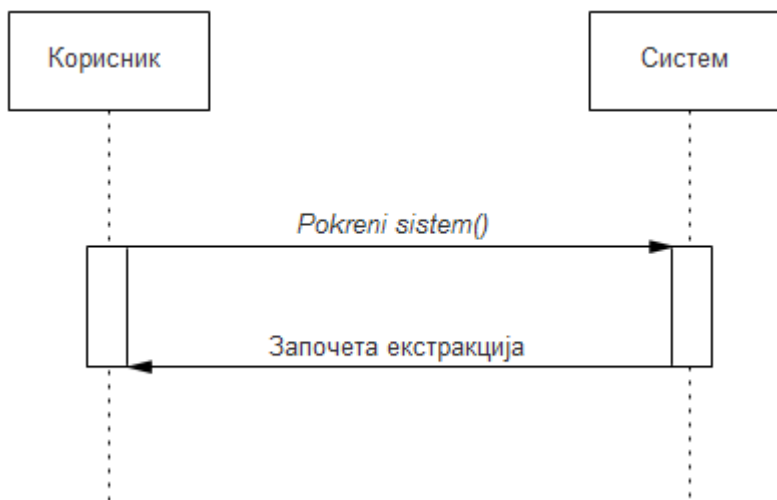
1. Корисник зауставља рад система

6.5. Системски дијаграм секвенци

ДС1: Дијаграми секвенци случаја коришћења – покретање система

Основни сценарио:

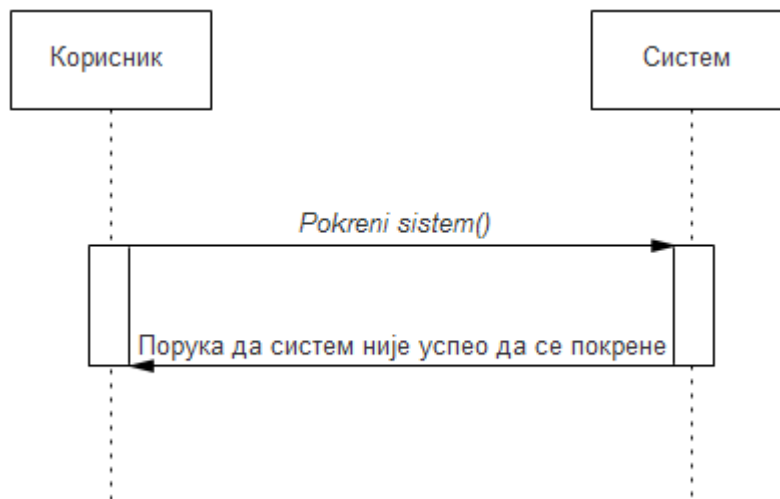
1. Корисник из *Matlab* терминала покреће систем уношењем команди: *start_measurements*
2. Систем враћа поруку да је систем покренут и да је започета екстракција параметара



Слика 20. Дијаграм секвенци случаја коришћења – покретање система

Алтернативни сценарио:

1. Уколико систем не може да се покрене, добија се порука о грешци

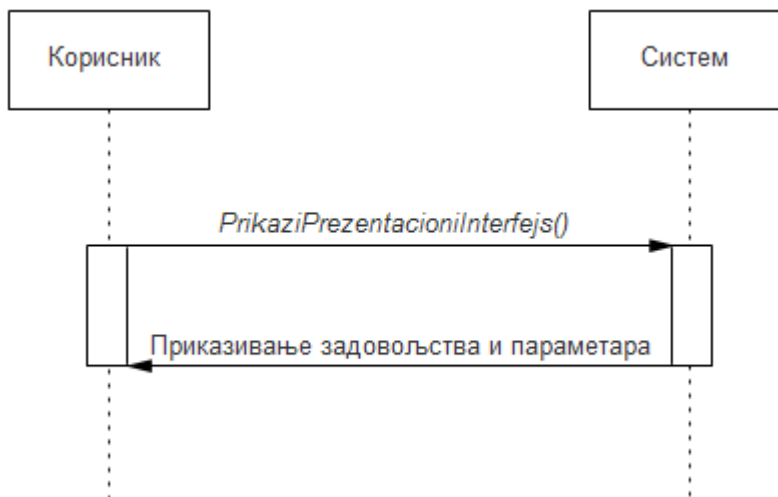


Слика 21. Дијаграм секвенци случаја коришћења – алтернативни сценарио за покретање система

ДС2: Дијаграми секвенци случаја коришћења – праћење задовољства студената квалитетом предавања преко интерфејса

Основни сценарио:

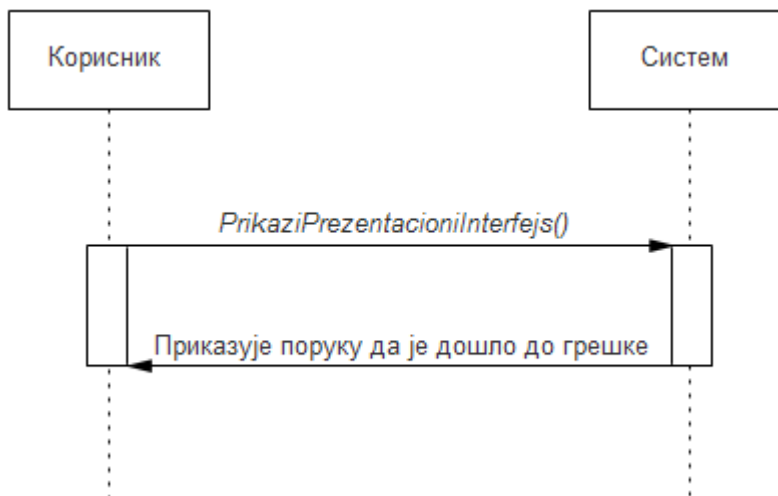
1. Корисник отвара прозор са презентационим интерфејсом
2. Систем преко графичких дијаграма приказује тренутно задовољство студената квалитетом предавања, укупно задовољство студената квалитетом предавања и вредност екстракованих параметара по сегментима.



Слика 22. Дијаграм секвенци случаја коришћења – праћење задовољства студената преко интерфејса

Алтернативни сценарио:

1. Уколико дође до проблема – не може да екстрахује податке, или не може да пошаље – јавља поруку о грешци

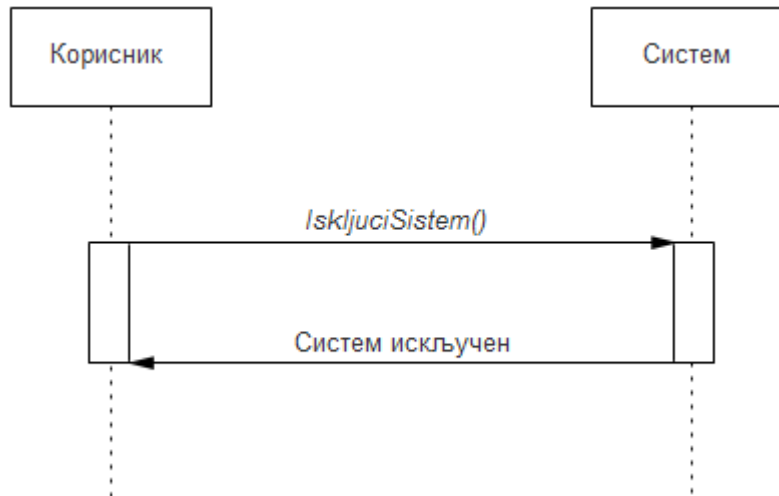


Слика 23. Дијаграм секвенци случаја коришћења – алтернативни сценарио за праћење задовољства студената преко интерфејса

ДС3: Дијаграми секвенци случаја коришћења – искључивање система

Основни сценарио:

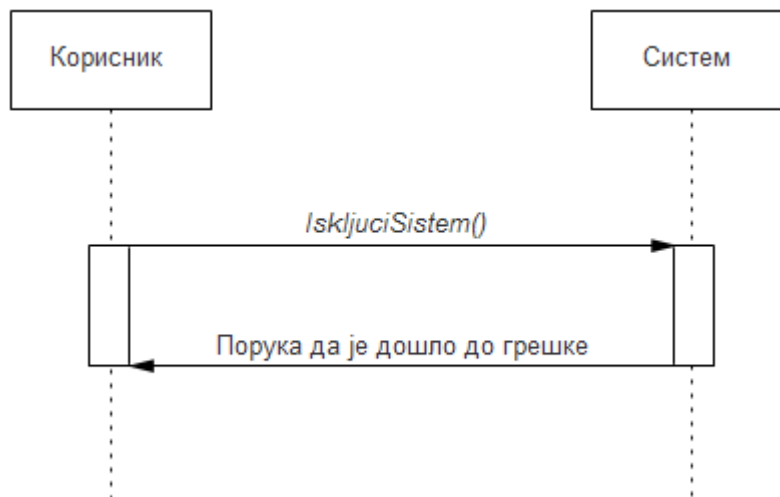
1. Корисник искључује систем за праћење задовољства студената квалитетом предавања из *Matlab* терминала уношењем команде *stop*



Слика 24. Дијаграм секвенци случаја коришћења – искључивање система

Алтернативни сценарио:

1. Уколико је систем заузет екстракцијом параметара, прво ће она бити завршена а потом ће систем престати са радом



Слика 25. Дијаграм секвенци случаја коришћења – алтернативни сценарио за искључивање система

6.6. Евалуација система

За потребе евалуације снимљено је 13 додатних предавања и коришћена су за евалуацију тренираног класификатора у условима који су на неки начин различити од оних који су били у процесу учења. Упоредени су излазни системи са повратним подацима добијеним од студената. Систем је тестиран на четири различите групе студената. Студенти који су учествовали у прављењу скупа података за тренирање нису учествовали у процесу евалуације. Циљ је био да се тестира систем у различитим условима који се односе на различит број студената, различитог предавача, другу локацију, димензије учионице.

Четири различите групе студената су учествовале у процесу евалуације и добијена су четири различита *dataset*-а, при чему су примењена иста правила која су коришћена приликом прављења *dataset*-а за тренирање, тј. у обзир су узимани само они сегменти где је најмање 90% студената гласало истоветно. Ова метода је коришћена јер постоје сегменти на којима је мали број студената гласао. Да би добијени резултати били статистички значајни, коришћено је десет итерација. Карактеристике добијених *dataset*-ова приказане су у табелама 15 и 16.

Табела 15. Карактеристике *dataset*-ова коришћене у евалуацији; 3 инстанца – сегмент на којем су студенти задовољни квалитетом; НЗ инстанца – сегмент где студенти нису задовољни квалитетом предавања

Број датасета	Број 3 инстанци	Број НЗ инстанци	Укупан број инстанци
1	36 (69.23%)	16(30.77%)	52
2	49 (73.13%)	18 (26.87%)	67
3	48 (77.42%)	14 (22.58%)	62
4	26 (63.41%)	15 (36.59%)	41
Σ	159 (71.62%)	63 (28.38%)	222

Табела 16. Карактеристике *dataset*-ова коришћене у евалуацији; 3 инстанца – сегмент на којем су студенти задовољни квалитетом; НЗ инстанца – сегмент где студенти нису задовољни квалитетом предавања

Број датасета	Предавач	Учионица	Број студената у групи
1	Није претходно сниман	Различитих димензија	Сличан
2	Није претходно сниман	Различитих димензија	Сличан
3	Претходно сниман	Истих димензија	Сличан
4	Није претходно сниман	Истих димензија	Већи

Резултати показују да систем постиже најбоље резултате када се снима предавање у сличном окружењу са мањом групом студената, где је предавач већ сниман приликом прављења *dataset*-а за тренирање, док је систем најосетљивији када је реч о непознатим предавачима где је број студената већи. У зависности од *dataset*-а, тачност система се креће од 70.7% до 83.8%. Тачност система за сваки од *dataset*-ова приказана је табелом 17.

Табела 17. Тачност система за појединачне *dataset*-ове

Број групе	Тачност(%)	TP (З)	FP (З)	Прецизност (З)	TP (НЗ)	FP (НЗ)	Прецизност (НЗ)	Карра
1	78.8462	0.917	0.5	0.805	0.5	0.083	0.5	0.4563
2	77.6119	0.837	0.389	0.854	0.611	0.163	0.579	0.4401
3	83.871	1	0.714	0.828	0.286	0	1	0.3825
4	70.7317	0.538	0	1	1	0.462	0.556	0.4605

6.7. Анализа перформанси класификатора и резултата истраживања

Анализа параметара окружења, као и предавачевих активности, је сложен процес, јер захтева анализу великог броја података, као и разумевање и сједињавање великог броја сродних и мање сродних дисциплина. У овом истраживању, прво је било неопходно истражити науке које се баве социолошким активностима, па та знања применити. Модел у овом истраживању је базиран на алгоритму за машинско учење који има способност да разликује деонице када су студенти задовољни насупрот оних када студенти нису задовољни квалитетом предавања. Извршена је евалуација система на одређеном узорку са циљем да се утврди тачност система у различитим условима. Систем се базира на оценама студената које су прикупљене у реалном времену и које су омогућиле детаљнију анализу нелинеарног система.

Крајњи циљ је развијање система који је у могућности да разликује делове предавања на којима су студенти задовољни и на којима студенти нису задовољни предавањем. Систем је евалуиран и тачност система се, у зависности од групе студената, креће од 70.7% до 83.8%.

Од свих параметара који су мерени у физичком окружењу, показано је да ниво угљен-диоксида и комбинација температуре и влажности ваздуха (*humidex*) утичу на задовољство студента квалитетом предавања. Неки други мерени параметри, укључујући угљен-моноксид, су ирелевантни пошто се њихови нивои нису значајно мењали кроз време. Остало је нејасно да ли би у неким другим условима, где је веће загађење, они имали већу улогу. Иако је глас битан канал за исказивање експресивног понашања [5], а предавач може да утуче на успех студената путем свог експресивног понашања [181], ниједно од претходних истраживања се није бавило идентификовањем оних који имају утицаја на задовољство студената. У овом истраживању су обухваћене 22 различите говорне карактеристике и издвојено је пет

за које је показано да имају утицај на квалитет предавања. Гласовне карактеристике које утичу на квалитет предавања, поређане по значају, су: (1) стандардна девијација формантне фреквенције, (2) стандардна девијација сигурности у формантну фреквенцију, (3) средња вредност спектралне ентропије, (4) стандардна девијација спектралне ентропије и (5) средња вредност енергије у фрејму. Други канал за изражавање експресивног понашања је преко предавачевих покрета, па је - коришћењем трокоординатног екселерометра уграђеног у мобилни телефон који је предавач држао у руци -, мерен интензитет којим предавач покреће руку. Истраживање је показало да овај параметар утиче на квалитет предавања на следећи начин: превише покрета одвраћа студента од учења и смањује му пажњу, док је мањи број стимулативан.

Истраживање приказује евалуацију перформанси десет различитих алгоритама за машинско учење и њихову способност да исправно препознају сегменте који су означени као „задовољни“ и „незадовољни“. Показано је да је *Random forest* класификатор имао најбоље перформансе међу тестираним (93.25%). Анотација података за две групе сегмената заснована је на гласовима који су добијени од студената у реалном времену, што значајно одступа од других истраживања која се углавном заснивају на анкетама које прикупљају податке након одржаног предавања.

Коришћени су уређаји који су били доступни, али је могуће користити и неке друге комбинације. Уместо *Eb700* плоче, може се користити *Raspberry Pi* [221] који је могуће опремити неопходним сензорима, или користити *Galileo* плочу [127]. И један и други су лако доступни.

7. Научни доприноси

Најзначајнији допринос ове дисертације састоји се у развоју и имплементацији паметне учионице чији је задатак да дође до информације да ли су студенти у датом тренутку задовољни квалитетом предавања или не, а која може бити искоришћена од стране предавача с циљем да прилагоди предавање очекивањима студената. Систем би могао да се користи самостално, али и као део неког сложенијег система. Примарна примена система је у процесу едукације, али није на њега ограничена, јер се достигнућа у овом раду могу искористити и применити и у другим областима, окружењима где је неопходно испитати неку карактеристику у социјалним контактима.

Остали значајни доприноси рада огледају се у:

- систематизацији, класификацији и анализи постојећих модела и система паметних учионица, с посебним освртом на оне које се заснивају на *IoT* концепту;
- систематизацији и анализи параметара физичког окружења који могу да имају утицај на когнитивне способности студената;
- прегледу достигнућа у области проучавања образаца понашања, као и прегледу достигнућа у области проучавања човекових активности на које се овај рад ослања;
- евалуацији параметара коришћењем различитих статистичких метода и финалној селекцији параметара који се могу користити за одређивање квалитета предавања која омогућава ефикасно препознавање квалитета предавања;

- анализи гласовних карактеристика које имају битан утицај на задовољство студената квалитетом предавања;
- евалуацији различитих метода машинског учења за препознавање квалитета предавања која се огледа у евалуацији перформанси десет често коришћених алгоритама за класификацију.

С обзиром на мултидисциплинарност предмета истраживања, било је неопходно проучити и систематизовати велики број радова различите тематике који са предметом истраживања имају додирних тачака. Иако постоји велики број имплементираних паметних учионица, због тога што је *IoT* концепт релативно нов, нема пуно имплементација које се базирају на *IoT* концепту, па не постоји рад који обрађује ову тематику из истог угла, што материји изложеној у дисертацији даје посебну вредност.

Најважнији резултат истраживања у оквиру ове докторске дисертације је развој и имплементација паметне учионице чији је задатак да, на основу прикупљених података и њихове анализе у готово реалном времену, у сваком тренутку одговори да ли су студенти задовољни квалитетом предавања или не, како би предавач користио ту информацију и прилагодио своје предавање очекивањима студената. Примена предложеног система олакшава усвајање знања студената и повећава ефикасност учења. Приликом прављења овог система коришћен је *IoT* концепт и *cloud computing* окружење.

Резултати истраживања реализованих у оквиру ове докторске дисертације објављени су у више радова у часописима и саопштени на научним скуповима, и то:

Рад прихваћен за објављивање у часопису међународног значаја на SCI листи:

- Ana Uzelac, Nenad Gligoric, Srdjan Krco, „A comprehensive study of parameters in physical environment that impact students’ focus during lecture using Internet of

Things”, Computers in Human Behavior, ISSN 0747-5632, 2015, IF(2014)=2.694, DOI: 10.1016/j.chb.2015.07.023, vol. 53, pp. 427-434, 2015.

Радови саопштени на скупу међународног значаја штампани у целини:

- Nenad Gligorić, Ana Uzelac, Srđan Krčo, „Smart Classroom: Real-Time Feedback on Lecture Quality”, Work-in-Progress Session, PerCom, Lugano 2012.
- Ana Uzelac, Snežana Mladenović, Dragan Zoranović, Stefan Zdravković, Slađana Janković, „Determining Students Satisfaction with a Lecture Using Machine Learning Methods“, Synthesis, Belgrade, pp. 129-133, 2015.

Радови саопштени на скупу националног значаја штампани у целини:

- Nenad Gligorić, Srđan Krčo, Ana Uzelac, „Model for the Classroom Activity Pattern Classification using *IoT*”, YUINFO, Kopaonik, 2012.
- Nenad Gligorić, Srđan Krčo, Ana Uzelac, „Smart Classrooms: Survey and Development Directions”, Konferencija o računarskim naukama i informacionim tehnologijama YUINFO, Kopaonik, 2011.

8. Будућа истраживања

Истраживање које је спроведено у оквиру ове тезе започело је проучавањем постојећих паметних учионица, без обзира да ли су засноване на *IoT* концепту или не. Пошто је *IoT* релативно нов концепт, број паметних учионица где је примењен није велики, али се види тенденција да се овај концепт све више користи у разним областима, па и у овој, и чини се да ће *IoT* тек у наредном периоду достићи већу популарност.

Постоје два аспекта овог система која могу бити унапређена. Један се односи на тачност система, док се други односи на његову функционалност. Тачност система је у позитивној корелацији са величином и квалитетом скупа података за тренирање. Тачност система варира од 70.73% у условима који су му потпуно непознати, до 83.8% када има мање непознатих. Проширење скупа података за тренирање, и то оним вредностима које би биле снимљене у различитим условима, водило би бољем разврставању у класе за шири скуп података, па би то допринело већој тачности система. Други начин повећања тачности је у усавршавању алгоритама којима се обрађују сирови подаци, где се првенствено мисли на алгоритам којим се мери интензитет којим предавач помера руку. Алгоритам би могао бити унапређен тако да, поред мерења интензитета којим предавач помера руку, мери и гестове које предавач изводи руком а који би могли да утичу на квалитет предавања.

Друга унапређења система се односе на имплементирање општијег система који би имао могућност да генерише корисне сугестије предавачу које се односе на измену његовог стила презентације до аутоматске оптимизације простора за учење. Нови систем би био у могућности да, применом корективних мера, унапреди паметну учионицу. Корективне мере би се огледале у детекцији параметара који би могли бити модификовани и начина на који би то требало урадити.

9. Закључак

Предмет проучавања ове докторске тезе је испитивање могућности одређивања квалитета предавања испитивањем параметара физичког окружења, као и понашања предавача. Представљен је концепт *IoT*-а и паметних учионица, дефинисан појам квалитета предавања и дискутовани начини мерења квалитета предавања. Анализирани су параметри физичке средине који могу утицати на квалитет предавања. Приказана су релевантна истраживања која имају додирних елемената са предметом проучавања, а посебна пажња је посвећена истраживањима која се баве невербалним понашањем и језичком вокализацијом.

У оквиру дисертације су постављени и захтеви које систем који одређује квалитет предавања треба да задовољава, а односе се на прикупљање и складиштење података, на његову архитектуру и евалуацију.

Од свих посматраних параметара физичког окружења и екстрахованих гласовних карактеристика, коришћењем статистичких метода, изабране су оне које су битне за квалитет предавања. Посебна пажња је посвећена анализи екстрахованих гласовних карактеристика које су добијене из предавачевог гласа, а обрађени су и параметри чијим се праћењем може добити информација о интензитету којим предавач помера руку.

Узимајући у обзир дефинисане захтеве, дизајниран је и имплементиран систем паметне учионице која анализом параметара физичке средине може да одговори да ли су у датом тренутку студенти задовољни квалитетом предавања или не. На скупу података за тренирање, уграђени класификатор је показао тачност од 93.2% при одређивању задовољства студената квалитетом предавања. Систем има могућност да континуирано у реалном времену одређује да ли су студенти задовољни квалитетом предавања. Истраживање је показало да комбинација температуре и влажности ваздуха у учионици, ниво угљен-диоксида, неколико карактеристика екстрахованих

из гласа предавача (стандардна девијација формантне фреквенције, стандардна девијација сигурности у формантну фреквенцију, средња вредност спектралне ентропије, стандардна девијација спектралне ентропије и средња вредност енергије у фрејму), заједно са интензитетом којим предавач помера руку, могу бити коришћени да би се одредило задовољство студената квалитетом предавања.

На основу резултата до којих се дошло током експерименталне анализе предложеног решења, извршена је евалуација система за време предавања којима је присуствовао другачији број студената и која су се одржавала у учионицама различитих димензија од окружења у којем је трениран класификатор. Евалуација система је показала тачност која се креће од 70.7% до 83.8%, а настала као резултат упоређивања оцена студената који су у реалном времену оцењивали предавање користећи апликацију и мерења које је показао имплементирани систем. Утврђено је да је тачност система мања (70.7%) када се систем користи у условима који се доста разликују од оних у којима је систем трениран, док тачност система расте када се евалуација врши у условима који су сличнији тренираним (83.8%).

Крајњи резултат примене овог система је информација о квалитету предавања коју предавач добија у готово реалном времену и може користити као увид у степен задовољства студената, што му омогућује да модификује своје предавање како би задовољство студената остало на високом нивоу. Пошто су уређаји коришћени у систему лако доступни, велики број универзитета би могао да их приушти и користи како би унапредио квалитет предавања у својој институцији.

10. Литература

- [1] Abowd, G. D., *Classroom 2000: an experiment with the instrumentation of a living educational Environment*, IBM Systems Journal, 38(4), pp. 508–530, 1999.
- [2] Ahmad, M., Lee S. W., *Human action recognition using shape and CLG-motion flow from multi-view image sequences*, Pattern Recognition, 41(7), pp. 2237–2252, 2008.
- [3] Ahmed, I., Navaz, M. M., Ahmad, Z., Ahmad, Z., Shaukat, M. Z., Usman, A., Wasim-ul-Rehman, Ahmed, N., *Does service quality affect students' performance? Evidence from institutes of higher learning*, African Journal of Business Management 4(12), pp. 2527-2533, 2010.
- [4] Ajmera, J., McCowan, I., Bourlard H., *Speech/music segmentation using entropy and dynamism features in a HMM classification framework*, Speech Communication 40(3), pp. 351–363, 2003.
- [5] Ambady, N., Rosenthal, R., *Thin slices of expressive behavior as predictors of interpersonal consequences: A meta-analysis*. Psychological Bulletin, 111 (2), pp. 256-274, 1992.
- [6] Argyle, M., *The Psychology of Interpersonal Behaviour*, Penguin, Harmondsworth, 1967.
- [7] Argyle, M., Cook, M., *Gaze and Mutual Gaze*, Cambridge University Press, 1976.
- [8] ASHRAE, *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*, Available from <https://www.ashrae.org/resources-publications/bookstore/standard-55>, [Accessed: 28 February 2015].
- [9] Auliciems, A., *Some Observed Relationships between the Atmospheric Environment and Mental Work*, Environment Research, 5, 1972, pp. 217-240.
- [10] Baenninger, R., *On Yawning and its functions*, Psychonomic Bulletin & Review, 4(2), pp. 198-207, 1997.
- [11] Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D. J., Kochhar, N., Awbi, H. B., Williams, M. J., *Ventilation rates in schools and pupils' performance*. Building and Environment, 48, pp. 215-223, 2012.
- [12] Bao, L., Intille, S. S., *Activity recognition from user-annotated acceleration data*, Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Computing, pp. 1–17, Vienna, Austria, 2004.

- [13] Barras, C., Zhu, X., Meignier, S., Gauvain J. L., *Improving speaker diarization*, Proceedings of Fall 2004 Rich Transcription Workshop (DARPA RT'04), Palisades, New York, 2004.
- [14] Basu, S., *Conversational Scene Analysis*, PhD thesis, Dept. of Electrical Engineering and Computer science, MIT, 2002.
- [15] Batliner, A., Fischer, K., Huber, R., Spilker, J., Noth, E., *How to find trouble in communication*, Speech Communication, 40 (1), pp. 117-143, 2003.
- [16] Bayliss, A. P., Frischen, A., Fenske, M. J., Tipper, S. P., *Affective evaluations of objects are influenced by observed gaze direction and emotional expression*, Cognition, 104(3), pp. 644-653, 2007.
- [17] Bi, X., Shi, Y., Chen, X., *uPen: A Smart Pen-liked Device for Facilitating Interaction on Large Displays*, Proceedings of IEEE TableTop Conference on Horizontal Interactive Human-Computer Systems, pp. 160-168, Australia, 2006.
- [18] Bianchi, M., *Automatic video production of lectures using an intelligent and aware environment*, Proceedings of the 3rd international Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, pp. 117–123, Maryland, USA, 2004.
- [19] Bigne, E., Moliner, M. A., Sanchez, J., *Perceived quality and satisfaction in multi service organizations: The case of Spanish public services*, The Journal of Services Marketing, 17 (4), 420-442, 2003.
- [20] Birdwhistell, R., *Kinesics and Context: Essays on Body Motion Communication*, University of Pennsylvania Press, 1970.
- [21] Bistafa, S. R., Bradley, J. S., *Reverberation time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics*, Journal of the Acoustical Society of America, 107(2), pp. 861-875, 2000.
- [22] Blanck, P. D., Rosenthal R., Vannicelli M., Lee T. D, *Therapists tone of voice: Descriptive, psychometric, interactional and competence analyses*, Journal of Social and Clinical Psychology, 4, pp. 154–178, 1986.
- [23] Bonato, P., *Advances in wearable technology and applications in physical medicine and rehabilitation*, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 2(1), pp. 1–4, 2005.
- [24] Bouras, C., Giannaka, E., Panagopoulos, A., Tsiatsos, T., *A platform for virtual collaboration spaces and educational communities: the case of EVE*, Multimedia Systems, 11(3), pp. 290–303, 2006.

- [25] Bradley, J. S., *Speech intelligibility studies in classrooms*, Journal of the Acoustical Society of America, 80(3), pp. 846-854, 1986.
- [26] Breiman, L., *Random Forests*, Machine Learning 45 (1), pp. 5-32, 2001.
- [27] Bridget, M. S., Dockrell, J. E., *The effects of noise on children at school: a review*, Journal of Building Acoustics, 10(2), pp. 97-106, 2003.
- [28] Bronzaft, A. L., McCarthy, D. P., *The effect of elevated train noise on reading ability*, *Environment and Behaviour*, 7(4), pp. 517-527, 1975.
- [29] Browne, B., Kaldenberg, D., Browne, W., Brown, D., *Student as customers: factors affecting satisfaction and assessments of institutional quality*, Journal of Marketing for Higher Education, 8(3), pp. 1-14, 1998.
- [30] Cacioppo, J. T., Berntson, G. G., Larsen, J. T., Poehlmann, K. M., Ito, T. A., *The psychophysiology of emotion*, Lewis, M., Haviland-Jones, J. M. (eds.): Handbook of Emotions. The Guilford Press, New York, USA pp. 173-191, 2000.
- [31] Caneel, R., *Social Signaling in Decision Making*, Master thesis, MIT, June 2005.
- [32] Celik, E. and Karabiber, Z., *A pilot study on the ratio of schools and students affected from noise*, Proceedings of the International Symposium on Noise Control and Acoustics for Educational Buildings, pp. 119-128, Istanbul, 2000.
- [33] Centra, J., *Student Ratings of Instruction and Their Relationship to Student Learning*, American Educational Research Journal, 14(1), pp. 17-24, 1977.
- [34] Chang, C. H., *Smart Classroom Roll Caller System with IOT Architecture*, Proceedings of the 2nd International Conference on Innovations in Bio-inspired Computing and Applications, pp. 356-360, Shenzhen, 2011.
- [35] Chartrand, T. L., Bargh, J. A., *The chameleon effect: the perception-behavior link and social interaction*, Journal of Personality and Social Psychology, 76(6), pp. 893–910, 1999.
- [36] Chen, D., Zhao G., Xu J., *An Introduction to The Technology Of Blending-reality Smart Classroom*, International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, pp. 516-519, 2008.
- [37] Cheng, H. H., Liao W. W., *Establishing an lifelong learning environment using IOT and learning analytics*, Proceedings of the 14th International Conference on Advanced Communication Technology, PyeongChang, South Korea, pp. 1178 – 1183, 2012.

- [38] Clewes, D., *A student-centred conceptual model of service quality in higher education*, *Quality in Higher Education*, 9(1), pp. 69-85, 2013.
- [39] Coley, D. A., Greeves R., Saxby B. K., *The Effect of Low Ventilation Rates on the Cognitive Function of a Primary School Class*, *The International Journal of Ventilation*, 6 (2), 107-112, 2007.
- [40] Collier, G., *Emotional Expression*, Lawrence Erlbaum Associates, 1985.
- [41] Coulson, M., *Attributing Emotion to Static Body Postures: Recognition Accuracy, Confusion, and Viewpoint Dependence*, *Journal of Nonverbal Behaviour*, 28(2), 2004.
- [42] Cunningham, D. W., Kleiner, M., Wallraven, C., Bülthoff, H. H., *The components of conversational facial expressions*, *Proceedings of the 1st Symposium on Applied perception in graphics and visualization*, Los Angeles, USA, pp. 143-150, 2004.
- [43] Cranadell, C. C., Smaldino, J. J., Anderson, K., *Classroom Acoustics*, *Volta Voices*, 7(4), pp. 28-32, 2000.
- [44] Cronin, J. J. Jr, Taylor, S. A., *Measuring service quality: a reexamination and extension*, *Journal of Marketing*, 56(3), pp. 55-68, 1992.
- [45] Crook, M. A., Langdon, F. J., *The effects of aircraft noise in schools around London Airport*, *Journal of Sound and Vibration*, 34 (2), pp. 221-232, 1974.
- [46] Crystal, D., *Prosodic Systems and Intonation in English*, Cambridge University Press, Cambridge, 1969.
- [47] Curhan, J. R., Pentland A., *Thin slices of negotiation: predicting outcomes from conversational dynamics within the first 5 minutes*, *Journal of Applied Psychology*, 92(3), pp. 802–811, 2007.
- [48] Dabholkar, P. A., *Contingency framework for predicting causality between customer satisfaction and service quality*, *Advances in Consumer Research*, 22(1), pp. 101-108, 1995.
- [49] Dalal, N., Triggs B., *Histograms of oriented gradients for human detection*, *Proceedings of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1, pp. 886–893, San Diego, California, USA, 2005.
- [50] Dalal, N., Triggs, B., Schmid, C., *Human detection using oriented histograms of flow and appearance*, *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*, pp. 428–441, 2006.

- [51] Davidson, C. W., Powell L. A., *The Effects of Easy-Listening Background Music on the On-Task-Performance of Fifth-Grade Children*, Journal of Educational Research, 80(1), pp. 29-33, 1986.
- [52] DePaulo, B. M., *Nonverbal behavior and self-presentation*, Psychological Bulletin 111(2), pp. 203–243, 1992.
- [53] DeVaul, R.W., Dunn S., *Real-time motion classification for wearable computing applications*, Technical report, MIT Media Lab, 2001.
- [54] Devinder, K., Datta B., *A study of the effect of perceived lecture quality on post-lecture intentions*, Work Study, 52 (5), 234 – 243, 2003.
- [55] Dickson, P. E., Adrion W. R., Hanson A. R., *Whiteboard Content Extraction and Analysis for the Classroom Environment*, Proceedings of the 10th IEEE International Symposium on Multimedia, pp. 702-707, 2008.
- [56] Dielmann, A., Renals S., *Automatic meeting segmentation using dynamic bayesian networks*, IEEE Transactions on Multimedia, 9(1), pp. 25-36, 2007.
- [57] Ding L., Martinez, A. M., *Recovering the linguistic components of the manual signs in american sign language*, Proceedings of IEEE International Conference on Advanced Video and Signal-based Surveillance, pp.447–452, 2007.
- [58] Downs, D., Crum, M., *Processing demands during auditory learning under degraded listening conditions*, Journal of Speech and Hearing Research, 21, pp. 702-714, 1978.
- [59] Duchowski, A. T., *A breadth-first survey of eye-tracking applications*, Behavior Research Methods, Instruments and Computing, 34(4), pp. 455-470, 2002.
- [60] Dunbar R., *Grooming, Gossip, and the Evolution of Language*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1998.
- [61] Dunkels, A., Vasseur, J. P., *IP for Smart Objects*, Internet Protocol for Smart Objects (IPSO) Alliance, White Paper #1, September 2008.
- [62] Dunn, R., Krinsky, J. S., Murray, J. B., Quinn, P., *Light up their lives: A review of research on the effects of lighting on children's achievement and behavior*, Reading Teacher, 38(9), pp. 863-869, 1985.
- [63] Eagle N., Pentland, A., *Reality mining: sensing complex social signals*, Journal of Personal and Ubiquitous Computing, 10(4), pp. 255–268, 2006.
- [64] Earthman, G. I., *Prioritization of 31 Criteria for School Building Adequacy*, MD: American Civil Liberties Union Foundation of Maryland, Baltimore, 2004, available

from: http://www.schoolfunding.info/policy/facilities/ACLUfacilities_report1-04.pdf, [Accessed: 1 March 2013].

- [65] Ekman, P., *Laganje*, Mediterran Publishing, Novi Sad, 2010.
- [66] Ekman, P., Friesen, W. V., Hager, J. C., *Facial Action Coding System*, A Human Face, Salt Lake City, USA, 2002.
- [67] Ekman, P., Friesen, W.F., *The repertoire of nonverbal behavioral categories – origins, usage, and coding*, *Semiotica*, 1(1), pp. 49-98, 1969.
- [68] Evans, G. W., Maxwell L., *Chronic noise exposure and reading deficits: the mediating effects of language acquisition*, *Environment and Behaviour*, 29(5), pp. 638-657, 1997.
- [69] Fahriddin, M., Song, M. G., Kim J. Y., Na, S. Y., *Human Activity Recognition Using New Multi-Sensor Module in Mobile Environment*, *Journal of Korea Information Technology*, 9(5), pp. 1-230, 2011.
- [70] Fairbanks G., Pronovost W., *An experimental study of the pitch characteristics of the voice during the expression of emotions*, *Speech Monographs*, 6, pp. 87–104, 1939.
- [71] Fernandez, R. A., *Computational Model for the Automatic Recognition of Affect in Speech*, PhD thesis, MIT Media Arts and Science, 2004.
- [72] Freund, Y., Mason L., *The Alternating Decision Tree Algorithm*, *Proceedings of the 16th International Conference on Machine Learning*, pp. 124-133, 1999.
- [73] Freund, Y., Schapire, R., *Experiments with a new boosting algorithm*, *Proceedings of the 13th International Conference on Machine Learning*, pp. 148-156, 1996.
- [74] Furnham, A., Allass, K., *The influence of musical distraction of varying complexity on the cognitive performance of extroverts and introverts*, *European Journal of Personality*, 13(1), pp. 27-38, 1999.
- [75] Gauvain, J. L., Lamel, L. F., Adda, G., *Partitioning and transcription of broadcast news data*, *Proceedings of International Conference on Spoken Language Processing*, pp. 1335–1338, 1998.
- [76] Gandhi T., Trivedi, M. M., *Pedestrian protection systems: issues, survey, and challenges*, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8(3), pp. 413–430, 2007.
- [77] Garcia, C., Tziritas, G., *Face detection using quantized skin color regions merging and wavelet packet analysis*, *IEEE Transactions on Multimedia*, 1(3), pp. 264–277, 1999.

- [78] Gavrilovska, Lj., Krco, S., Milutinovic, V., Stojmenovic, I., Trobec, R., *Application and Multidisciplinary Aspects of Wireless Sensor Networks*, Springer 2010.
- [79] Gershenfeld, N., Krikorian, R., Cohen, D., *The internet of things*, Scientific American, 291(4), pp. 76-81, 2004.
- [80] Giusto D., Iera, A., Morabito, G., Atzori, L. (Eds.), *The Internet of Things*, Springer, 2010.
- [81] Gligoric, N., Krco, S., Uzelac, A., *Pametne učionice: pregled oblasti i pravci budućeg razvoja*, YuInfo Kopaonik, 2011.
- [82] Gligoric, N., Uzelac A., Krco S., Kovacevic I., Nikodijevic A., *Smart Classroom System for Detecting Level of Interest a Lecture Creates in a Classroom*. Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, 7(2), pp. 271-284, 2015.
- [83] Gluhak, A., *Closing the loop between Machines and Humans*, Presented at the 5th Summer School on Applications of Smart and Connected Devices, Rijeka, 2010.
- [84] González, G. R., Organero M. M., Kloos, C. D., *Early infrastructure of an Internet of Things in Spaces for Learning*, Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, pp. 381-383, 2008.
- [85] Green, K. B., Pasternack, B. S. and Shore, R. E., *Effects of Aircraft Noise on Reading Ability of School-Age Children*, Archives of Environmental Health, 37(1), pp. 24-31, 1982.
- [86] Griffin M., *Background Music and the Learning Environment: Borrowing from other Disciplines*, Master thesis, School of Education University of Adelaide, 2006.
- [87] Gronroos, C., *Strategic Management and Marketing in the Service Sector*, Swedish School of Economics and Business Administration, Helsinki, 1982.
- [88] Grossberg, S., *The link between brain learning, attention and consciousness*, Consciousness and Cognition, 8(1), pp. 1-44, 1999.
- [89] Gu, H., Shen, R., *An Effort to Boost Building an Attentive Service Environment for the Participants in Smart Classrooms*, Lecture Notes in Computer Science, 6483, pp. 361-367, 2010.
- [90] Guinard, D., Vlad, T., *Towards the web of things: web mashups for embedded devices*, Proceedings of the International World Wide Web Conference 2009, Madrid, Spain, April 2009.

- [91] Gunes H., Piccardi, M., *Bi-modal emotion recognition from expressive face and body gestures*, Journal of Network and Computer Applications, 30(4), pp. 1334–1345, 2007.
- [92] Guolla, M., *Assessing the teaching quality to student satisfaction relationship: applied customer satisfaction research in the classroom*, Journal of Marketing Theory and Practice, 7 (3), pp. 87-97, 1999.
- [93] Hager G., Belhumeur, P., *Efficient region tracking with parametric models of geometry and illumination*, PAMI, 20(10), pp. 1025–1039, 1998.
- [94] Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann P., & Witten, I. H., *The WEKA Data Mining Software: An Update*, ACM SIGKDD Explorations Newsletter, 11 (1), pp. 10-18, 2009.
- [95] Hallam, S., Price J., *Can the use of background music improve the behaviour and academic performance of children with emotional and behavioural difficulties?*, British Journal of Special Education, 25(2), pp. 88-91, 1998.
- [96] Hallam, S., Price, J. et al., *The Effects of Background Music on Primary School Pupils' Task Performance*, Educational Studies, 28(2), pp. 111-122, 2002.
- [97] Ham, L., Hayduk, S., *Gaining competitive advantages in higher education: analyzing the gap between expectations and perceptions of service quality*, International Journal of Value-Based Management, 16 (3), pp. 223-242, 2003.
- [98] Harvey, L., Green, D., *Defining quality*, Assessment & Evaluation in Higher Education, 18(1), pp. 9-34, 1993.
- [99] Hasan, H. F. A., Ilias A., *Service Quality and Student Satisfaction: A Case Study at Private Higher Education Institutions*, International Business Research 1(3), pp. 163-175, 2008.
- [100] Hathaway, W. E., *Effects of school lighting on physical development and school performance*, The Journal of Educational Research, 88(4), pp. 228-242, 1995.
- [101] Haverinen-Shaughnessy, U., Moschandreas, D. J., Shaughnessy, R. J., *Association between substandard classroom ventilation rates and students' academic achievement*, Indoor Air, 21(2), pp. 121-131, 2011.
- [102] Hay, B., *A pilot study of classroom noise levels and teachers' reactions*, Voice, 4, pp. 127-134, 1995.
- [103] Hayfron-Acquah J. B., Nixon, M. S., Carter, J. N., *Automatic gait recognition by symmetry analysis*, Pattern Recognition Letters, 24(13), pp. 2175–2183, 2003.

- [104] Haykin, S., de Freitas, N. (eds.), *Special Issue on Sequential State Estimation*, Proceedings of the IEEE, 92(3), pp. 399-574, 2004.
- [105] He, Z., Jin, L., *Activity recognition from acceleration data using AR model representation and SVM*, Proceedings of the 7th International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Kunming, 2008.
- [106] He, Z., Jin, L., *Activity Recognition from acceleration data Based on Discrete Cosine Transform and SVM*, Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, San Antonio, USA, October 2009.
- [107] Hecht, L. W., *Measuring Student Behavior during Group Instruction*, The Journal of Educational Research, 71(5), pp. 283-290,
- [108] Heisele, B., Poggio, T., Pontil, M. *Face detection in still gray images*, AI Memo 1687, Center for Biological and Computational Learning, MIT, Cambridge, MA, 2000
- [109] Heller, M., Haynal, V., *Depression and suicide faces*, In: Ekman, P., Rosenberg, E. (eds.): What the Face Reveals. Oxford University Press, New York, USA, pp. 339-407, 1997.
- [110] Heschong-Mahone Group, “*Daylighting in schools: an investigation into the relationship between daylighting and human performance*”, Heschong-Mahone Group: Fair Oaks, CA, 1999.
- [111] Heschong-Mahone Group, “*Daylighting in schools: reanalysis report*”, California Energy Commission: Sacramento, CA, 2001.
- [112] Heschong-Mahone Group, “*Windows and classrooms: a study of student performance and the indoor environment*”, California Energy Commission: Sacramento, CA, 2003.
- [113] Hetu, R., Truchon-Gagnon, C., Bilodeau, S. A., *Problems of noise in school settings: a review of literature and the results of an exploratory study*, Journal of Speech-Language Pathology and Audiology, 14(3), pp. 31-39, 1990.
- [114] Hirschberg J., Grosz, B., *Intonational features of local and global discourse structure*, Proceedings of the Speech and Natural Language Workshop, pp. 441–446, 1992.
- [115] Hodgson, M., *UBC-classroom acoustical survey*, Canadian Acoustics, 22(4), pp. 3-10, 1994.

- [116] Hodgson, M., Rempel, R., Kennedy, S., *Measurement and prediction of typical speech and background noise levels in university classrooms during lectures*, Journal of Acoustical Society of America, 105(1), pp. 226-233, 1999.
- [117] Holbrook, M. B., *The nature of customer value: an axiology of services in the consumption experience*, in Rust R.T. and Oliver, R. L (Eds), *Service Quality: New Directions in Theory and Practice*, Sage, London, p.27, 1994.
- [118] Houghton F. C., and Yaglou C. P., *Determining equal comfort lines*, ASHRAE Journal, 29, pp. 165–176, 1923.
- [119] Howarth, E., Hoffman, M. S., *A Multidimensional Approach to the Relationship between Mood and Weather*, British Journal of Psychology, 75, pp. 15-23, 1984.
- [120] Hoyt, T., Schiavon, S., Piccioli, A., Moon, D., and Steinfeld, K., *CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55*, Center for the Built Environment, University of California Berkeley, 2012, available from: <http://cbe.berkeley.edu/comforttool/>, [Accessed: 28 February 2015].
- [121] Hsu, R. L., Mottaleb, M. A., Jain, A. K., *Face detection in colour images*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24(5), pp. 696– 706, 2002.
- [122] Huang, K. S., Trivedi, M. M., *Robust real-time detection, tracking, and pose estimation of faces in video streams*, Proceedings of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 965–968, 2004.
- [123] Huang, T. S., Chen, L., Tao, H., *Bimodal emotion recognition by man and machine*, Proceedings of ATR Workshop on Virtual Communication Environments, Japan, 1998.
- [124] Hung H., Jayagopi, D., Yeo, C., Friedland, G., Ba, S., Odobez, J. M., Ramchandran, K., Mirghafori, N., Gatica-Perez, D., *Using audio and video features to classify the most dominant person in a group meeting*, Proceedings of the ACM International Conference on Multimedia, pp. 835–838, 2007.
- [125] Huber R., Batliner, A., Buckow, J., Noth, E., Warnke, V., Niemann, H., *Recognition of Emotion in realistic dialog scenario*, Proceedings of the International Conference Spoken Language Processing, 1, pp. 665-668, 2000.
- [126] Hygge, S., *Classroom experiments on the effects of aircraft, traffic, train, and verbal noise on long-term recall and recognition in children aged 12-14 years*, Proceedings of the 6th International Congress on Noise as a Public Health Problem, 2, pp. 531-534, 1993.

- [127] Intel, *Intel Galileo Gen 2 Development Board*, Available from <http://www.intel.com/content/www/us/en/embedded/products/galileo/galileo-overview.html>, [Accessed: 28 February 2015].
- [128] ISO, *ISO 9000:2000: International Standard: Quality Management Systems – Fundamentals and Vocabulary*, International Organisation for Standardisation, Geneva, 2000.
- [129] Ito, K., Murakami, S., Kaneko, T., Fukao H., *Study on the productivity in the classroom (part 2): realistic simulation experiment on effects of air quality/thermal environment on learning performance*. Healthy Buildings, pp. 207-212, 2006.
- [130] Itu Internet Reports Series, *ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things*, International Telecommunication Union, Available from <http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/>, [Accessed: 28 February 2015].
- [131] Johnson, E., *Let's hear it for learning: Improving classroom acoustics can maximize student productivity at a minimal cost*, American School and University, 73 (11), 28-30, 2001.
- [132] Johnson, C. E., *Children's phoneme identification in reverberation and noise*, Journal of Speech, Language and Hearing Research, 43(1), pp. 144-157, 2000.
- [133] Juslin, P. N., Scherer, K. R., *Vocal expression of affect*, Harrigan, J., Rosenthal, R., Scherer, K. (eds.): *The New Handbook of Methods in Nonverbal Behavior Research*, Oxford University Press, Oxford, UK, 2005.
- [134] Khan A. M., Lee, Y. K., Kim, T. S., *Accelerometer signal-based human activity recognition using augmented autoregressive model coefficients and artificial neural nets*, Proceedings of the 30th Annual IEEE International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 5172-5175, 2008.
- [135] Kevan, S. M., Howes, J. D., *Climatic Conditions in Classrooms*, Educational Review, 32(3), pp. 283, 1980.
- [136] Kimura M., Daibo, I., *Interactional synchrony in conversations about emotional episodes: a measurement by the between-participants pseudosynchrony experimental paradigm*, Journal of Nonverbal Behavior , 30(3), pp. 115–126, 2006.
- [137] Kjeldsen, K., *Head gestures for computer control*, Proceedings of the Second International Workshop on Recognition, Analysis and Tracking of Faces and Gestures in Real-time Systems, pp. 62–67, 2001.

- [138] Kleiber, D., *Environmental Illumination and Human Behavior: The effects of Spectrum Light Sources on Human Performance in a University Setting*, Ithaca, N.Y., Cornell University Press, 1973.
- [139] Knapp, M. L., Hall, J. A., *Nonverbal Communication in Human Interaction*, Harcourt Brace College Publishers, New York, 1972.
- [140] Kohavi, R., *A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection*, In Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Morgan Kaufmann, San Francisco, 1995.
- [141] Kohavi, R., *The Power of Decision Tables*, Proceedings of the 8th European Conference on Machine Learning, pp. 174-189, 1995.
- [142] Kong W. W., Ranganath, S., *Automatic hand trajectory segmentation and phoneme transcription for sign language*, Proceedings of IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2008.
- [143] Kuller, R., Lindsten, C., *Health and Behavior of Children in Classrooms With and Without Windows*, Journal of Environmental Psychology, 12(4), pp. 305-317, 1992.
- [144] Kwok, A. G., *Thermal comfort in tropical classrooms/Discussion*, ASHRAE Transactions, 104(1B), pp. 1031-1047, 1998.
- [145] Kyzar, B. L., *Noise Pollutions and Schools: How much is too much?*, Council of Educational Facilities Planners Journal, 4, 10-11, 1977.
- [146] Langer, E. J., *Rethinking the role of thought in social interaction*, New directions in attribution research, 2, pp. 35-58, Hillsdale, 1978.
- [147] Langton S. R. H., Watt R. J., Bruce V., *Do the eyes have it? Cues to the direction of social attention*, Trends in Cognitive Neuro-science, 4(2), pp. 50-58, 2000.
- [148] Lee, C. M., Narayanan, S. S., *Combining acoustic and language information for emotion recognition*, Proceedings of the International Conference on Speech and Language Processing, pp. 873-876, Denver, 2002.
- [149] Lee L., Grimson, W. E. L., *Gait analysis for recognition and classification*, Proceedings of the IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 148-155, 2002.
- [150] Lepri, B., *Multimodal Recognition of Social Behaviors and Personality Traits in Small Group Interaction*, PhD Thesis, DIT University of Trento, 2009.

- [151] Li X., Maybank, S. J., Yan, S., Tao, D., Xu, D., *Gait components and their application to gender recognition*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 38(2), pp. 145–155, 2008.
- [152] Li, S. Z., Jain, A. K. (eds.), *Handbook of Face Recognition*, Springer, New York, USA, 2005.
- [153] Li, X., Li, M., Zeng, L., *Virtual Classrooms Supporting a Two-Way Synchronized Video and Audio Interaction*, Lecture Notes in Computer Science, 6249, pp. 446-455, 2010.
- [154] Littlewort, G., Bartlett, M. S., Fasel, I., Susskind, J., Movellan, J., *Dynamics of facial expression extracted automatically from video*, Image and Vision Computing 24(6), pp. 615–625, 2006.
- [155] Lu, L., Zhang, H. J., Jiang, H., *Content analysis for audio classification and segmentation*, IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, 10(7), pp. 504–516, 2002.
- [156] Lucey, S., Ashraf, A. B., Cohn, J., *Investigating spontaneous facial action recognition through AAM representations of the face*, in: K.Delac, M.Grgic (Eds.) Handbook of Face Recognition, I-Tech Education and Publishing, pp. 275–286, 2007.
- [157] Lukowicz, P., Ward, J., Junker, H., Stager, M., Troster, G., Atrash, A., Starner, T., *Recognizing workshop activity using body worn microphones and accelerometers*, Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Computing, pp. 18–22, 2004.
- [158] Lundquist, P., Holmberg, K., Landstrom, U., *Annoyance and effects on work from environmental noise at school*, Noise and Health, 2(8), pp. 39-46, 2000.
- [159] Luo, Q., Zhou, J., Wang F., Shen, L., *Context Aware Multimodal Interaction Model in Standard Natural Classroom*, Lecture Notes in Computer Science, 5685, pp. 13-23, 2009.
- [160] Manning, C., Raghavan, P., Schütze, H., *Introduction to Information Retrieval*, Cambridge University Press, 2008.
- [161] Martin, B., *Instance-Based learning: Nearest Neighbor With Generalization*, Master thesis, University of Waikato, Hamilton, New Zealand, 1995.
- [162] Masterton, J. M., Richardson, F. A., *Humidex: a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity*, Atmospheric Environment Service, Environment Canada, pp. 1-79, 1979.

- [163] Mathie, M. J., Coster, A. C. F., Lovell, N. H., Celler, B. G., *Accelerometry: providing an integrated, practical method for long-term ambulatory monitoring of human movement*, *Physiological Measurement* 25(4), R1–R20, 2004.
- [164] *Matlab*, Available from <http://www.mathworks.com/products/Matlab/>, [Accessed: 28 February 2015].
- [165] Maxwell, L. and Evans, G., *The effects of noise on pre-school children's pre-reading skills*, *Journal of Environmental Psychology*, 20, pp. 91-97, 2000.
- [166] MacKenzie, D., *Noise sources and levels in UK schools*, *Proceedings of International symposium on Noise Control and Acoustics for Educational Buildings*, Istanbul, pp. 97-106, 2000.
- [167] Matos, S., Birring, S. S., Pavord, I. D., Evans, D. H., *Detection of cough signals in continuous audio recordings using HMM*, *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, 53(6), pp. 1078-1083, 2006.
- [168] McCowan I., Gatica-Perez, D., Bengio, S., Lathoud, G., Barnard, M., Zhang, D., *Automatic analysis of multimodal group actions in meetings*, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27(3), pp. 305–317, 2005.
- [169] McGuffey, C. W., *Improving educational standards and productivity*, *Facilities*. Chapter 10, In W. Herbert (Ed.), pp. 237-288. Berkeley, CA: McCutchan Publishing Corp., 1982.
- [170] Leung, M., Fung, I., *Enhancement of classroom facilities of primary schools and its impact on learning behaviors of students*, *Facilities*, 23(13/14), pp.585 – 594, 2005.
- [171] Mendell, M, J., Heath, G. A., *Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature*, *Indoor Air*, 15, pp. 27–52, 2005.
- [172] Mikolajczyk, K., Schmid, C., Zisserman, A., *Human detection based on a probabilistic assembly of robust part detectors*, *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*, pp. 69–81, 2004.
- [173] Mita, T., Kaneko, T., Hori, O., *Joint haar-like features for face detection*, *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Computer Vision*, 2, pp. 1619-1626, Beijing, 2005.
- [174] Molhave, L., Bach, B., Feddersen, O. F., *Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds*, *Environment International*, 12, 167-175, 1986.
- [175] Moore, B. C. J., *An Introduction to the Psychology of Hearing*, Academic Press, New York, 1982.

- [176] Morgan, N., Fosler, E., Mirghafori, N., *Speech recognition using on-line estimation of speaking rate*, Proceedings of Eurospeech, pp. 2079–2082, 1997.
- [177] Morgan, N., Fosler-Lussier, E., *Combining multiple estimators of speaking rate*, Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, pp. 729–732, 1998.
- [178] Mota S., Picard, R. W., *Automated posture analysis for detecting learners interest level*, Proceedings of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 49–56, 2003.
- [179] Murakami, S., Kaneko, T., Ito, K., Fukao H., *Study on the productivity in the classroom (part 1) field survey of the effects of air quality/thermal environment on learning performance*, Healthy Buildings, pp. 271-276, 2006.
- [180] Murray, H. G., *Low-inference classroom teaching behaviors and student ratings of college teaching effectiveness*, Journal of Educational Psychology, 75(1), 138-149, 1983.
- [181] Murray, H. G., *Effective teaching behavior in the college classroom*. In Raymond P. Perry & John C. Smart. *Effective Teaching in Higher Education: Research and Practice*, pp. 171–204, New York: Agathon Press, 1997.
- [182] Murphy K. P., *Dynamic Bayesian Networks: Representation, Inference and Learning*, PhD thesis, University of California Berkeley, 2002.
- [183] Myhrvold, A., Olesen, E., *Pupil's health and performance due to renovation of schools*, Healthy Buildings/IAQ, pp. 81-86, 1997.
- [184] Nass C., Brave, S., *Voice activated: How people are wired for speech and how computers will speak with us*, MIT Press, Cambridge, MA, 2004.
- [185] Nicklas, M. H., Bailey, G. B., *Analysis of the performance of students in daylit schools*, Proceedings of the American Solar Energy Society, 1997.
- [186] Novaković, J., *Rešavanje klasifikacionih problema mašinskog učenja*, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, SaTCIP, Vrnjačka Banja.
- [187] Oikonomopoulos A., Patras, I., Pantic, M., *Spatiotemporal salient points for visual recognition of human actions*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B, 36(3), pp. 710–719, 2006.
- [188] Oikonomopoulos, A., Patras, I., Pantic, M., Paragios, N., *Trajectory-based Representation of Human Actions*, Lecture Notes on Artificial Intelligence, Special Volume on Artificial Intelligence for Human Computing, 4451, 2007.

- [189] Oliver N., Garg, A., Horvitz, E., *Layered representations for learning and inferring office activity from multiple sensory channels*, Computer Vision and Image Understanding, 96(2), pp. 163–180, 2004.
- [190] Orosa, J. A., Costa, A. M., Rodríguez-Fernández, A., Roshan, G., *Effect of climate change on outdoor thermal comfort in humid climates*, Journal of Environmental Health Science and Engineering, 12:46., 2014.
- [191] Osuna, E., Freund, R., Girosi, F., *Training support vector machines: an application to face detection*, Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 130-136, 1997.
- [192] Ott, J. N., *Health and Light*, Old Greenwich CN: Devin Adair, 1973.
- [193] Ott, J. N., *Influence of fluorescent lights on hyperactivity and learning disabilities*, Journal of Learning Disabilities, 9(7), pp. 417-422, 1976.
- [194] Otto, D. A., Hudnell, H. K., House, D. E., Molhave, L., *Exposure of humans to a volatile organic mixture*, Behavioral Assessment, Archives of Environmental Health, 47 (1), 23-30, 1992.
- [195] Oviatt S., *User-centered modeling and evaluation of multimodal interfaces*, Proceedings of the IEEE, Vol. 91, pp. 1457–1468, 2003.
- [196] Pal, P., Iyer, A. N., Yantorno, R. E., *Emotion detection from infant facial expressions and cries*, Proceedings of the Int'l Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing, 2, pp. 721-724, 2006.
- [197] Pantic, M., Rothkrantz, L. J. M., *Toward an Affect-Sensitive Multimodal Human-Computer Interaction*, Proceedings of the IEEE, 91(9), pp. 1370-1390, 2003.
- [198] Pantic, M., Bartlett, M. S., *Machine Analysis of Facial Expressions*, In: K. Kurihara (ed.): Face Recognition. Advanced Robotics Systems, Vienna, Austria, 2007.
- [199] Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., Berry L. L., *SERVQUAL: a multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality*, Journal of Retailing, 64 (1), pp. 12-40, 1988.
- [200] Patterson, P.G., Johnson, L.W., *Disconfirmation of expectations and the gap model of service quality: an integrated paradigm*, Journal of Satisfaction, Dissatisfaction and Complaining Behavior, 6, pp. 90-99, 1993.
- [201] Pentland, A., *A Computational Model of Social Signaling*, Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition, 1, pp. 1080 – 1083, 2006.

- [202] Pentland A., *Automatic mapping and modeling of human networks*, Physica A, 378, pp. 59–67, 2007.
- [203] Pentland A., *Honest Signals: how they shape our world*. MIT Press, September 2008.
- [204] Pentland, A., *Social Dynamics: Signals and Behavior*, Proceedings of IEEE Int'l Conf. Developmental Learning, 2004.
- [205] Pentland, A., *Social signal processing*, IEEE Signal Processing Magazine, 24(4), pp. 108–111, 2007.
- [206] Pentland, A., *Socially aware computation and communication*, IEEE Computer, 38(3), pp. 33–40, 2005.
- [207] Pentland A., *To Signal is Human*, American Scientist, 98(3), pp. 203-211, 2010.
- [208] Pepler, R. D., Warner R. E., *Temperature and learning: an experimental study*. ASHRAE Transactions, 74 (2), pp. 211-219, 1968.
- [209] Pfau, T., Ruske, G., *Estimating the speaking rate by vowel detection*, Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, pp. 945–948, 1998.
- [210] Picard, M., Bradley, J. S., *Revisiting speech interference in classrooms*, Audiology, 40(5), pp. 221-224, 2001.
- [211] Pickles, J. O., *An Introduction to the Physiology of Hearing*, Academic Press, New York, 1982.
- [212] Pilman, M. S., *The Effects of Air Temperature Variance on Memory Ability*, National Undergraduate Research Clearinghouse, 4, 2001, Available from <http://www.webclearinghouse.net/volume/>. [Accessed: 28 February 2015].
- [213] Pishva, D., *Smart Classroom bring top-quality education around the globe*, International Symposium on Applications and the Internet Workshops, pp. 40, 2007.
- [214] Platt, J., *Fast Training of Support Vector Machines using Sequential Minimal Optimization*, In B. Schoelkopf and C. Burges and A. Smola, editors, Advances in Kernel Methods - Support Vector Learning, 1998.
- [215] Presser, M., Gluhak, A., *The Internet of Things: Connecting the Real World with the Digital World*, EURESCOM mess@ge – The Magazin for Telecom Insiders, 2, 2009.
- [216] Price, G. E., *Which Learning Style Elements are Stable and Which Tend to Change?*, Learning Styles Network Newsletter, 1(3), pp. 1980.
- [217] Provine R., *Laughter*, Penguin Press, New York, 2001.

- [218] Rabiner, L. R., Schafer, R. W. *Digital Processing of Speech Signals*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1978.
- [219] Rabiner, L., Sambur, M., *Voiced-unvoiced-silence detection using the Itakura LPC distance measure*, Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, pp. 323–326, 1977.
- [220] Ramsey, J., *Oxygen reduction and reaction time in hypoxic and normal drivers*, Archives of Environmental health, 20, pp. 597-601, 1970.
- [221] Raspberry Pi, *What is raspberry Pi?*, Available from <http://www.raspberrypi.org/>, [Accessed: 28 February 2015].
- [222] Ravi N., Dandekar, N., Mysore, P., Littman, M. L., *Activity Recognition from Accelerometer data*, Proceedings of the 17th conference on Innovative applications of artificial intelligence - Volume 3, pp. 1541-1546, 2005.
- [223] Ren, H., Xu, G., *Human Action Recognition in Smart Classroom*, Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 399–404, 2002.
- [224] Reynolds, D. A., Campbell, W., Gleason, T. T., Quillen, C., Sturim, D., Torres-Carrasquillo, P., Adami, A., *The 2004 MIT Lincoln laboratory speaker recognition system*, Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, pp. 177–180, 2005.
- [225] Richmond, V. P., McCroskey, J. C., *Nonverbal Behaviors in interpersonal relations*, Allyn and Bacon, Bacon, NY, 1995.
- [226] Rienks R., Zhang, D., Gatica-Perez, D., *Detection and application of influence rankings in small group meetings*, Proceedings of the International Conference on Multimodal Interfaces, pp. 257–264, 2006.
- [227] Rodney, B., Wertheim G., *Behavioral impairment associated with small doses of Carbon monoxide*, American Journal of Public Health, 57(11), pp. 2012-2022, 1967.
- [228] Romero, J., Lliso, D., *Perception and acoustic conditions in secondary Spanish schools*, Proceedings of the 15th International Congress on Acoustics, Trondheim, Norway, pp. 271-274, 1995.
- [229] Rosenthal, L., Stanfor, V., *NIST Smart Space: Pervasive Computing Initiative*, National Institute of Standards and Technology Information Technology Laboratory, Available from <http://sciencestage.com/d/4101750/nist-smart-space:-pervasive-computing-initiative.html>, [Accessed: 28 February 2015].

- [230] Rowley, H. A., Baluja, S., Kanade, T., *Neural network-based face detection*, , IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20 (1), pp. 23-38, 1998.
- [231] Rui, Y., Gupta, A., Grudin, J., He, L., *Automating lecture capture and broadcast: technology and videography*, Multimedia Systems, 10(1), pp. 3–15, 2004.
- [232] Sanz, S., Garcia, A. M., and Garcia, A., *Road traffic noise around schools: a risk for pupils performance?*, International Archives of Occupational and Environmental Health, 65(3), pp. 205-207, 1993.
- [233] Schefflen, A. E., *The significance of posture in communication systems*, Psychiatry, 27, pp. 316–331, 1964.
- [234] Scherer, K. R., *Personality markers in speech*, Cambridge University Press, Cambridge, 1979.
- [235] Scherer, K. R., Kovumaki, J., Rosenthal, R., *Minimal cues in the vocal communication on affect*, Journal of Psycholinguistic Research, 1, pp. 269-285, 1972.
- [236] Schodl, A., Haro, A., Essa, I., *Head tracking using a textured polygonal model*, Proceedings Workshop on Perceptual User Interfaces, 1998.
- [237] Schoer, L., Shaffran, J., *A combined evaluation of three separate research projects on the effects of thermal environment on learning and performance*. ASHRAE Transactions, 79(1), pp. 97–108, 1973.
- [238] Schuller, B., Müeller, R., Höernler, B., Höethker, A., Konosu, H., Rigoll, G., *Audiovisual recognition of spontaneous interest within conversations*, Proceedings of the International Conference on Multimodal Interfaces, pp. 30–37, 2007.
- [239] Shaughnessy, R. J., Haverinen-Shaughnessy, U., Nevalainen A., Moschandreas, D., *A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms and student performance*, Indoor Air, 16 (6), pp. 465-468, 2006.
- [240] Shen, C. W., Wu, Y. J., Lee, T. C., *Developing a NFC-equipped smart classroom: Effects on attitudes toward computer science*, Computers in Human Behavior, 30, pp. 731-738, 2014.
- [241] Shi, H., *Best-first decision tree learning*, Master thesis, 2007, The University of Waikato, Available from: <http://researchcommons.waikato.ac.nz/bitstream/handle/10289/2317/thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, [Accessed: 28 February 2015].
- [242] Shi Y.C., Xie W.K., Xu G.Y., *Smart Remote Classroom: Creating a Revolutionary Real-time Interactive Distance Learning System*, Proceedings of the 1st International Conference on Web-based Learning, Hong Kong, pp. 130-141, 2002.

- [243] Shield, B., Dockrell, J. E., *External and internal noise surveys of London primary schools*, Journal of the Acoustical Society of America, 115(2), pp. 730-738, 2004.
- [244] Sepheri A., Yacoob, Y., Davis, L., *Employing the hand as an interface device*, Journal of Multimedia, 1(7), pp. 18–29, 2006.
- [245] Silva, R., Bianchi-Berthouze, N., *Modeling human affective postures: an information theoretic characterization of posture features*, Journal of Computational Animation and Virtual World, 15(3–4), pp. 269–276, 2004.
- [246] Simic, K., Stojanovic, M., Djuric, I., *A Model for Smart E-Learning Environment*, Proceedings of the 14th International Symposium, Zlatibor, pp. 377-382, 2014.
- [247] Sjölander, K., Beskow, J., *Wavesurfer – an open source speech tool*, Proceedings of International Conference on Spoken Language Processing, pp. 464–467, 2000.
- [248] SmartSantander, *SmartSantander*, Available from <http://www.smartsantander.eu/>, [Accessed: 28 February 2015].
- [249] Sminchisescu C., Kanaujia, A., Metaxas, D., *Conditional models for contextual human motion recognition*, Computer Vision and Image Understanding, 104(2–3), pp. 210–220, 2006.
- [250] Smith, R., Bradley, G., *The influence of thermal conditions on teachers' work and student performance*, Journal of Educational Administration, 32(1), pp. 34-42, 1994.
- [251] Spreng, R. A., Singh, A. K., *An Empirical Assesment of the SERVQUAL scale and the relationship between service quality and satisfaction*, in Cravens D.W. and Dickson, P. (Eds), Proceedings of the 1993 American Marketing Association, AMA, Chicago, IL, pp. 1-6, 1993.
- [252] Stiefelhagen, R., Bernardin, K., Ekenel, H. K., McDonough, J., Nickel, K., Voit, M., Wolfel, M., *Audio-visual perception of a lecturer in a smart seminar room*, Signal Processing, 86, pp. 3518–3533, 2006.
- [253] Sung, K. K., Poggio, T., *Example-based learning for view-based human face detection*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20(1), pp. 39-51, 1998.
- [254] Suo, Y., Miyata, N., Ishida, T., Shi, Y., *Open Smart Classroom: Extensible and Scalable Smart Space Using Web Service Technology*, Proceedings of the 6th International Conference on Web-based Learning, pp. 428-439, 2007.
- [255] Sureschandar, G. S., Rajendran, C. Kamalanabhan, T. J., *Customer perceptions of service quality: a critique*, Total Quality Management, 12(1), pp. 111-124, 2001.

- [256] Tankard, J. W., *Effects of eye position on person perception*, *Perceptual and Motor Skills*, 31, pp. 883–93, 1970.
- [257] Teichner, W. H., *Carbon Monoxide and Human Performance: A Methodological Exploration*, *Environmental Science Research, Behavioral Toxicology*, 5, pp. 77-104, 1975.
- [258] ThingSpeak, *Getting Started*, Available from <https://thingspeak.com/docs>, [Accessed: 28 February 2015].
- [259] Thureau, C., *Behavior histograms for action recognition and human detection*, *Lecture Notes in Computer Science*, 4814, Springer-Verlag, Berlin, pp. 271–284, 2007.
- [260] Toh A. M., Togneri R., Nordholm S., *Spectral Entropy as Speech Features for Speech Recognition*, *Proceedings of Postgraduate Electrical Engineering and Computing Symposium, Perth*, pp. 22-25, 2005.
- [261] Tran D., Sorokin, A., Forsyth, D. A., *Human activity recognition with metric learning*, *Proceedings of the 10th European Conference on Computer Vision*, pp. 548-561, 2008.
- [262] Truong, K. P., Leeuwen, D. A., *Automatic detection of laughter*, *Proceedings of Interspeech, Lisbon, Portugal*, pp. 485-488, 2005.
- [263] Twardella, D., Matzen, W., Lahrz, T., Burghardt, R., Spiegel, H., Hendrowarsito, L., Frenzel, A. C., Fromme, H., *Effect of classroom air quality on students' concentration: results of a cluster-randomized cross-over experimental study*, *Indoor Air*, 22(5), pp. 378-387, 2012.
- [264] Twitter, Available from <https://twitter.com/>, [Accessed: 28 February 2015].
- [265] Utsumi A., Tetsutani, N., *Human detection using geometrical pixel value structures*, *Proceedings of the IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 34–39, 2002.
- [266] Uzelac, A., Gligoric, N., Krco, S., *A comprehensive study of parameters in physical environment that impact students' focus during lecture using Internet of Things*, *Computers in Human Behavior*, 53, pp. 427-434, 2015, DOI: 10.1016/j.chb.2015.07.023.
- [267] Vieira, S., Kaymak, U., *Cohen's Kappa statistic as a performance measure for feature selection*, *Proceedings of IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 1-8, Barcelona, 2010.
- [268] Vinciarelli, A., Pantic, M., Bourlard, H., *Social signal processing: Survey of an emerging domain*, *Image and Vision Computing*, 27(12), pp. 1743-1759, 2009.

- [269] Viola, P., Jones, M. J., *Robust real-time face detection*, International journal of computer vision , 57(2), pp. 137-154, 2004.
- [270] Voss R., Gruber T., *The desired teaching qualities of lecturers in higher education: a means end analysis*, Quality Assurance in Education, 14(3), pp. 217 – 242, 2006.
- [271] Wang, L., Hu, W., Tan, T., *Recent developments in human motion analysis*, Pattern Recognition, 36(3), pp. 585-601, 2003.
- [272] Wang, J. J., Singh, S., *Video analysis of human dynamics – a survey*, Real Time Imaging, 9(5), pp. 321-346, 2003.
- [273] Wang S., Yang, J., Chen, N., Chen, X., Zhang, Q., *Human Activity Recognition with User-Free Accelerometers in the Sensor Networks*, Proceedings of the International Conference on Neural Networks and Brain, 2, pp. 1212-1217, 2005.
- [274] Wargocki, P., Wyon, D. P., *The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children*, HVAC&R Research, 13(2), pp. 193-220, 2007.
- [275] Wargocki, P., Wyon, D. P., *Research report on effects of HVAC on student performance*, ASHRAE Journal, 48(10), pp. 22-28, 2006.
- [276] Webb, G. I., *MultiBoosting: A Technique for Combining Boosting and Wagging*, Machine Learning, 40(2), 159-196, 2000.
- [277] Werner, L. and Boike, K., *Infants' sensitivity to broadband noise*, Journal of the Acoustical Society of America, 109(5), pp. 2103-2111, 2001.
- [278] Whang, M., Lim, J., *A Physiological Approach to Affective Computing*, chapter 16, Affective Computing, ISBN 978-3-902613-23-3, Publisher: InTech, 2008.
- [279] Williams A. C. C., *Facial expression of pain: an evolutionary account*, Behavioral and Brain Sciences, 25(4), pp. 439–455, 2003.
- [280] Williams C. E., Stevens K. N., *Vocal correlates of emotional states*. In Darby, J. K. Speech Evaluation in Psychiatry (pp. 221-240). New York: NY Grune & Stratton, 1981.
- [281] Wilmes, B., Harrington, L., Kohler-Evans, P., Sumpter, D., *Coming to our senses: incorporating brain research findings into classroom instruction*, Education, 128(4), pp. 659-666, 2008.
- [282] Winera, L. R., Cooperstock, J., *The Intelligent Classroom: changing teaching and learning with an evolving technological environment*, Computers & Education, 38, pp. 253–266, 2002.

- [283] Wiskott, L., Fellous, J., Kruger, N., von der Malsburg, C., *Face recognition by elastic bunch graph matching*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 19(7), pp. 775–779, 1997.
- [284] Witten H., Frank, E., Hall, M. A., *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, Third Edition. Morgan Kaufmann, June 2005, ISBN 0-12088-407-0. Page 491, 2011.
- [285] Witterseh, T., Wyon, D. P., and Clausen, G., *The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on office work*, Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 4, pp. 1084-1089, 2002.
- [286] Wong, N. H., Khoo, S. S. *Thermal Comfort in Classrooms in the Tropics*, Energy and Buildings, 35(4), pp. 337–351, 2003.
- [287] Wren, C., Azarbayejani, A., Darrell, T., Pentland, A., *Pfinder: Real-time tracking of the human body*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 19(7), pp. 780–785, 1997.
- [288] Wurtman, R. J., *The Effects of Light on the Human Body*, Scientific American, 233(1), pp. 68-77, 1975.
- [289] Wyon, D. P., *Studies of children under imposed noise and heat stress*, Ergonomics, 13(5), pp. 598-612, 1970.
- [290] Wyon, D. P., Andersen, I., Lundqvist, G. R., *The effects of moderate heat stress on mental performance*, Scandinavian Journal of Work Environment and Health, 5, pp. 352–361, 1979.
- [291] Wyon, D. P., Fanger, P. O., Olesen, B. W., Pedersen, C. J., *The mental performance of subjects clothed for comfort at two different air temperatures*, Ergonomics, 18(4), pp. 359–374, 1975.
- [292] Xie W., Shi Y., Xu G., Xie D., *Smart Classroom - an Intelligent Environment for Tele-education*, Proceeding of the 2nd IEEE Pacific Rim Conference on Multimedia, pp. 662–668, 2001.
- [293] Xu, P., Han, G., Li, W., Wu, Z., Zhou, M., *Towards Intelligent Interaction in Classroom*, Lecture Notes in Computer Science, 2009, 5616, pp. 150-156, 2009.
- [294] Yang, M. H., Kriegman, D. J., Ahuja, N., *Detecting faces in images: A survey*, IEEE Trans, Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24(1), pp. 34-58, 2002.
- [295] Yokoi, T., Fujiyoshi, H., *Virtual camera work for generating lecture video from high resolution images*, IEEE International Conference on Multimedia and Expo, pp. 751-754, 2005.

- [296] Zeithaml, V. A., Parasuraman, A. Berry, L. L., *Delivering Quality Service: Balancing Customer Perceptions and Expectations*, The Free Press, New York, NY., page 23, 1990.
- [297] Zembylas, M., Schutz, P. A., *Research on teachers' emotions in education: Findings, practical implications and future agenda*. In P. A. Schutz & M. Zembylas. *Advances in teacher emotion research: The impact on teachers' lives* (pp. 367–377). New York, NY: Springer, 2009.
- [298] Zeng, Z., Fu, Y., Roisman, G. I., Wen, Z., Hu, Y., Huang, T. S., *Spontaneous emotional facial expression detection*, *Journal of Multimedia*, 1(5), pp. 1–8, 2006.
- [299] Zhang, C., Rui, Y., Crawford, J., He, L., *An Automated End-to-End Lecture Capture and Broadcasting System*, *Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, 2008.
- [300] Zhao, L., Badler, N. I., *Gesticulation Behaviors for Virtual Humans*, *Sixth Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*, pp. 161 – 168, 1998.
- [301] Zhu, Q., Avidan, S., Yeh, M. C., Cheng, K. T., *Fast human detection using a cascade of histograms of oriented gradients*, *Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1491–1498, 2006.

11. Списак слика

Слика 1. Блок дијаграм сензорског чвора [78].....	9
Слика 2. Акционе јединице које учествују у приказу емоције [66].....	25
Слика 3. Приказ шест основних универзално препознатљивих емоција [83]	26
Слика 4. Пример гласовног сегмента у спектрограму.....	33
Слика 5. Архитектура система	60
Слика 6. Старосна структура испитаника	63
Слика 7. Утицај различитих фактора на квалитет предавања.....	64
Слика 8. Поставка сензора у окружењу у коме је вршено мерење	69
Слика 9. Саставне компоненте система	82
Слика 10. Архитектура система и нивои	84
Слика 11. Архитектура система	85
Слика 12. График који представља да ли су студенти задовољни предавањем генерисан коришћењем <i>ThingSpeak</i> платформе.....	89
Слика 13. Локални презентациони интерфејс – задовољство студената предавањем	91
Слика 14. Локални презентациони интерфејс - екстраховане гласовне карактеристике	91
Слика 15. Локални презентациони интерфејс - средња вредност спектралне ентропије	92
Слика 16. Локални презентациони интерфејс – ниво угљен-диоксида	92
Слика 17. Локални презентациони интерфејс – интензитет померања руке	93
Слика 18. Локални презентациони интерфејс – проценат времена када су студенти били задовољни и незадовољни квалитетом предавања	93
Слика 19. Дијаграм случајева коришћења система	95
Слика 20. Дијаграм секвенци случаја коришћења – покретање система.....	97
Слика 21. Дијаграм секвенци случаја коришћења – алтернативни сценарио за покретање система	98

Слика 22. Дијаграм секвенци случаја коришћења – праћење задовољства студената преко интерфејса.....	99
Слика 23. Дијаграм секвенци случаја коришћења – алтернативни сценарио за праћење задовољства студената преко интерфејса	99
Слика 24. Дијаграм секвенци случаја коришћења – искључивање система.....	100
Слика 25. Дијаграм секвенци случаја коришћења – алтернативни сценарио за искључивање система	101

12. Списак табела

Табела 1. Преглед паметних учионица са карактеристикама [81]: [А] виртуелни асистенти, [Р] аутоматизовано снимање предавања, [Д] дигитализација писаних материјала, [К] системи за видео/аудио конференције, [В] виртуелизација учесника	15
Табела 2. Компоненте невербалног вокалног понашања са техникама мерења	24
Табела 3. Детекција и праћење лица и оријентације главе и технике које се при томе користе	29
Табела 4. Технике за детекцију гестикулације и држања тела.....	31
Табела 5. Списак гласовних карактеристика са њиховом поделом	37
Табела 6. Приказ претходних истраживања у области препознавања активности	41
Табела 7. Старосна структура испитаника.....	62
Табела 8. Параметри који утичу на квалитет предавања	63
Табела 9. Параметри физичког окружења који би могли имати утицај на квалитет предавања.....	67
Табела 10. Листа параметара екстрахованих из звучног извора који имају значајан утицај на задовољство студента, З – представља сегменте где су студенти задовољни квалитетом предавања, НЗ – сегменте за време којих студенти нису били задовољни квалитетом предавања	73
Табела 11. Листа параметара који имају значајан утицај на задовољство студента; З – представља сегменте где су студенти задовољни квалитетом предавања, НЗ – сегменте за време којих студенти нису били задовољни квалитетом предавања	74
Табела 12. Листа евалуираних класификатора; <i>TP</i> – стопа стварно позитивних, <i>FP</i> – стопа лажно позитивних; <i>З</i> – сегменти када су студенти задовољни квалитетом предавања; <i>НЗ</i> – сегменти када студенти нису задовољни квалитетом предавања	77
Табела 13. Атрибути и њихове ефективности	78
Табела 14. Листа параметара који се мере ради одређивања квалитета предавања.....	80

Табела 15. Карактеристике <i>dataset</i> -ова коришћене у евалуацији; 3 инстанца – сегмент на којем су студенти задовољни квалитетом; НЗ инстанца – сегмент где студенти нису задовољни квалитетом предавања.....	102
Табела 16. Карактеристике <i>dataset</i> -ова коришћене у евалуацији; 3 инстанца – сегмент на којем су студенти задовољни квалитетом; НЗ инстанца – сегмент где студенти нису задовољни квалитетом предавања.....	102
Табела 17. Тачност система за појединачне <i>dataset</i> -ове.....	102

13. Прилози

Прилог А – Анкета

Datum rođenja _____

Pol

Ženski

Muški

Označite šta po Vama ima najveći uticaj na kvalitet predavanja:

1. Spoljašnja buka

Veliki uticaj	Ima uticaj	Ne znam	Mali uticaj	Ne utiče
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Monoton glasa predavača

Veliki uticaj	Ima uticaj	Ne znam	Mali uticaj	Ne utiče
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Prejaka ili preslaba osvetljenost

Veliki uticaj	Ima uticaj	Ne znam	Mali uticaj	Ne utiče
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Neprilagođena temperatura

Veliki uticaj	Ima uticaj	Ne znam	Mali uticaj	Ne utiče
---------------	------------	---------	-------------	----------

5. Veliki broj studenata u učionici

Veliki uticaj	Ima uticaj	Ne znam	Mali uticaj	Ne utiče
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Šta bi još po Vama moglo da ima uticaj na predavanja a da nije navedeno?

Koliko bi trebalo da traje optimalan čas?

90 min	60 min	45 min	30 min	Ne znam
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Koji od termina Vam najviše odgovara za slušanje predavanja (pod uslovom da nemate obaveza i da možete da birate)?

Jutro	Podne	Posle podne	Veče	Ne znam
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Koji od dana u nedelji su najbolji za držanje predavanja?

Ponedeljak	Petak	Od utorka do četvrtka	Vikend	Ne znam
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

U kom godišnjem dobu najlakše pratite predavanja?

Proleće	Leto	Jesen	Zima	Ne znam
---------	------	-------	------	---------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

U kom godišnjem dobu najteže pratite predavanja?

Proleće	Leto	Jesen	Zima	Ne znam
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Kada Vam je predavanje dosadno, kako to ispoljavate?

1. Pričam sa kolegama

Uvek	Često	Retko	Nikad	Ne znam
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Gledam kroz prozor

Uvek	Često	Retko	Nikad	Ne znam
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Vrpeljim se na stolici

Uvek	Često	Retko	Nikad	Ne znam
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Klackam se na stolici

Uvek	Često	Retko	Nikad	Ne znam
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Crtam po papiru

Uvek	Često	Retko	Nikad	Ne znam
------	-------	-------	-------	---------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

6. Koristim telefon

Uvek	Često	Retko	Nikad	Ne znam
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Igram se sa predmetima (gumicom, olovkom..)

Uvek	Često	Retko	Nikad	Ne znam
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8. Pravim se da pratim predavanje iako mi je dosadno

Uvek	Često	Retko	Nikad	Ne znam
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Dešava mi se da zevam

Uvek	Često	Retko	Nikad	Ne znam
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Surfujem internetom

Uvek	Često	Retko	Nikad	Ne znam
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Na koji još način ispoljavate dosadu na predavanjima a da prethodno nije navedeno?

Прилог Б – Подаци које региструје трокоординатни акцелерометар снимају се у csv фајлу

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	ACCELEROM	ACCELEROM	ACCELEROM	YYYY-MO-DD HH-MI-SS_SSS														
2	0.0953	-0.0272	9.8339	2014-05-12 11:22:20:841														
3	0.0545	-0.0272	9.8748	2014-05-12 11:22:20:891														
4	0.0681	-0.0272	9.902	2014-05-12 11:22:20:941														
5	0.0953	-0.0409	9.7658	2014-05-12 11:22:20:994														
6	0.0817	-0.0272	9.8339	2014-05-12 11:22:21:057														
7	0.0953	-0.0272	9.9292	2014-05-12 11:22:21:110														
8	0.0681	-0.0409	10.011	2014-05-12 11:22:21:162														
9	0.0681	-0.0409	10.011	2014-05-12 11:22:21:212														
10	0.0545	-0.0136	9.9156	2014-05-12 11:22:21:262														
11	0.0409	-0.0409	10.0246	2014-05-12 11:22:21:312														
12	0.109	-0.0272	9.8611	2014-05-12 11:22:21:363														
13	0.0953	-0.0272	9.902	2014-05-12 11:22:21:416														
14	0.0545	0.0409	9.902	2014-05-12 11:22:21:474														
15	0.0953	-0.0272	9.9292	2014-05-12 11:22:21:524														
16	0.0953	-0.0272	9.9292	2014-05-12 11:22:21:574														
17	0.0817	0.0272	9.9701	2014-05-12 11:22:21:624														
18	0.0953	0.0272	9.8884	2014-05-12 11:22:21:674														
19	0.0545	-0.0272	9.8611	2014-05-12 11:22:21:740														
20	0.0681	-0.0136	9.7522	2014-05-12 11:22:21:802														
21	0.0953	-0.0272	9.8203	2014-05-12 11:22:21:863														
22	0.0409	-0.0545	9.7658	2014-05-12 11:22:21:914														
23	0.0409	-0.0545	9.8067	2014-05-12 11:22:21:964														
24	0.0545	-0.0272	9.8339	2014-05-12 11:22:22:014														
25	0.0545	-0.0409	9.8475	2014-05-12 11:22:22:069														

Прилог В – Код у Matlab-у који снима звук

```
1 - fs=8000;
2 - trajanje=31;
3 - brojac=1;
4
5 - while (fs==8000)
6 -     novi = waverecord(trajanje*fs, fs);
7 -     fprintf('Snimljenja deonica\n');
8 -     fname=sprintf('deonica%d.wav',brojac);
9 -     novi = (novi(:, [1 1]));
10 -    wavwrite(novi, fs, fname);
11 -    brojac=brojac+1;
12 - end
13
14
15
```

Прилог Г – *Matlab* код којим се покреће паметна учионица

```
1      %pokretanje pametna ucionica
2
3      %prvih 30 frejmova
4      N=30;
5
6      %brojac za ime fajla
7      brojac=1;
8
9      %indeks za matricu
10     j=1;
11
12     % snimanje deonica
13     pause(30);
14
15     %definisanje tajmera
16
17     t=timer;
18     set(t, 'executionMode', 'fixedRate');
19     set(t, 'period', 30);
20     set(t, 'TimerFcn', 'extract_features');
21     start(t);
```

Прилог Д – *Matlab* код којим се врши екстракција параметара и позив класификатора

```
1      %ekstrakcija iz zvuka zapoceta
2 -     sound_name=sprintf('sound%d.wav', brojac);
3 -     features=speech_features_stereo(sound_name);
4 -     [states_voiced, states_speaking]=voicing_speaking(features, 'threshold');
5 -     [means, stds, others]=chunk_features(features, states_voiced, states_speaking, 0.5);
6
7      %ekstrakcija iz zvuka završena
8
9      %pravljenje matrice za klasifikaciju
10 -    matrica(1:6)=others(1:6);
11 -    matrica(7:14)=means(1:8);
12 -    matrica(15:22)=stds(1:8);
13 -    matrica(23)=brojPokreta;
14
15     %poziv klasifikatora
16 -    zoviweku2(matrica)
17
18
```

Прилог Б – *Matlab* код којим се позива класификатор

```
1 -   javaaddpath('C:\Program Files\Weka-3-6\weka.jar');
2
3 -   import weka.classifiers.*;
4 -   import weka.classifiers.Classifier.*;
5 -   import weka.classifiers.trees.RandomForest.*;
6 -   import weka.classifiers.Evaluation.*;
7
8     % calling classifier from matlab
9 -   v1 = java.lang.String('-t');
10    %ucitavanje modela
11 -   v2 = java.lang.String('C:\programi\weka\vezbahumidexdopunjenExperimentBezV.arff');
12
13 -   v31=java.lang.String('-x');
14 -   v32=java.lang.String('10');
15
16 -   v3 = java.lang.String('-T');
17 -   v4 = java.lang.String('C:\programi\weka\evaluacijakoncentracijalavrednost.arff');
18
19 -   v8 = java.lang.String('-p');
20 -   v9 = java.lang.String('0');
21
22 -   prm = cat(1,v1,v2,v3,v4,v8,v9);
23
24 -   classifier = javaObject('weka.classifiers.trees.RandomForest');
25
26 -   weka.classifiers.Evaluation.evaluateModel(classifier,prm)
27
28 -   disp(ans.charAt(143));
29
```

14. Биографија аутора

Ана Узелац је рођена 1977. године у Ужицу. Основну школу и гимназију је завршила у Ужицу. Дипломирала је 2001. године на Математичком факултету у Београду, на смеру рачунарство и информатика.

Од 2001. до 2008. године је радила као програмер и вођа тима на разним пројектима од националног и међународног значаја.

Докторске студије започиње 2008. године, када уписује смер Електронско пословање на Факултету организационих наука, чиме започиње и научноистраживачки рад.

2009. године почиње да ради као асистент на Саобраћајном факултету у Београду, на Катедри за општу и примењену математику, на ужој научној области „Информатика” где је асистент на три предмета на основним студијама и на два предмета на мастер студијама.

Заједно са стручњацима и истраживачима из целе Европе похађала је летњу школу „*SenZations*” 2010. чија тематика су сензорске мреже и *IoT* са разним применама. Тада почиње да се интензивније бави проучавањем начина праћења људских интеракција коришћењем првенствено сензорских мрежа. Редовно прати достигнућа у овој области, пратећи радове неколико водећих научника и истраживача ове области. И наредних године се прикључује летњој школи „*SenZations*” како би стекла увид у нова истраживања у тој области.

Објавила је десетину научних радова од којих је један индексиран у *IEEE Xplore* бази, а један од радова се налази на *SCI* листи. Поред великог броја радова, коаутор је најновијег издања уџбеника за предмет Основи програмирања.

Жеља јој је да у научном домену што више напредује, да се посвети истраживању примене сензорских технологија у паметној учионици и да баш у тој области стекне највише академско звање.

Изјава о ауторству

Потписана Ана Узелац

број уписа 2008/05

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

**ПРАЋЕЊЕ ПАРАМЕТАРА ФИЗИЧКОГ ОКРУЖЕЊА ПРИМЕНОМ ИНТЕРНЕТА
ИНТЕЛИГЕНТНИХ УРЕЂАЈА У ЦИЉУ АНАЛИЗЕ ЊИХОВОГ УТИЦАЈА НА
КВАЛИТЕТ ПРЕДАВАЊА**

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршила ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 23.9.2015.



**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије
докторског рада**

Име и презиме аутора	Ана Узелац
Број уписа	2008/05
Студијски програм	Електронско пословање
Наслов рада	ПРАЋЕЊЕ ПАРАМЕТАРА ФИЗИЧКОГ ОКРУЖЕЊА ПРИМЕНОМ ИНТЕРНЕТА ИНТЕЛИГЕНТНИХ УРЕЂАЈА У ЦИЉУ АНАЛИЗЕ ЊИХОВОГ УТИЦАЈА НА КВАЛИТЕТ ПРЕДАВАЊА
Ментор	Проф. др Божидар Раденковић

Потписани Ана Узелац

изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предала за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 23.9.2015.



Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ПРАЋЕЊЕ ПАРАМЕТАРА ФИЗИЧКОГ ОКРУЖЕЊА ПРИМЕНОМ ИНТЕРНЕТА ИНТЕЛИГЕНТНИХ УРЕЂАЈА У ЦИЉУ АНАЛИЗЕ ЊИХОВОГ УТИЦАЈА НА КВАЛИТЕТ ПРЕДАВАЊА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучила.

① Ауторство

2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 23.9.2015.



1. Ауторство - Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.