

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA**  
**FACULTATEA DE ELECTRONICĂ**  
**TELECOMUNICAȚII ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI**  
**Specializarea: Tehnologii și Sisteme de Telecomunicații**

**Clasificarea semnalelor audio pe baza coeficienților  
cepstrali de predicție liniară**

**Proiect de diplomă**

**Absolvent,**  
**Ionuț - Cătălin SUCIU**

**Decan,**  
**Prof.dr.ing. Gabriel OLTEAN**

**Președinte comisie,**  
**Prof.dr.ing. Sorin HINTEA**

**2018**

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA**  
**FACULTATEA DE ELECTRONICĂ**  
**TELECOMUNICAȚII ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI**

**Departamentul Bazele Electronicii**

**Titlul proiectului de diplomă:**

**Clasificarea semnalelor audio pe baza coeficienților cepstrali de predicție liniară**

**Descrierea temei:**

Tema acestui proiect de diplomă a fost clasificarea semnalelor audio pe baza caracteristicilor LPCC (Linear Prediction Cepstral Coefficients) și a clasificatorului Random Forest.

Semnalele audio utilizate în această lucrare au fost înregistrate cu un robot de servicii. Pentru descrierea semnalelor audio s-au folosit caracteristicile LPCC, iar pentru clasificare s-a utilizat Random Forest.

Rezultatele obținute sunt ilustrate pentru un număr diferit de caracteristici. Extragerea caracteristicilor s-a realizat în MATLAB, iar partea de clasificare în WEKA.

**Locul de realizare:**

Laborator 306 Observator

**Data emiterii temei:** 20.10.2017

**Data predării temei:** 12.07.2018

**Absolvent,**

**Ionuț - Cătălin SUCIU**

**Director departament,**

**Prof.dr.ing. Sorin HINTEA**

**Conducător,**

**Conf.dr.ing. Lăcrimioara GRAMA**

**Absolvent: Ionuț - Cătălin SUCIU**

**Conducător: Conf.dr.ing. Lăcrimioara GRAMA**

## **SINTEZA PROIECTULUI DE DIPLOMĂ**

### **Clasificarea semnalelor audio pe baza coeficienților cepstrali de predicție liniară**

Subiectul acestui proiect de diplomă este clasificarea semnalelor audio pe baza caracteristicilor LPCC (Linear Prediction Cepstral Coefficients) și a clasificatorului Random Forest. Semnalele audio utilizate în această lucrare au fost înregistrate cu un robot de servicii. S-au utilizat 21 de clase de semnale acustice ce corespund la 2 scenarii diferite. Fiecare clasă conține 30 de fișiere audio. Scenariul *bucătărie* conține 8 clase (scaun, apă chiuvetă, apă picături, apă duș, farfurie porțelan, tacâmuri, fâșâit pungă, obiect carton), scenariul *cameră* conține 8 clase (pagii carte, scai, deschidere fermoar, închidere fermoar, ciocănit ușă, cheie ușă, deschidere ușă, închidere ușă) și scenariul *non-verbal* conține 5 clase (bătut din palme, pocnet de degete, tuse, râs, fluierat). Pentru descrierea semnalelor audio s-au folosit caracteristicile LPCC, iar pentru clasificare s-a utilizat Random Forest. S-a studiat influența numărului de caracteristici LPCC asupra ratei corecte de clasificare. Pentru aceasta s-a utilizat un număr diferit de caracteristici: 10, 12, 14, ..., 38.

### **Classification of audio signals based on linear prediction cepstral coefficients**

Linear prediction is an autocorrelation analysis. Therefore, it can be addressed either in the time or frequency domains.

The purpose of this paper is to classify audio signals as efficiently as possible using linear prediction cepstral coefficients. The compilation of the audio signals was accomplished using the Matlab programming platform. Their classification was done in Weka, which contains a collection of visualization tools and algorithms for data analysis and predictive modeling. It used the cross-validation method using the Random Forest classifier in which the data is divided into three. One third is used to test the classifier, and the two thirds for the "training" of the classifier.

Following these methods and by adding more coefficients we managed to obtain 96.19% of the correct classification of the instances. There was a prediction agreement with class over 0.9, reaching almost complete agreement.

*Avizul conducătorului*

Conducător,

Absolvent,

## ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by a grant of the Romanian National Authority for Scientific Research and Innovation, CNCS/CCCDI–UEFISCDI, project number PNIII-P2-2.1-BG-2016-0378, 54BG/2016, within PNCDI III.

## FINANȚARE

Această lucrare de diplomă a fost realizată în cadrul grantului finanțat de Autoritatea Națională Română pentru Cercetare Științifică și Inovare, CNCS/CCCDI–UEFISCDI, prin proiectul cu numărul PNIII-P2-2.1-BG-2016- 0378, 54BG/2016, PNCDI III.

## Listă de tabele

Tabel 1. Interpretarea lui Kappa .....	35
Tabel 2. Comparație între coeficienți .....	53

Figura 44.Marginea curbei pentru 18 coeficienți.....	61
Figura 45.Pragul-Costul/Beneficiul Curbei pentru 18 coeficienți.....	61
Figura 46.Marginea curbei pentru 20 de coeficienți.....	62
Figura 47.Pragul curbei pentru 20 de coeficienți al clasei 01.....	62
Figura 48.Pragul curbei pentru 22 de coeficienți al clasei 01.....	63
Figura 49.Clasificarea erorilor pentru 24 de coeficienți.....	63
Figura 50.Marginea curbei pentru 28 de coeficienți.....	64
Figura 51.Clasificarea erorilor pentru 30 de coeficienți.....	64
Figura 52.Pragul curbei pentru 32 de coeficienți al clasei 15.....	65
Figura 53.Pragul curbei pentru 34 de coeficienți al clasei 46.....	65
Figura 54.Pragul curbei pentru 36 de coeficienți al clasei 14.....	66
Figura 55.Marginea curbei pentru 38 de coeficienți.....	66

## Listă de Figuri

Figura 1.Evoluția roboților de-a lungul anilor.....	13
Figura 2.Training and classification phases of Random Forest .....	14
Figura 3.Modelul discret de producție a vorbirii.....	16
Figura 4. Modelul analizei și sintezei LP.....	18
Figura 5. Cadru de vorbire împreună cu spectrul puterii log, secvența de autocorelație și cepstrum .....	21
Figura 6. Spectrul de magnitudine .....	22
Figura 7.Coefficienți cepstrali .....	23
Figura 8.Schema diagramei pentru analiza LPCC .....	24
Figura 9.Random Forest .....	26
Figura 10.Cross-validation .....	27
Figura 11.Rulare informații .....	34
Figura 12.Modelul clasificatorului.....	34
Figura 13.Rezultatele testului ales .....	35
Figura 14.Evaluarea entropiei.....	37
Figura 15.Estimarea out-of-bag .....	37
Figura 16.Acuratețea detaliată .....	37
Figura 17.Matricea de confuzie .....	39
Figura 18.Clasificarea erorilor pentru 10 coeficienți.....	40
Figura 19.Marginea curbei pentru 12 coeficienți.....	41
Figura 20.Clasificarea erorilor pentru 14 coeficienți.....	42
Figura 21.Marginea curbei pentru 16 coeficienți.....	43
Figura 22.Clasificarea erorilor pentru 18 coeficienți.....	44
Figura 23.Clasificarea erorilor pentru 20 de coeficienți.....	44
Figura 24.Clasificarea erorilor pentru 22 de coeficienți.....	45
Figura 25.Marginea curbei pentru 24 de coeficienți.....	46
Figura 26.Curba costului pentru clasa 01 .....	46
Figura 27.Curba costului pentru clasa 08 .....	47
Figura 28.Clasificarea erorilor pentru 28 de coeficienți.....	48
Figura 29.Pragul-Costul/Beneficiul Curbei pentru 30 de coeficienți.....	49
Figura 30.Curba costului pentru clasa 15 .....	50
Figura 31.Clasificarea erorilor pentru 34 de coeficienți.....	50
Figura 32.Clasificarea erorilor pentru 36 de coeficienți.....	51
Figura 33.Clasificarea erorilor pentru 38 de coeficienți.....	52
Figura 34.Matricea de confuzie a setului cu 34 de coeficienți.....	52
Figura 35.Arborele clasificării .....	53
Figura 36.Marginea curbei pentru 10 coeficienți.....	57
Figura 37. Pragul-Costul/Beneficiul Curbei pentru 10 coeficienți.....	57
Figura 38.Clasificarea erorilor pentru 12 coeficienți.....	58
Figura 39.Pragul-Costul/Beneficiul Curbei pentru 12 coeficienți.....	58
Figura 40.Marginea curbei pentru 14 coeficienți.....	59
Figura 41.Pragul-Costul/Beneficiul Curbei pentru 14 coeficienți.....	59
Figura 42.Clasificarea erorilor pentru 16 coeficienți.....	60
Figura 43.Pragul-Costul/Beneficiul Curbei pentru 16 coeficienți.....	60

6.15 Setul cu 38 de coeficienți.....	51
7.Concluzii.....	54
8.Bibliografie.....	55
9.Anexe .....	57

# Cuprins

Listă de Figuri.....	4
Listă de tabele.....	6
1.Summary.....	7
2.Planificarea activității.....	12
3.Stadiul actual.....	13
4.Fundamentare teoretică.....	16
4.1 Predicția liniară.....	16
4.2 Aplicații.....	18
4.3 Compresia datelor prin predicție liniară.....	19
4.3.1Reprezentări alternative ale predictorului liniar.....	19
4.4 Cepstrum.....	21
4.4.1 Analiza cepstrală ca deconvoluție.....	22
4.5 LPCC.....	23
4.6 Random Forest.....	25
5.Implemetarea soluției adoptate.....	28
5.1 Exemplificarea metodei utilizând cod în Matlab.....	28
5.2 Exemplificarea metodei utilizând Weka.....	33
6. Rezultate experimentale.....	40
6.1 Setul de 10 coeficienți.....	40
6.2 Setul de 12 coeficienți.....	41
6.3 Setul de 14 coeficienți.....	42
6.4 Setul de 16 coeficienți.....	42
6.5 Setul de 18 coeficienți.....	43
6.6 Setul cu 20 de coeficienți.....	44
6.7 Setul cu 22 de coeficienți.....	45
6.8 Setul cu 24 de coeficienți.....	45
6.9 Setul cu 26 de coeficienți.....	46
6.10 Setul cu 28 de coeficienți.....	47
6.11 Setul cu 30 de coeficienți.....	48
6.12 Setul cu 32 de coeficienți.....	49
6.13 Setul cu 34 de coeficienți.....	50
6.14 Setul cu 36 de coeficienți.....	51

## Abrevieri și acronime

LPC	- Linear Predictive Coding
MFCC	- Mel Frequency Cepstral Coefficients
PLP	- Linear Predictive Prediction
RF	- Random Forest
CART	- Classifier and Regression Tree
OOB	- Out-of-bag
MA	- Moving Average
AR	- Autoregressive
ARMA	- Autoregressive Moving Average
EEG	- Electroencephalogram
DFT	- Discret Fourier Transform
IDFT	- Inverse Discret Fourier Transform
LPCC	- Linear Predictive Cepstral Coefficients
LFCC	- Linear Frequency Cepstral Coefficients
RC	- Reflection Coefficient
ARFF	- Attribute Relation File Format
WEKA	- Waikato Environment for Knowledge Analysis
MAE	- Mean Absolute Error
RMSE	- Root Mean Squared Error
RAE	- Relative Absolute Error
RRSE	- Root Relative Squared Error
MBE	- Mean Bias Error
TP	- True Positive
FP	- False Positive
PPV	- Positive Predictive Values
FN	- False Negative
TN	- True Negative
MCC	- Matthews Correlation Coefficient
ROC	- Receiver Operating Characteristic
PRC	- Precision Recall Curves