**Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca**

**Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației**

**ASRSV**

**Sintetizator virtual implementat cu Python**

Profesor coordonator: Student:

prof. dr. ing. Eugen Lupu Jimon Lucian-Daniel

2024

**Cuprins**

[Introducere 3](#_Toc153667075)

[Despre proiect 3](#_Toc153667076)

[Problema 3](#_Toc153667077)

[Soluția 3](#_Toc153667078)

[Tehnici de programare Python și învățare automată 3](#_Toc153667079)

[Fundamentare teoretică 4](#_Toc153667080)

[Sinteza digitală a sunetelor 4](#_Toc153667081)

[Alte Tehnici de Sinteză Digitală 4](#_Toc153667082)

[Implementare 5](#_Toc153667083)

[Set de date 5](#_Toc153667084)

[GUI 6](#_Toc153667085)

[Rezultate 7](#_Toc153667086)

[Concluzie și posibile îmbunătățiri 8](#_Toc153667087)

[Bibliografie 9](#_Toc153667088)

# Introducere

## Despre proiect

Prezentul proiect intitulat „Sintetizator virtual implementat cu Python” a fost structurat și dezvoltat ca parte a materiei „Analiza, sinteza și recunoașterea semnalului vocal”. Proiectul utilizează mai multe aspecte teoretice și de programare ce sunt utilizate în domeniul strâns legat al materiei, acela de analiză și recunoaștere vocală, însă diferă în motivul principal, care în cazul de față este generare de sunete muzicale, și nu vocale.

Scopul proiectului a fost dezvoltarea unui software care, bazat pe tehnici de procesare și generare de sunet, poate simula o octavă dintr-un sintetizator (orgă) digitală, sunetul căreia poate fi modificat de utilizator.

### Problema

Problema principală a obiectivului proiectului a fost găsirea unei soluții de a putea genera mai multe sunete în același timp, pentru a reda senzația de orgă reală, cât de mult se poate. Acest aspect a fost tratat prin strategia de multi-threading, astfel procesorul poate genera notele muzicale în mod paralel. O altă

### Soluția

După cum sugerează titlul lucrării, limbajul de programare folosit a fost Python, care, printre alte beneficii extraordinare, vine cu o utilizare extinsă a diferitelor biblioteci și funcții predefinite sau open-source, în special în domeniul științei datelor. Astfel, Python a fost ales ca instrument principal al proiectului, și module specifice analizelor și sintezelor de date ca numpy.

Proiectul combină în mod unic sinteza digitală a sunetului, anvelopa ADSR, efectele de întârziere și elementele interactive ale interfeței grafice pentru o experiență de utilizare îmbucurătoare..

În cele din urmă, deoarece scripturile au fost destinate să fie utilizate de utilizatori umani, GUI-ul pentru proiect a fost realizat cu Tkinter, care este biblioteca standard GUI pentru Python.

## Tehnici de programare Python și învățare automată

Python este unul dintre cele mai populare limbaje de programare, fiind un limbaj rapid, ușor de înțeles și accesibil, cu mii de biblioteci disponibile, făcându-l cel mai folosit limbaj de programare din câțiva ani (la ora actuală Python este încă cel mai folosit limbaj de programare). și a câștigat premiul „Cel mai bun limbaj de programare 2021” [[1]](#footnote-1)).

Una dintre principalele utilizări ale Python este în știința datelor, iar acest lucru poate fi dovedit de multitudinea de biblioteci de învățare automată, simplitatea utilizării lor în scripturi și ușurința sintaxei limbajului, făcându-l perfect pentru scopuri precum acest proiect. .

# Fundamentare teoretică

## Sinteza digitală a sunetelor

Sinteza digitală a sunetelor este un proces complex și diversificat care implică crearea de sunete prin metode electronice, folosind algoritmi de calculator. Această tehnică, care a evoluat considerabil de la primele sale zile, atunci când sintetizatoarele analogice erau standardul, a cunoscut o evoluție remarcabilă în era digitală. Sintetizatoarele moderne pot fi fie hardware, fie software, aducând o nouă putere și flexibilitate în tehnologia digitală. Ele permit producătorilor de muzică și artiștilor să creeze sunete care altfel ar fi dificil sau imposibil de generat prin metode acustice tradiționale.

## Generarea de forme de undă

În centrul sintezei sunetului stă generarea formelor de undă. O formă de undă este o reprezentare grafică a variațiilor de presiune sonoră sau a semnalului electric care produce sunetul. Sintetizatoarele digitale încep procesul de sinteză cu un oscilator care generează o frecvență sonoră sub forma unei forme de undă. Există mai multe tipuri de forme de undă utilizate în sinteza digitală, inclusiv undele sinusoidale, pătrate și triunghiulare.

* Unda Sinusoidală: Este cea mai simplă formă de undă și produce un ton pur și clar. Datorită naturii sale netede, este adesea utilizată ca bază pentru alte forme de undă mai complexe.
* Unda Pătrată: Are un caracter distinct, producând un ton mai aspru și mai bogat în armonice decât unda sinusoidală. Este frecvent folosită în muzica electronică pentru a crea sunete de bas sau lead-uri care se remarcă în mix.
* Unda Triunghiulară: Ocupă un loc intermediar între unda sinusoidală și cea pătrată, având un caracter mai moale decât unda pătrată, dar mai bogat în armonice decât unda sinusoidală.

## Notele Muzicale

Notele muzicale sunt esențiale în muzică, fiecare notă reprezentând o frecvență sonoră specifică. De exemplu, nota "La" standard (A) are o frecvență de 440 Hz. În sintetizatoare, fiecare notă este generată prin ajustarea frecvenței oscilatorului pentru a produce frecvența corespunzătoare notei. Acest lucru permite sintetizatoarelor să imite sunetele instrumentelor acustice sau să creeze sunete complet noi și unice.

## Funcționarea Sintetizatoarelor

Sintetizatoarele funcționează prin generarea și manipularea electronică a undelor sonore. Ele utilizează diverse tehnici, cum ar fi oscilatoarele pentru generarea undelor sonore, filtrele pentru modelarea timbrului și modulatoarele pentru a adăuga dinamism și expresivitate sunetelor. Un aspect esențial în sinteza sunetului este capacitatea de a combina și modifica aceste componente pentru a produce o gamă largă de sunete.

## Imitarea Instrumentelor Acustice

Unul dintre cele mai fascinante aspecte ale sintetizatoarelor este capacitatea lor de a imita sunetele instrumentelor acustice tradiționale, cum ar fi pianul, vioara sau flautul. Acest lucru se realizează prin modelarea atentă a caracteristicilor specifice ale sunetelor acestor instrumente, cum ar fi atacul, decăderea, menținerea și eliberarea sunetului, precum și prin simularea rezonanței și altor proprietăți acustice.

## Tehnici Avansate de Sinteză

Pe lângă formele de undă de bază și imitarea instrumentelor acustice, sintetizatoarele digitale oferă și alte tehnici avansate de sinteză. Printre acestea se numără:

* Sinteza Aditivă: Această tehnică modelează un spectru sonor ca un set de linii discrete corespunzătoare sinusoidelor. Prin combinarea diferitelor frecvențe și amplitudini ale acestor componente, se poate crea o gamă largă de sunete.
* Sinteza FM (Modulare în Frecvență): Utilizează două oscilatoare, unul pentru generarea unei frecvențe originale și celălalt pentru modularea primului prin introducerea armonicelor suplimentare. Această tehnică a fost popularizată de sintetizatorul Yamaha DX7 și este cunoscută pentru sunetele sale metalice și vibrante.
* Sinteza Granulară: În această tehnică, sunetele sunt descompuse în „grăuncioare” mici și apoi recombinate pentru a crea texturi noi și complexe. Sinteza granulară este excelentă pentru crearea de peisaje sonore și texturi neregulate.
* Sinteza Vectorială: Combină mai multe wavetables (tablouri de forme de undă) prin interpolare, oferind un control extins asupra timbrului. Sinteza vectorială permite manipularea continuă a sunetului, creând tranziții netede între diferitele timbre.

## Aplicații Practice în Muzică și Design de Sunet

Sinteza digitală a sunetelor a devenit o componentă esențială în producția muzicală contemporană, designul de sunet pentru filme și jocuri video, precum și în crearea de efecte sonore speciale. Compozitorii și designerii de sunet se bazează pe flexibilitatea și diversitatea sunetelor sintetizate pentru a crea compoziții unice și medii imersive.

## Importanța Interfețelor Utilizator

Interfețele utilizator ale sintetizatoarelor, fie că sunt hardware sau software, joacă un rol crucial în modul în care artiștii interacționează cu tehnologia. Interfețele bine proiectate permit un acces rapid și intuitiv la parametrii sintetizatorului, facilitând experimentarea și crearea sunetelor. Aceasta include utilizarea de controllere MIDI, interfețe tactile și alte dispozitive care ajută la crearea unei conexiuni mai directe și expresive între artist și instrument.

## Viitorul Sintezei Sunetului

Pe măsură ce tehnologia avansează, noi posibilități apar în domeniul sintezei sunetului. Dezvoltările recente includ sinteza bazată pe inteligență artificială, care poate genera sunete și muzică în moduri noi și neașteptate, și tehnologii emergente care aduc sintetizatoarele în spațiul realității augmentate și virtuale, deschizând noi orizonturi pentru experiențe muzicale imersive.

# Implementare

Implementarea proiectului a fost realizată în două fișiere script „.py”.

## GUI

În cele ce urmează, va fi prezentată GUI-ul aplicației, care este dezvoltat în cadrul „gui.py”.

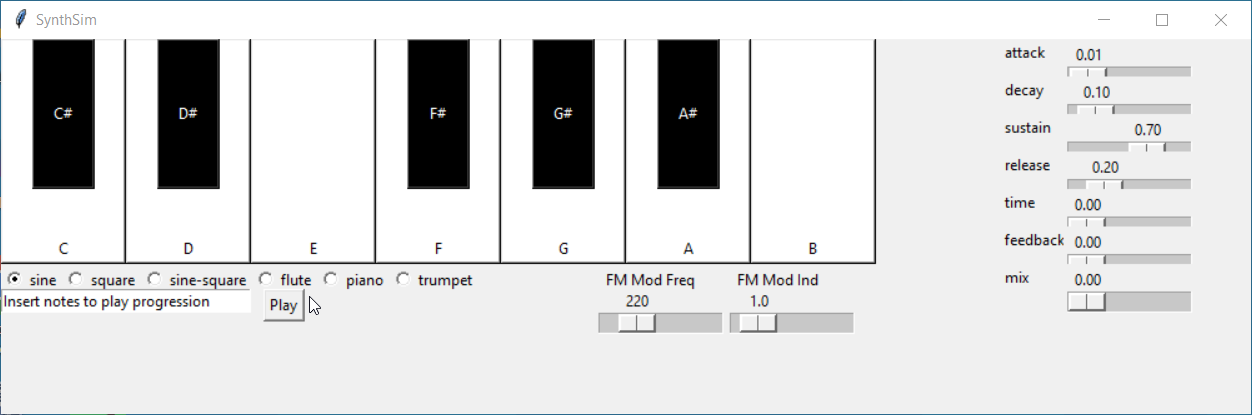


Figure 4: GUI of the application

După cum arată Figura XX, interfața grafică proiectată are trei funcționalități principale:

1. Implementarea unei claviaturi virtuale, cu o singură octavă. Aceasta poate fi folosită atât apăsând cu cursorul pe clape, cât și folosind tastatura, notele fiind mapate în plaja tastelor A-J
2. Setarea sunetului dorit, care poate fi modificat privind sunetul (forme de unde ‚ca sinus, dreptunghi sau utilizarea mostrelor de sunet de la instrumente reale), effecte ADSR sau feedback și modulație de frecvență cu setarea parametrilor
3. Scrierea unei secvențe de note muzicale care după, apăsând pe butonul Play, se poate reda cu ajutotul sintatizoarului, care va prelua și setările de sunet

# Rezultate

# Concluzie și posibile îmbunătățiri

# Bibliografie

1. Seipel, Fabial, Technische Universität Berlin, „ *Identificarea instrumentelor muzicale folosind rețele neuronale convoluționale”,* teză de master, 2018, disponibil la: [https://www2.ak.tu-berlin.de/~akgroup/ak\_pub/abschlussarbeiten/2018/Seipel\_MasA .pdf](https://www2.ak.tu-berlin.de/~akgroup/ak_pub/abschlussarbeiten/2018/Seipel_MasA.pdf) , accesat la 11.01.2022
2. Site-ul web Geeks for Geeks, „ *Creați un înregistrator de voce folosind Python* ”, <https://www.geeksforgeeks.org/create-a-voice-recorder-using-python/>, accesat pe 11.01.2022
3. Site-ul web Geeks for Geeks, „ *Build a Voice Recorder GUI using Python* ”, <https://www.geeksforgeeks.org/build-a-voice-recorder-gui-using-python/?ref=lbp>, accesat pe 11.01.2022
4. Ramos, Leonidas Pozo, site-ul web Peal Python, „ *Python and PyQt: Building a GUI Desktop Calculator* ”, <https://realpython.com/python-pyqt-gui-calculator/>, accesat pe 11.01.2022
5. Guignard, Lewis și Kehoe, Greg, Universitatea Stanford, „ *Identificarea instrumentului de învățare* ”, disponibil la: <http://cs229.stanford.edu/proj2015/010_report.pdf>, accesat la 11.01.2022
6. Gupta, Shikha; Jaafar, Jafreezal; Fatimah, Wan wan Ahmad și Bansal, Arpit, Universiti Tecknologi PETRONAS, ' *FEATURE EXTRACTION USING MFCC'* , disponibil la <https://aircconline.com/sipij/V4N4/4413sipij08.pdf>, accesat la 11.01.2022
7. Downey, B. Allen, „ *Think DSP - Digital Signal Processing in Python”* , Green Tea Press Needham, Massachusetts, 2014, disponibil la <https://greenteapress.com/thinkdsp/thinkdsp.pdf>, accesat la 11.01.2022
8. Doshi, Ketan, site-ul Towards Data Science, „ *Învățare profundă audio simplificată: clasificarea sunetelor, pas cu pas* ”, [https://towardsdatascience.com/audio-deep-learning-made-simple-sound-classification-step- by-step-cebc936bbe5](https://towardsdatascience.com/audio-deep-learning-made-simple-sound-classification-step-by-step-cebc936bbe5) , accesat pe 11.01.2022
9. Saska, Colton, DiValerio, Mark și Molter, Matthew, site-ul web Medium, „ *Build an Audio Classifier* ”, <https://medium.com/@anonyomous.ut.grad.student/building-an-audio-classifier-f7c4603aa989>, accesat la 11.01.2022
10. Site-ul web Data Flair, „ *Python Project – Music Genre Classification* ”, <https://data-flair.training/blogs/python-project-music-genre-classification/?ref=morioh.com&utm_source=morioh.com>, accesat pe 11.01. 2022
11. Site-ul web Marsyas, colecția de gen GTZAN, <http://marsyas.info/downloads/datasets.html>, accesat pe 11.01.2022
12. Site-ul web Carleton, Computer Science Comps Project, Netflix Prize, ' *k Nearest Neighbours* ', <https://cs.carleton.edu/cs_comps/0910/netflixprize/final_results/knn/index.html>, accesat pe 11.01.2022
13. Site-ul web Geeks for Geeks, „ *Fișier Explorer în Python folosind Tkinter* ”, <https://www.geeksforgeeks.org/file-explorer-in-python-using-tkinter/>, accesat pe 11.01.2022
14. Holy Python, „ *Interfață grafică cu Python: Browser de fișiere și formular de introducere (PySimpleGUI Partea III)* ”, <https://holypython.com/gui-with-python-file-browser-and-input-form-pysimplegui-part-iii/>, accesat la 11.01.2022
15. Site-ul Wikipedia, ' *k-nearest neighbors algorithm'* , <https://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest_neighbors_algorithm>, accesat la 11.01.2022
16. Harrison , Onel, site-ul web Towards Data Science, „ *Noțiunile de bază ale învățării automate cu algoritmul K-Nearest Neighbors* ”, <https://towardsdatascience.com/machine-learning-basics-with-the-k-nearest-neighbors-algorithm-6a6e71d01761>, accesat la 11.01.2022
17. Site-ul TopPNG, „ *pachet de vectori de instrumente muzicale gratis png peșteră grafică - imagine PNG instrument de muzică vectorială cu fundal transparent”* , [https://toppng.com/music-instruments-vector-pack-free-png-graphic-cave-vector-music -instrument-PNG-free-PNG-Images\_219491](https://toppng.com/music-instruments-vector-pack-free-png-graphic-cave-vector-music-instrument-PNG-free-PNG-Images_219491) , accesat pe 11.01.2022
18. Doshi, Ketan, Towards Data Science, „ *Învățare profundă audio simplificată (Partea 2): De ce spectrogramele Mel au rezultate mai bune* ”, [https://towardsdatascience.com/audio-deep-learning-made-simple-part-2-why- mel-spectrograms-perform-better-aad889a93505](https://towardsdatascience.com/audio-deep-learning-made-simple-part-2-why-mel-spectrograms-perform-better-aad889a93505) , accesat pe 11.01.2022
19. Site-ul Wikipedia, „ *Python (limbaj de programare)* ”, [https://en.wikipedia.org/wiki/Python\_(limbaj de programare)](https://en.wikipedia.org/wiki/Python_(programming_language)) , accesat la 11.01.2022
20. Site-ul web Statista, ' *Cele mai utilizate limbaje de programare printre dezvoltatorii din întreaga lume, începând cu 2021'* , [https://www.statista.com/statistics/793628/worldwide-developer-survey-cele](https://www.statista.com/statistics/793628/worldwide-developer-survey-most-used-languages/) mai multe-limbi-utilizate/ , accesat la 11.01.2022
21. Gartzman, Dalia, site-ul web Towards Data Science, „Getting to Know the Mel Spectrogram”, <https://towardsdatascience.com/getting-to-know-the-mel-spectrogram-31bca3e2d9d0>, accesat la 11.01.2022
22. Site-ul Wikipedia, " *Mel scale* ", <https://en.wikipedia.org/wiki/Mel_scale>, accesat la 11.01.2022
23. Site-ul Wikipedia, „ *Mel-frequency cepstrum”* , <https://en.wikipedia.org/wiki/Mel-frequency_cepstrum>, accesat la 11.01.2022
24. Site-ul Wikipedia, „ *Fast Fourier transform”* , <https://en.wikipedia.org/wiki/Fast_Fourier_transform#Cooley%E2%80%93Tukey_algorithm>, accesat pe 11.01.2022
25. Mlearnere, site-ul web Towards Data Science, „ *Învățarea din audio: scara Mel, spectrogramele Mel și coeficienții cepstrali de frecvență Mel* ”, [https://towardsdatascience.com/learning-from-audio-the-mel-scale-mel-spectrograms- and-mel-frequency-cepstral-coeficients-f5752b6324a8](https://towardsdatascience.com/learning-from-audio-the-mel-scale-mel-spectrograms-and-mel-frequency-cepstral-coefficients-f5752b6324a8) , accesat pe 11.01.2022
26. Site-ul PNSN, „ *Ce este o spectrogramă?* ', <https://pnsn.org/spectrograms/what-is-a-spectrogram>, accesat pe 11.01.2022
27. Site-ul web Geeks for Geeks, „ *K-Nearest Neighbours* ”, <https://www.geeksforgeeks.org/k-nearest-neighbours/>, accesat pe 11.01.2022
28. Srivastva, Tavish, Analytics Vidhya, „ *Introducere în k-Nearest Neighbors: Un puternic algoritm de învățare automată (cu implementare în Python și R)* ”, [https://www.analyticsvidhya.com/blog/2018/03/introduction-k- neighbours-algorithm-clustering/](https://www.analyticsvidhya.com/blog/2018/03/introduction-k-neighbours-algorithm-clustering/) , accesat pe 11.01.2022
29. Philharmonia, Mostre de sunet, https://philharmonia.co.uk/resources/sound-samples/, accesat pe 11.01.2022
30. Roberts, Leland, „Analytics Vidhya website, „ *Understanding the Mel Spectrogram”* , <https://medium.com/analytics-vidhya/understanding-the-mel-spectrogram-fca2afa2ce53>, accesat la 11.01.2022

1. https://www.tiobe.com/tiobe-index/ [↑](#footnote-ref-1)