

ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

Аналіз впливу навколишніх умов на ефективність методів розпізнавання голосових команд

Кваліфікаційна робота другий рівень



Виконала:
студентка гр. СПзм-23-1
Тітова Є.С.

Керівник:
ст. викл. каф. ЕОМ
Ні Я.С.

Мета роботи та завдання

2

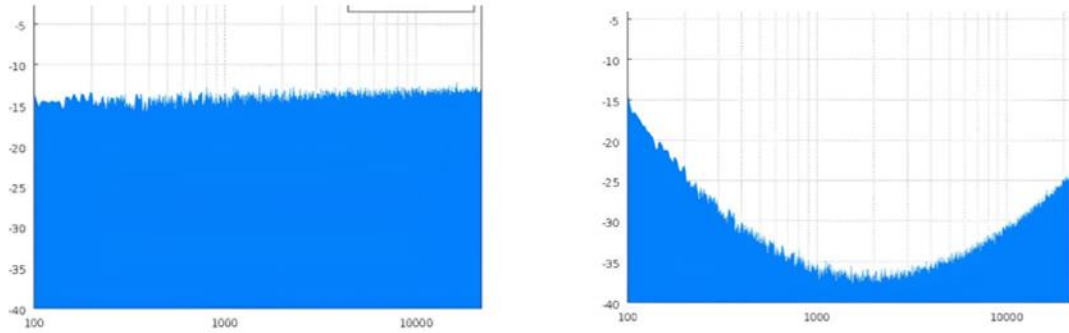
Метою роботи є аналіз методів розпізнавання голосових команд в умовах різного рівня шуму, реверберації та інших акустичних перешкод з метою підвищення їх стійкості та ефективності.

Завдання:

- дослідження звичайних алгоритмів машинного навчання та сучасних підходів глибокого навчання;
- аналіз порівняння ефективності моделей у різних умовах;
- дослідження помилок розпізнавання та їх зв'язку із характеристиками середовища
- розробка та тестування моделі розпізнавання голосових команд, навчання нейронної мережі

Спектри білого та сірого шумів

3



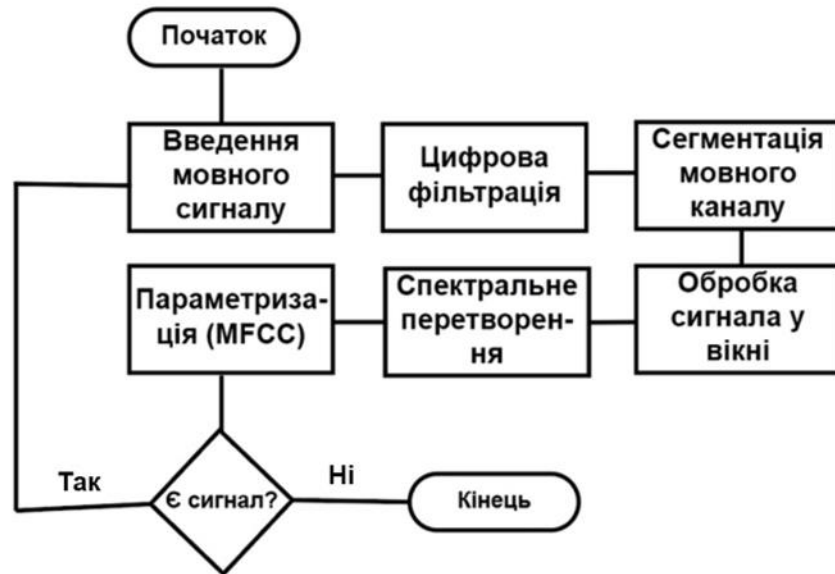
Основна модель розпізнавання голосу

4



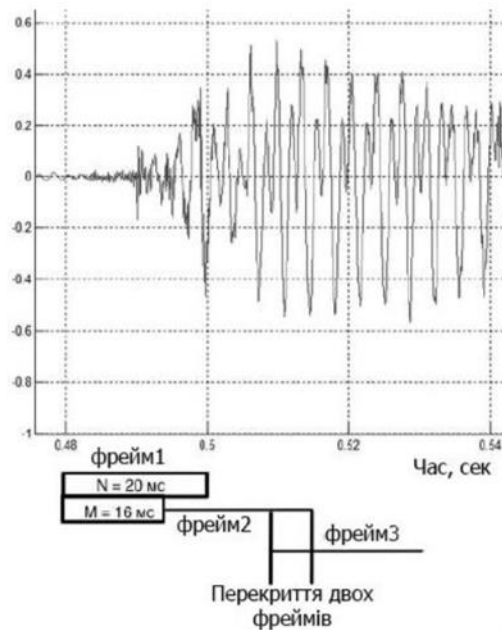
Етапи попередньої обробки звуку

5

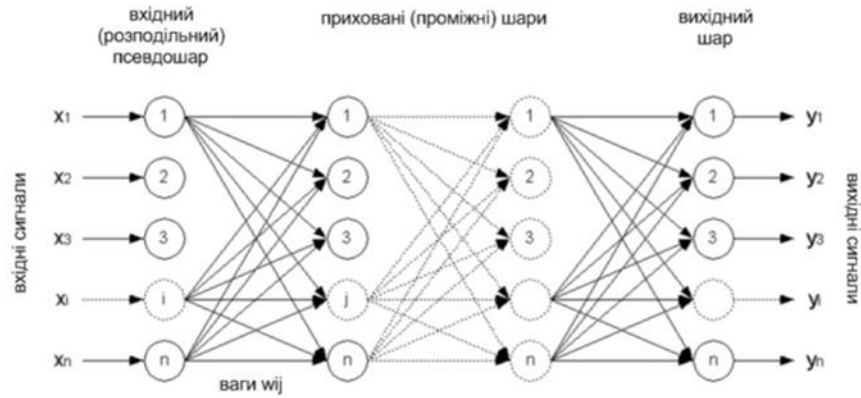


Розбиття звукового сигналу на частини

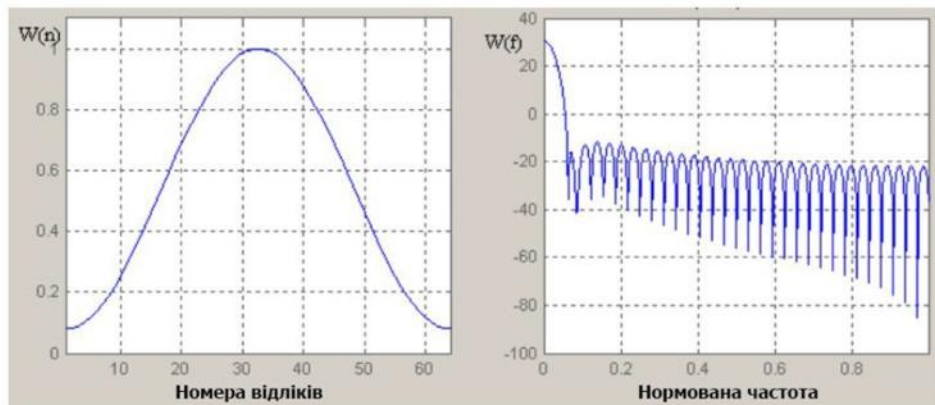
6



Процес навчання нейронної мережі

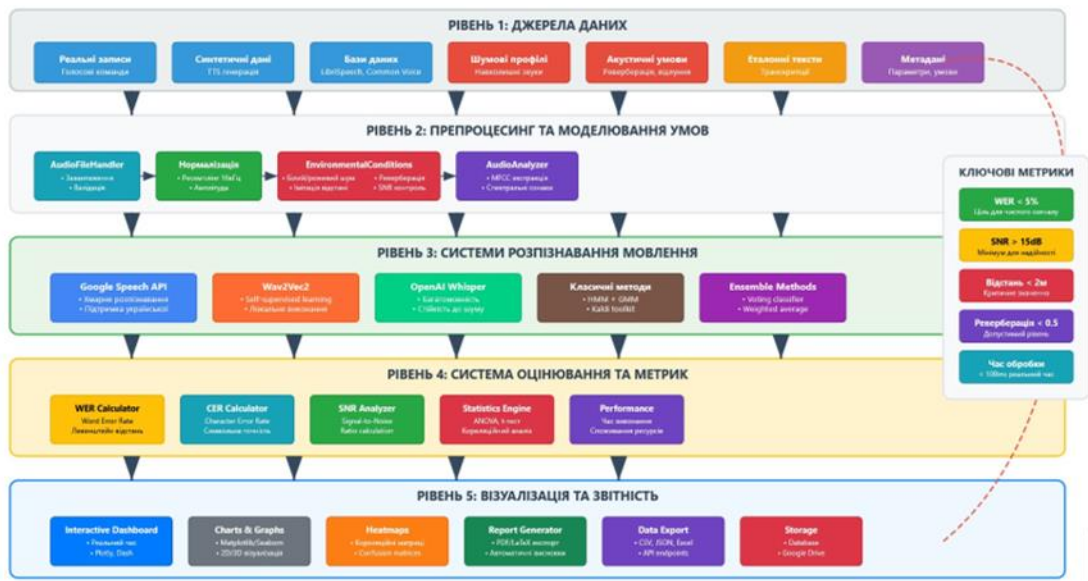


Обробка звуку за допомогою Хеммінга та його спектрів



Архітектура системи

АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ НАВКОЛИШНІХ УМОВ



Реалізація

```
[1] # Імпорт необхідних бібліотек
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import librosa
import librosa.display
import os
import IPython.display as ipd
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import accuracy_score
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras import layers, models

print("Бібліотеки імпортовано")
```

↕ Бібліотеки імпортовано

```
▶ # Завантаження прикладових аудіофайлів (імпортуйте свої дані або використуйте)
# Наприклад:
file_path = librosa.example('trumpet') # Замініть на голосові команди
y, sr = librosa.load(file_path, sr=None)
ipd.Audio(y, rate=sr)
```

↕ Downloading file 'sorohanro_-_solo-trumpet-06.ogg' from 'https://librosa.org'

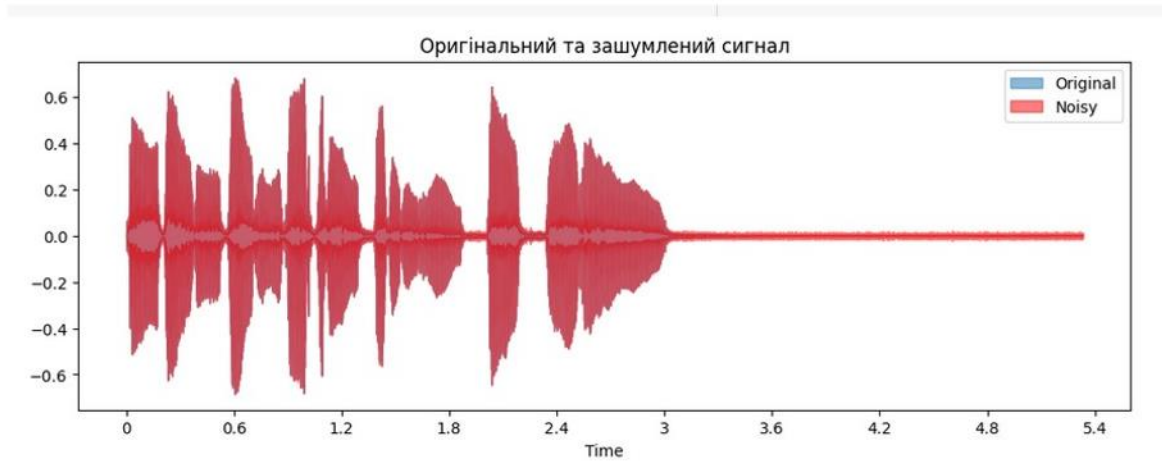
▶ 0:02 / 0:05

```
[3] # Додавання шуму до аудіо
def add_noise(y, noise_level=0.005):
    noise = np.random.randn(len(y))
    augmented = y + noise_level * noise
    return augmented

y_noisy = add_noise(y)
ipd.Audio(y_noisy, rate=sr)
```

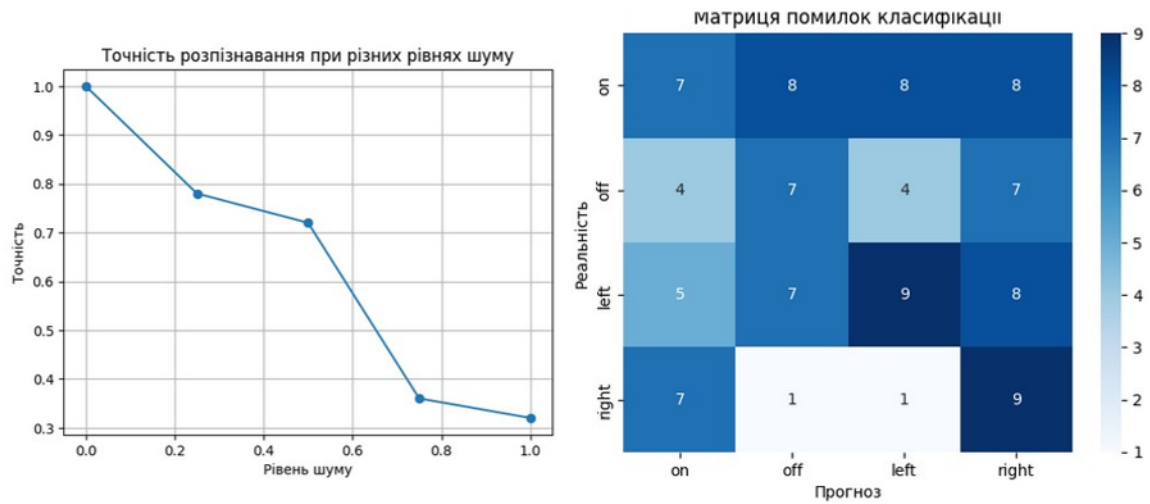
Результати роботи

11



Результати роботи

12



CONTROL MODELS FOR MOBILE ROBOT PARKING USING DISTANCE SENSOR DATA

Abstract. Relevance. The growing demand for autonomous mobile systems capable of independent navigation and parking is driven by several critical factors. Firstly, the rapid robotization in logistics, security, delivery, and service industries necessitates reliable mechanisms for precise positioning of mobile platforms in spatially constrained environments. Secondly, in the context of autonomous vehicle development, the issue of automatic parking becomes a priority for enhancing safety, reducing energy consumption, and minimizing human involvement in control processes. Currently, a significant number of studies focus on the implementation of automatic parking systems; however, most of them either rely on high-cost sensors (such as LiDARs or deep-learning-based cameras) or fail to ensure the required accuracy under dynamic or unfamiliar environmental conditions. Against this backdrop, the use of ultrasonic sensors represents an effective alternative, enabling a necessary level of adaptability and sensitivity while maintaining low system cost. The relevance of this research is further reinforced by the need to develop a universal control model that is scalable, adaptive, and easily integrable into various types of mobile platforms. This work focuses not only on the theoretical formulation of the control model but also on its experimental validation using data from ultrasonic sensors that reflect the physical environment in real time. Therefore, the development of a mobile robot parking control model based on ultrasonic sensors is a timely and important task that combines scientific novelty with practical significance for the advancement of autonomous systems. The object of research. A parking control system for a mobile robot that operates based on data obtained from ultrasonic distance sensors. This system comprises both hardware components, such as ultrasonic sensors, actuators, and controllers, and software that implements algorithms for environmental analysis, decision-making related to parking maneuvers, and motion control. Purpose of the article. This article presents a comprehensive review of contemporary models for mobile robot parking control based on distance sensor data. The objective is to identify and critically evaluate effective approaches to sensor integration, control algorithm design, and architectural implementation of such systems. Particular attention is given to analyzing their applicability in real-world environments, with the aim of outlining development prospects that enhance system accuracy, reliability, and adaptability under dynamic and constrained conditions. Research results. As a result of the conducted review, it has been established that modern mobile robot parking control systems encompass a wide range of modeling approaches, varying in both mathematical complexity and sensor configurations. The analysis reveals that the choice of control models is directly influenced by the availability of computational resources, the robot's chassis type, and the nature of the operational environment. Particular attention is given to the comparative assessment of sensors, with ultrasonic sensors remaining dominant in short-range positioning systems due to their low cost, ease of integration, and reliability in controlled conditions. Conversely, LiDAR sensors have demonstrated superior accuracy and spatial resolution, although they present higher implementation and maintenance complexity. Cameras and infrared sensors are regarded as supplementary data sources, functioning effectively only within well-defined conditions and with appropriate software support. The findings of the review confirm that an effective parking control system for mobile robots relies on a holistic approach that integrates sensor selection, control model design, algorithmic implementation, and system architecture. Such integration enables high accuracy and operational reliability even in complex, dynamic, or constrained environments. Conclusions. Effective mobile robot parking control is based on the integration of reliable sensor systems, particularly ultrasonic sensors and adaptive decision-making algorithms. Ultrasonic sensors remain the most suitable option for low-cost and simple systems, whereas hybrid approaches involving LiDAR or camera-based solutions offer higher precision. Among the control algorithms, finite state machines, fuzzy logic, and machine learning methods have demonstrated the greatest effectiveness. The most optimal system architecture is modular, with a clear separation between sensing, computation, and actuation layers, which ensures adaptability, accuracy, and operational stability under real-world conditions. Keywords: mobile robot, autonomous parking, ultrasonic sensors, sensor system, decision-making algorithms, finite state machine, fuzzy logic, machine learning, motion control, navigation system.

Introduction

In the context of rapid advancements in autonomous mobility, the issue of efficient parking control for mobile robots has become increasingly relevant. Across multiple industries – from warehouse logistics to auto-

sors offer a simple, low-cost, and reliable means of detecting obstacles and measuring distances to them, enabling the implementation of adaptive maneuvering algorithms. The primary challenge lies in developing an appropriate mathematical model and software-hardware implementation that can effectively interpret sensor

control, and the evaluation of autonomous navigation system accuracy. The first two references are particularly foundational, as they systematize key methods and examine the potential of ultrasonic systems in real-world applications, especially in environments with spatial or resource constraints.

In [1], the authors analyze modern sensor systems used for obstacle detection in mobile robotics. The study focuses on comparing ultrasonic sensors, LiDAR, infrared sensors, and cameras. Ultrasonic sensors are identified as the most effective for short-range navigation, especially when computational resources or budget are limited. The authors conclude that ultrasonic sensors offer the lowest energy consumption and cost, and high indoor reliability, but can be affected by surfaces that strongly absorb sound.

The review in [2] explores a broad range of applications for ultrasonic sensors, including robotics, automotive ADAS systems, security systems, and smart cities. In the context of robotics and autonomous parking, ultrasonic sensors are highlighted as the best solution for short-distance measurement and object detection. The study also notes that combining them with other sensors (infrared, magnetic, cameras) significantly improves system stability and adaptability in complex environments.

Studies [3] and [4] focus on emerging technologies that enhance traditional applications of ultrasonic sensors in mobile robotics, particularly in the domain of autonomous parking. These works highlight the transition from simple two-dimensional systems to volumetric sensing approaches, which open new possibilities for achieving full autonomy in real-world-like environments.

Study [3] addresses a new generation of ultrasonic sensors designed to provide three-dimensional coverage of the space surrounding a mobile robot. Specifically, it explores Acoustic Detection and Ranging (ADAR) systems, which enable 360-degree spatial perception without the need for rotating mechanisms or complex optical setups. One of the key advantages of these sensors lies in their significantly lower cost compared to traditional LiDAR solutions: a single ADAR module is priced at approximately \$1,000, whereas a conventional 2D LiDAR system may cost \$4,000 or more. In addition to affordability, the authors emphasize safety advancements – ADAR sensors are certified under IEC 61508 (SIL 7), making them suitable for use in industrial and

not overviews. It presents the advantages of a new acoustic radar architecture that relies not on the classic conical emission diagram, but on analytical reconstruction of the acoustic wave in space. By minimizing mechanical components and increasing the data refresh rate (up to 100 Hz in scanning mode), the system significantly improves obstacle detection stability during rapid maneuvers. The authors also emphasize the economic impact: a configuration using four ADAR modules effectively replaces two full-scale LiDAR units, resulting in an overall cost reduction of 60–80%. Practical examples include configurations for logistics-class robots, where the parking system operates based on a 3D ultrasonic map of the environment. Unlike traditional systems that require prior map alignment, the new system performs local spatial reconstruction and does not rely on external references. Consequently, this publication not only confirms the potential of 3D ultrasonic sensors but also serves as a technical foundation for their integration into next-generation mobile robot parking control solutions.

In [5], the authors propose a fundamentally novel approach to sensor integration: instead of mounting ultrasonic sensors on the robot body or masts, the sensing elements are embedded directly into the wheels of the mobile platform. This configuration creates an acoustic canalization system that combines contact-based and contactless sensitivity. The paper presents a technical description of the sensor architecture: a piezoelectric element embedded in the wheel rim generates acoustic waves that propagate through the tire and reflect from the surface with which the wheel makes contact. By analyzing the acoustic response, the system can determine the type of surface, detect micro-obstacles, and even localize the initial point of contact with a wall or other object. Experimental results demonstrate that the robot was able to accurately detect changes in ground material without the assistance of cameras or conventional sensors. This opens new prospects for parking systems operating under low-light, dusty, or confined conditions, where ultrasonic reflection from walls offers advantages over optical systems. The authors emphasize that such tactile ultrasonic sensing could serve as a backup system for registering real contact with obstacles during parking maneuvers, significantly reducing the risk of mechanical damage to the platform.

In [6], the authors investigate the deployment of multiple ultrasonic localization systems in a single env-

A. Huk, V. Diachenko, M. Illarionov, Y. Titova Control models for mobile robot parking using distance sensor data. Системи управління, навігації та зв'язку, вип.4. Полтава, 2025.

Висновки

У результаті проведеного дослідження було здійснено комплексний аналіз впливу навколишніх умов на ефективність методів розпізнавання голосових команд, що дозволило вирішити важливу науково-технічну проблему підвищення робастності систем автоматичного розпізнавання мовлення в реальних умовах експлуатації.

Дослідження підтвердило гіпотезу про критичний вплив акустичних характеристик навколишнього середовища на точність розпізнавання голосових команд. Експериментально встановлено, що відношення сигнал/шум є домінуючим фактором, що визначає ефективність ASR-систем. Критичне значення SNR на рівні 15 дБ було ідентифіковано як поріг, нижче якого спостерігається експоненціальне зростання частоти помилок розпізнавання для всіх досліджуваних методів. Це має фундаментальне значення для проектування голосових інтерфейсів, оскільки дозволяє науково обґрунтовано визначати мінімальні технічні вимоги до акустичного середовища функціонування системи.

Аналіз впливу реверберації показав, що акустичні характеристики приміщень мають менш критичний, але статистично значущий вплив на якість розпізнавання. Встановлена лінійна залежність між коефіцієнтом реверберації та точністю розпізнавання свідчить про можливість компенсації цього типу спотворень програмними методами, що відкриває перспективи для розробки адаптивних алгоритмів обробки сигналів.

Дослідження впливу відстані до мікрофона виявило квадратичну залежність погіршення якості розпізнавання, що узгоджується з фізичними законами поширення звукових хвиль та підтверджує теоретичні моделі затухання акустичних сигналів. Встановлено, що ефективна робота систем розпізнавання забезпечується на відстанях до 1,5 метрів, що має практичне значення для ергономічного проектування робочих місць з голосовим управлінням.

ДОДАТОК Б

Програмний код

```

# Імпорт необхідних бібліотек
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import librosa
import librosa.display
import os
import IPython.display as ipd
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import accuracy_score
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras import layers, models
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from sklearn.metrics import confusion_matrix, accuracy_score
# Завантаження прикладових аудіофайлів (імпортуйте свої дані або
використовуйте доступні через librosa)
# Наприклад:
file_path = librosa.example('trumpet') # Замініть на голосові
команди
y, sr = librosa.load(file_path, sr=None)
ipd.Audio(y, rate=sr)
# Додавання шуму до аудіо
def add_noise(y, noise_level=0.005):
    noise = np.random.randn(len(y))
    augmented = y + noise_level * noise
    return augmented

y_noisy = add_noise(y)
ipd.Audio(y_noisy, rate=sr)

# Побудова спектрограм
plt.figure(figsize=(12, 4))
librosa.display.waveshow(y, sr=sr, alpha=0.5, label='Original')
librosa.display.waveshow(y_noisy, sr=sr, color='r', alpha=0.5,
label='Noisy')
plt.title("Оригінальний та зашумлений сигнал")
plt.legend()
plt.show()

# Генерація синтетичних даних для аналізу
labels = np.array(["on", "off", "left", "right"])
y_true = np.random.choice(labels, 100)
noise_levels = np.linspace(0, 1, 5)
accuracies = []

```

```
for noise in noise_levels:
    noise_effect = np.random.rand(100) < noise
    y_pred = np.where(noise_effect, np.random.choice(labels,
100), y_true)
    acc = accuracy_score(y_true, y_pred)
    accuracies.append(acc)

plt.figure()
plt.plot(noise_levels, accuracies, marker='o')
plt.title("Точність розпізнавання при різних рівнях шуму")
plt.xlabel("Рівень шуму")
plt.ylabel("Точність")
plt.grid(True)
plt.show()
# Матриця помилок для останнього розпізнавання
cm = confusion_matrix(y_true, y_pred, labels=labels)
sns.heatmap(cm, annot=True, fmt='d', xticklabels=labels,
yticklabels=labels, cmap="Blues")
plt.title("Матриця помилок класифікації")
plt.xlabel("Прогноз")
plt.ylabel("Реальність")
plt.show()
```