



**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ**

---

**Факултет по телекомуникации**

**Катедра „Радиокомуникации и видеотехнологии“**

**маг. инж. Костадин Василев Панчев**

**АКУСТИЧНИ СЕНЗОРНИ МРЕЖИ НА ОСНОВАТА НА  
ИНТЕРНЕТ НА НЕЩАТА И ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен  
**"ДОКТОР"**

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.3. Комуникационна и компютърна техника

Научна специалност: Електроакустика, звукотехника и кинотехника

**Научен ръководител: проф. д-р инж. Снежана Георгиева Плешкова-  
Бекярска**

СОФИЯ, 2025 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Радиокомуникации и видеотехнологии“ към Факултет по Телекомуникации на Технически университет - София на редовно заседание, проведено на 19.05.2025 г. / протокол № 1.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 22.07.2025 г. от 15:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет - София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ- 5.3-23/ 29.05.2025г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. доц. д-р инж. Иво Руменов Драганов – председател
2. доц. д-р инж. Валентин Панчев Христов
3. проф. д-р инж. Димитър Ценов Димитров
4. доц. д-р инж. Иван Динков Иванов
5. проф. д-р инж. Емил Иванов Йончев

Рецензенти:

1. доц. д-р инж. Иво Руменов Драганов
2. проф. д-р инж. Димитър Ценов Димитров

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в канцеларията на катедра „Радиокомуникации и видеотехнологии“ към Факултет по Телекомуникации на ТУ-София, блок № 1, кабинет № 1254.

Дисертантът е докторант към катедра „Радиокомуникации и видеотехнологии“ към Факултет по Телекомуникации. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като резултатите от тях са публикувани. Част от изследванията са вследствие на работата по научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Костадин Василев Панчев

Заглавие: Акустични сензорни мрежи на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

## **I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

---

### **Актуалност на проблема**

В съвременното общество, характеризиращо се с бързо нарастващи технологични възможности и все по-интензивна необходимост от интелигентни системи за наблюдение и анализ на околната среда, акустичните сензорни мрежи (АСМ) се очертават като ключов инструмент за широк спектър от приложения — от градско наблюдение и сигурност до екологичен мониторинг и индустриална автоматизация. АСМ представляват разпределени системи от взаимосвързани сензори, способни да улавят, предават и анализират звукови сигнали в реално време.

Съществуващите предизвикателства пред акустичните сензорни мрежи включват ефективното обработване на големи обеми от акустични данни, откриването на събития в шумна среда, както и възможността за автономна адаптация към променящи се условия. Тук се появява значителен потенциал за прилагане на методи от областта на изкуствения интелект (ИИ), и в частност — на дълбокото обучение и невронните мрежи, които могат да осигурят значително подобрене в точността, ефективността и адаптивността на тези системи.

Настоящото изследване има интердисциплинарен характер, обединявайки знания от акустика, сензорни технологии, обработка на сигнали и машинно обучение. Чрез комбинирането на тези области се цели създаване на ново поколение интелигентни акустични системи с широко приложение — от интелигентни градове до автоматизирани системи за безопасност.

Развитието на невронни мрежи позволява моделиране на сложни зависимости във времевите и спектрални характеристики на звуковите сигнали. Това прави възможно автоматичното разпознаване на акустични събития като счупване на стъкло, изстрели, човешка реч или животински звуци в реални условия. В допълнение, сензорните мрежи могат да бъдат обучени да разграничават фонов шум от значими сигнали, което значително повишава надеждността на системите в динамична среда.

Друг важен акцент в настоящото изследване е въпросът за енергийната ефективност и разпределеното изчисление в сензорните възли, особено когато става въпрос за внедряване в отдалечени или трудно достъпни райони. Комбинирането на вградени модули с оптимизирани алгоритми за предобработка и компресия на данни е ключов подход за постигане на баланс между точност и изчислителна икономичност.

Темата е особено актуална в глобален контекст, където стремежът към цифрова трансформация, интелигентна инфраструктура и устойчиви решения в урбанизираните зони е приоритет за множество национални и международни програми. Световни инициативи като Smart Cities, Green Deal и целите за устойчиво развитие на ООН (SDGs) включват в своя фокус интелигентни системи за мониторинг, които могат да подобрят безопасността, качеството на живот и енергийната ефективност. В този контекст акустичните сензорни мрежи, подкрепени с Изкуствен Интелект, се превръщат в ключов компонент на съвременните екосистеми за градско управление, околна среда и климатично наблюдение.

Ролята на тези технологии в устойчивото развитие е също така значителна, тъй като позволяват ранно предупреждение при екологични инциденти (напр. незаконна сеч, браконьерство, индустриален шум), подобряват отговорността в индустриалната дейност чрез акустичен мониторинг и допринасят за намаляване на въглеродния отпечатък чрез оптимизация на ресурси и автоматизация на процеси. Внедряването на подобни решения в развиващи се региони може да подпомогне и създаването на устойчиви локални екосистеми, базирани на нисък разход на енергия и използване на отворени технологии.

## **Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване**

Направен е подробен преглед и анализ на вече съществуващи разработки по темата. Разгледани са методи и алгоритми за измерване, оценка и повишаване на точността на акустични сензорни мрежи на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект, както и основни принципи в изкуствения интелект. Въз основа на това проучване и анализ е дефинирана основната цел и са определени задачите на настоящия дисертационен труд.

Целта на дисертационния труд е да се разработят акустични сензорни мрежи на основата на Интернет на нещата и изкуствен интелект.

За постигане на дефинираната цел на дисертационния труд могат да се определят следните задачи:

1. Разработване на модел на акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект;
2. Разработване на алгоритми за моделиране на предложената акустична сензорна мрежа на основата на Интернет на нещата и изкуствен интелект;
3. Експериментални изследвания на разработените модел и алгоритми за предложената акустична сензорна мрежа на основата на Интернет на нещата и изкуствен интелект.

Поставените задачи в дисертационния труд се решават чрез прилагането на теоретични, аналитични и симулационни методи. Теоретичните и аналитичните методи са използвани за дефиниране на основни подходи при разработването на акустични сензорни мрежи на основата на Интернет на нещата и изкуствен интелект.

## **Научна новост**

Разработена е акустична сензорна мрежа на основата на Интернет на нещата и изкуствен интелект с цел анализ и подобряване на акустиката в затворени помещения.

## **Практическа приложимост**

При разработването на акустичната сензорна мрежа на основата на Интернет на нещата и изкуствен интелект са направени редица теоретични проучвания и анализи на методи и алгоритми за измерване и оценка на акустиката в затворени помещения. След това е разработен симулационен модел и са реализирани редица експерименти, с които са потвърдени получените от симулацията предварителни резултати. Предложена е приложимост на разработените акустични сензорни мрежи на основата на Интернет на нещата и изкуствен интелект.

## **Публикации**

Основните постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в общо четири научни публикации, всички от които са докладвани на международни конференции. Всички публикации са индексирани в Scopus. Общият брой на цитиранията е девет.

## **Структура и обем на дисертационния труд**

Дисертационният труд е в обем от 138 страници, като включва въведение, четири глави за решаване на формулираните основни задачи, основни насоки за бъдеща дейност в научната област, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 107 литературни източници, като всички са на латиница. Работата включва общо 62 фигури и 3 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

## **II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

---

### **ГЛАВА 1. Преглед на съществуващи методи, алгоритми и средства в акустични сензорни мрежи на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект**

#### **1.1 Общи сведения за акустичните сензорни мрежи на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект**

Безжичните акустични сензорни мрежи (WASN) са технология от следващо поколение за събиране и обработка на аудио информация. За разлика от традиционните микрофонни мрежи, които изследват звуково поле само локално и в повечето случаи на големи разстояния от съответните източници на звук, безжичните акустични сензорни мрежи позволяват да се използват много повече микрофони, за да покрият голяма област на изследване. Въпреки това, проектирането на такива мрежи е голямо предизвикателство, особено за получаване на аудио информация в реално време и подобряване на сигнала поради значителния трафик на данни в мрежата. Има нужда от мащабни решения, както на ниво обработка на сигнала, така и на ниво комуникация на мрежата. Обработката на акустична информация в акустичните сензорни мрежи е съществена част от много приложения, включващи анализ на аудио сигнали, като слухови апарати, устройства за свободни ръце или аудио запис. Въпреки че през последните десетилетия са предложени редица акустични системи за измерване и обработка, те обикновено разчитат на изчислителни платформи с висока пропускателна способност и скъпи микрофонни мрежи. Въпреки че микрофонните мрежи дават по-висока производителност от едномикрофонните системи, някои ограничения възникват поради факта, че позицията на микрофоните е фиксирана и всички задачи за обработка на сигналите се изпълняват на централизиран процесор. Алтернативата е да се използват сравнително нискоресурсни, разпределени възли с акустични сензори и алгоритми, насочени към локализиране, мониторинг или характеризиране на акустични събития. Предимството на акустичните сензорни мрежи е, че са безжични, могат да се захранват и с батерии, а и са по-евтини и могат лесно да бъдат използвани в различни области на изследване.

#### **1.2 Видове акустични сензорни мрежи**

Съществуват алгоритми за локализиране на акустични източници за обслужващи роботи, работещи в реални условия. Едно от основните приложения на тези алгоритми при мобилните роботи е, че роботът може да локализира човешки оператор и евентуално да взаимодейства с него чрез вербални команди. Местоположението на говорещия оператор се открива с алгоритъм, базиран на микрофонни масиви. Информацията за

локализацията се предава на навигационен модул, който създава задача, използвайки карта на околната среда. Такъв тип системи имат за цел да интегрират акустични, одомерични и сензори за сблъсък с архитектурата за управление на мобилен робот.

Оценката на акустичните характеристики на зали и други затворени помещения е от съществено значение, както за качеството на речевата комуникация, така и за възприемането на музика и други звукови събития. Правилната акустика в дадено помещение не само подобрява функционалността на пространството, но и оказва влияние върху психоакустичното възприятие и общия комфорт на присъстващите. Съвременният напредък в микроелектрониката и комуникационните технологии води до възникването на нов подход за анализ на такива пространства- чрез използването на безжични акустични сензорни мрежи. Тези системи съчетават физическо измерване с цифрова обработка и изкуствен интелект, като по този начин създават условия за прецизна и автоматизирана оценка на акустичната среда.

Акустиката в затворено помещение е комплексна дисциплина, която обхваща параметри като време на реверберация, честотна характеристика, абсорбционен капацитет на повърхности, ниво на шум и др.

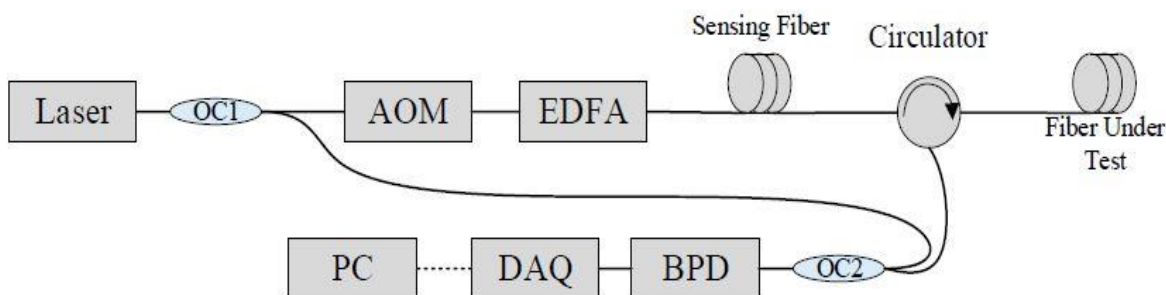
Практическото приложение на тези технологии може да бъде видно и в концепции за интелигентни сгради, при които акустичната оценка се извършва непрекъснато, а данните се използват за автоматично управление на звукоизолиращи системи, завеси, прегради и звукови съобщения [41].

Акустичните сензорни мрежи представляват съвременен технологичен модел, който съчетава физическото измерване на звукови вълни със сложни алгоритми за цифрова обработка на сигнали, разпределено изчисление и комуникация между сензорни възли. Това технологично решение се прилага в редица научни дисциплини, като всяка от тях използва специфични свойства на звука, за да постигне различни измервания, структури и процеси. Сензорните акустични мрежи позволяват акустичният сигнал да се използва не просто като носител на информация, а като аналитичен инструмент, чрез който се интерпретира реалността.

### **1.3 Методи и алгоритми за измерване, оценка и повишаване на точността на акустични сензорни мрежи на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект**

През последните години оптичните влакна служещи като сензори се превръщат в основна изследователска тема в областта на мониторинга. Фазово-чувствителната оптична времева рефлектометрия е практична и ефективна технология за откриване на вибрации, която може да наблюдава вибрационните събития възникващи по влакното. Въз основа на

високата му чувствителност, бърза реакция и способността за възстановяване на пълното вектор поле на акустичните събития (амплитуда, честота, фаза), F-OTDR е широко разпространен и използван в различни области за наблюдение на сеизмичност, безопасност на оптичните влакна, както и на интрузия. Фазочувствителните OTDR-и събират информацията от вибрационните събития като наблюдават и следят колебанията в амплитудата и фазата на разсеяната светлина. Когато влакното се подлага на външна интерференция, дължината на влакното в определена позиция се променя. Тази промяна в оптичното трасе води до промяна във фазата на обратно разсеяния сигнал. На фигура 1.12 схематично е представена F-OTDR системата [79].



Фиг. 1.12- Блок схема на F-OTDR система

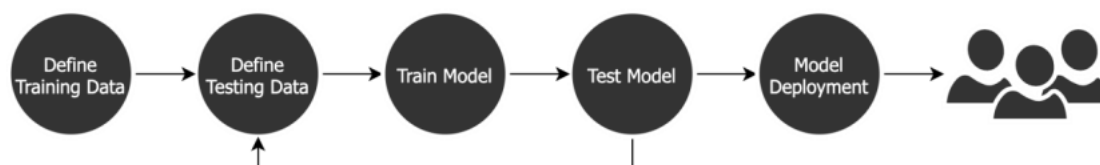
#### 1.4 Методи с изкуствен интелект за анализ на аудио информацията от акустични сензорни мрежи за оценка на акустиката в зали

Стандартните методи за определяне на акустичните параметри се придържат към настоящите стандарти и изискват време за обучение и включват високи разходи за оборудване. Оценката на акустиката чрез изчисление решава някои проблеми при измерванията, но може да бъде с по-ниска точност.

Изкуственият интелект (AI) е програма, способна да изпълнява задачи, които обикновено изискват човешки интелект и е достигнала задоволително ниво, така че вече може да се прилага към задачи от реалния свят, които преди това не са били осъществими в рамките на индустриите. Изкуственият интелект може да намали разходите, тъй като може да намали времето, необходимо за изпълнение на дадена задача, както и необходимите ресурси. За правилното функциониране се изискват данни и в повечето случаи събирането на данни, като изображения, видео или текст, се случва еднократно, което след това може да позволи редица приложения, включително идентификация на изображения.

Дълбокото обучение (Deep Learning, DL) е основна категория на изкуствения интелект (AI). Системите за дълбоко обучение използват множество слоеве от изкуствени неврони, които съхраняват изчислени стойности, за да предскажат резултат. Процесът на

разработване на AI програма с изкуствен интелект (Фигура 1.13) включва анализиране на огромни количества данни, за да се намерят смислени структури в тях, което позволява прогнозиране на изхода. След като данните за обучение бъдат събрани, AI системите „научават“ връзката между характеристиките и етикетите чрез математически процес, наречен „обучение“. След това нови данни могат да бъдат подадени на входа и да бъдат направени нови прогнози. Точността на системата често се измерва чрез Точност на валидиране- процентната точност, постигната при тестване на програмата спрямо това, което се нарича тестови данни или запазени данни, за да се види колко успешно могат да се категоризират неизучени данни, за които не е обучена [107].



Фиг. 1.13- Процес на разработване на система за Дълбоко обучение [107]

### 1.5 Основни принципи в изкуствения интелект, приложения и интеграция с акустични сензорни мрежи

Интеграцията на изкуствен интелект (AI) в безжични акустични сензорни мрежи (WASN) включва няколко основни компонента: микрофонни възли, локални процесори, комуникационни модули и облачни сървъри. Възлите съдържат високочувствителни микрофони, аналогово-цифрови преобразуватели и енергийно ефективни процесори като Raspberry Pi или Nvidia Jetson Nano, които осигуряват предварителна обработка на звуковите сигнали [93].

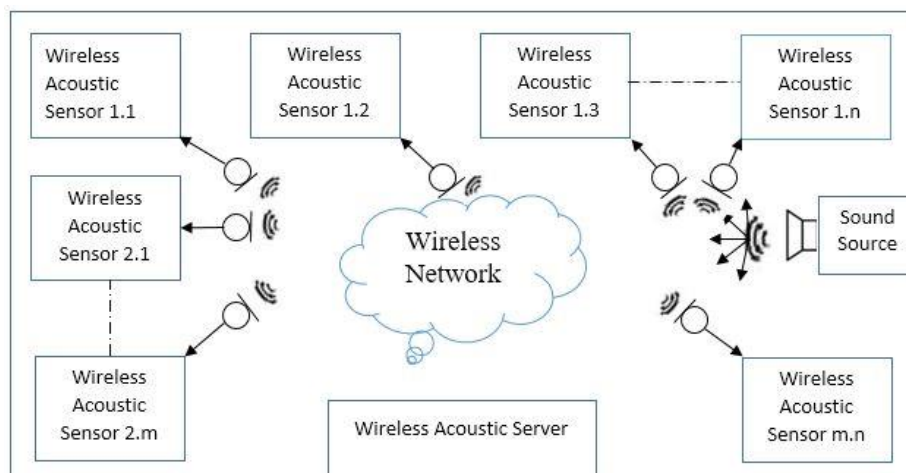
Обработката на данните на по-високо ниво се извършва в облачни среди, където алгоритмите за дълбоко обучение, основаващи се на конволюционни невронни мрежи (CNN) и рекурентни невронни мрежи (RNN), допълнително анализират и класифицират събраните аудиосигнали.

AI е приложим в множество области, свързани с акустичните сензорни мрежи, включително мониторинг на околната среда, откриване на инциденти и заплахи в реално време и интелигентно управление на акустичната среда в закрити пространства. Системите с изкуствен интелект подобряват точността на разпознаване на събития и намаляват консумацията на енергия чрез приоритизация на обработваните данни [94].

## ГЛАВА 2. Разработване на модел на акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект

### 2.1 Описание на предложената блокова схема на акустичен сензор за акустични измервания в затворени помещения

На фиг. 2.1 е представено общо описание на предложената блокова схема на акустичен сензор за акустични измервания в затворени помещения. Целта на тази акустична сензорна мрежа е да създаде акустична картина, извършвайки необходимите акустични измервания в дадена затворена стая, концертна зала, студио и т.н.



Фиг. 2.1. Общо описание на предложената блокова схема на акустична сензорна мрежа за акустични измервания в затворени помещения.

Предложената мрежа от акустични сензори се състои от множество акустични сензори, посочени и номерирани на Фиг.2.1 като „Безжични акустични сензори 1.1, 1.2, 1.3, ... .. 2.1, ... .. 2.m, ... .. mn“. Всички „безжични акустични сензори“ са избрани да бъдат съответните IoT модули, в случая базирани на Raspberry PI 4, с възможност за улавяне на звук, получен от микрофон и изпращане на получения звуков сигнал към „Wireless Acoustic Server“ (Безжичен Акустичен Сървър) чрез „Wireless Network“ (Безжична мрежа), както е показано на фиг.2.1. За целите на предложената акустична сензорна мрежа за извършване на акустичните измервания в затворени помещения е необходимо да има много тестови звукови сигнали. Тези тестови звукови сигнали се генерират от „Източника на звука“, както е показано на фиг.2.1.

## 2.2 Основни уравнения, описващи всички сигнали на блоковата диаграма на предложената акустична сензорна мрежа

Уравненията, представени по-долу, илюстрират всеки сигнал от блоковата схема на фигура 2.1.

Уравнението на сигналите на „Източника на звука“ е както следва:

$$s_{source}(t) = \{s_{source}^{mic}(t), s_{source}^{sine}(t), s_{source}^{media}(t), s_{source}^{signal}(t)\} \quad (2.1)$$

където:

$s_{source}(t)$  - функция на предавания сигнал на звуковия източник

$s_{source}^{mic}(t)$  - функция на предавания сигнал на микрофона

$s_{source}^{sine}(t)$  - функция от предавания сигнал на генератора на звукови вълни

$s_{source}^{media}(t)$  - функция на предавания сигнал на мултимедийния файл

$s_{source}^{signal}(t)$  - функция от предавания сигнал на работното пространство

Уравнението на сигналите на „Безжичен акустичен сензор“ е:

$$s_{sensor}(t) = \{s_{sensor}^{mic}(t), s_{sensor}^{sine}(t), s_{sensor}^{media}(t), s_{sensor}^{signal}(t)\} \quad (2.2)$$

където:

$s_{sensor}(t)$  - функция на получения от сензорите сигнал

$s_{sensor}^{mic}(t)$  - функция на получения от сензора сигнал, в случай на източник = микрофон

$s_{sensor}^{sine}(t)$  - функция на получения от сензорите сигнал, в случай на източник = генератор на синусоида

$s_{sensor}^{media}(t)$  - функция на получения от сензорите сигнал, в случай на източник = мултимедийен файл

$s_{sensor}^{signal}(t)$  - функция на получения от сензорите сигнал, в случай на източник = сигнал от работното пространство

Уравнението на сигналите на “Безжичен Акустичен Сървър” е:

$$s_{server}(t) = \{s_{server}^{mic}(t), s_{server}^{sine}(t), s_{server}^{media}(t), s_{server}^{signal}(t)\} \quad (2.3)$$

където:

$s_{server}(t)$  – функция от получените от сървъра сигнали

$s_{server}^{mic}(t)$  – функция на получения от сървъра сигнал, в случай на източник = микрофон

$s_{server}^{sine}(t)$  - функция на получения от сървъра сигнал, в случай на източник = генератор на синусоида

$s_{server}^{media}(t)$  – функция на получения от сървъра сигнал, в случай на източник = мултимедиен файл

$s_{server}^{signal}(t)$  – функция на получения от сървъра сигнал, в случай на източник = сигнал от работното пространство

Уравненията на входните сигнали за обработка в „Безжичен Акустичен Сървър“ са:

$$s_{server}^{mic} = s_{sensor}^{mic} = A_{i,j} s_{source}^{mic}(t, \varphi_{i,j}) \quad (2.4)$$

$$s_{server}^{sine} = s_{sensor}^{sine} = A_{i,j} s_{source}^{sine}(t, \varphi_{i,j}) \quad (2.5)$$

$$s_{server}^{media} = s_{sensor}^{media} = A_{i,j} s_{source}^{media}(t, \varphi_{i,j}) \quad (2.6)$$

$$s_{server}^{signal} = s_{sensor}^{signal} = A_{i,j} s_{source}^{signal}(t, \varphi_{i,j}), \quad (2.7)$$

където:

$A_{i,j}$ - амплитуда на сигнала, за  $i = 1: m, j = 1: n$

$\varphi_{i,j}$ - фаза на сигнала, за  $i = 1: m, j = 1: n$

Горните уравнения на сигналите ще бъдат използвани при разработването на програма на Matlab за визуализиране на акустична картина.

### **2.3 Разработване на модел за оценка на акустичните параметри на затворени помещения чрез обработка с невронни мрежи и изкуствен интелект на информацията от акустични сензорни мрежи на основата на интернет на нещата**

За нуждите на настоящата разработка е необходимо по-детайлно проучване на акустичните характеристики на затворените помещения, тъй като качеството на възприетия звук в една стая до голяма степен зависи от тях.

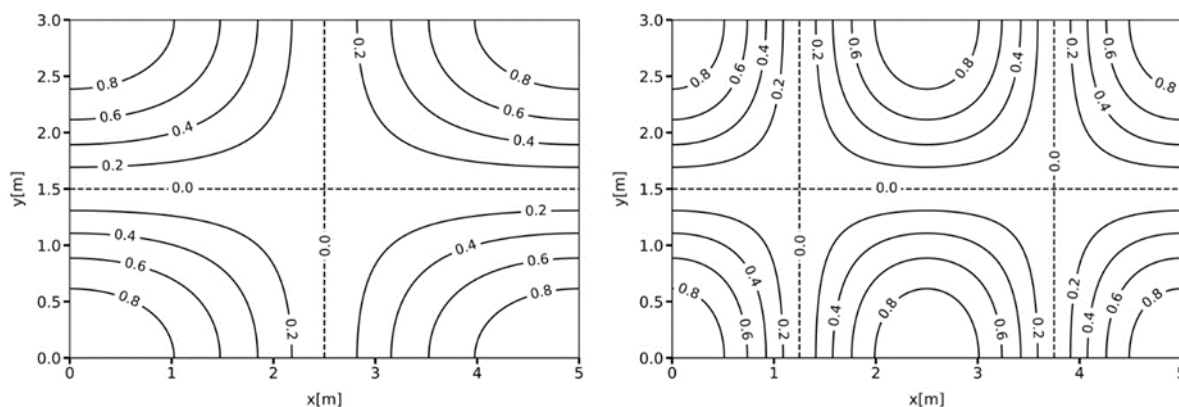
На първо място ще бъде разгледана предавателната функция на помещението (RTF). Тя се променя в зависимост от позицията и разстоянието до източника, поради отражения на излъчваните вълни от повърхностите. Когато звукова вълна бъде излъчена в средата на едно помещение, нейните молекули започват да се движат от трептенията, които създава вълната. След това тези молекули осцилират (трептят) напред-назад в

посоката на разпространение. Това изместване на молекулите променя налягането и е известно като звуково налягане [97, sec.2].

Друга важна акустична характеристика са модите на изследваното затворено помещение.

Когато в една стая се излъчва звуков сигнал, сигналът възбужда нейните модите и ако излъчваният звуков сигнал съдържа само една честота, близка до така наречената резонансна честота, съответната мода ще доминира в звуковото поле на стаята [98, sec.8.2], [101, sec.3.2].

На фигура 2.3 са представени контурите на равно налягане за две различни тангенциални моди. Възловите равнини на модите са показани като линии с нулев контур. Важно е да се обърне внимание не само възловите равнини, но и на местата, където звуковото налягане на модите е максимално.



Фиг. 2.3. Контури на равно налягане за две различни тангенциални моди

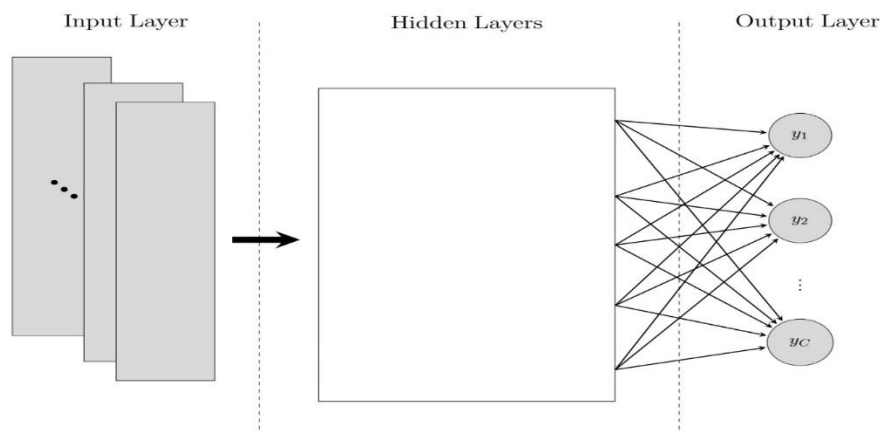
## 2.4 Оценка на акустичните параметри на затворени помещения чрез обработка с невронни мрежи и изкуствен интелект на информацията от акустични сензорни мрежи на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект.

За да се направи оценка на предавателната функция в затворени помещения е необходимо да се направят редица измервания с помощта на микрофонни мрежи. Броят на микрофоните зависи от редица фактори- честота на дискретизация, размери на помещението и др. При настъпване на промени в помещението се променя и звуковото поле. За това всички измервания трябва да се повторят и да допринесат за създаване на адаптивно редуциране на реверберацията [103, 104, 97].

Настоящата разработка има за цел определянето на акустичните параметри на едно затворено помещение чрез обработка с невронни мрежи и изкуствен интелект на информацията от акустични сензорни мрежи на основата на интернет на нещата.

На фигура 2.7 може да се види обобщена схема на CNN. Скрытите слоеве и техните хипер-параметри са части от CNN, които могат да бъдат модифицирани при опит за

подобряване на производителността [106].



Фиг. 2.7. Конволюционна невронна мрежа (CNN), състояща се от входен слой, изходен слой и скрити слоеве. Архитектурата на скритите слоеве е изобразена като бял правоъгълник.

Входът на моделите на CNN е двуизмерен, т.е  $RF \times M$ , където  $F$  е броя на честотните проби и  $M$  е броят на микрофоните.

Когато се подават данни от микрофони към конволюционна невронна мрежа, те преминават през поредица от така наречени „скрити слоеве“. Всеки от тях извършва специфична трансформация на данните с цел извличане на полезна информация.

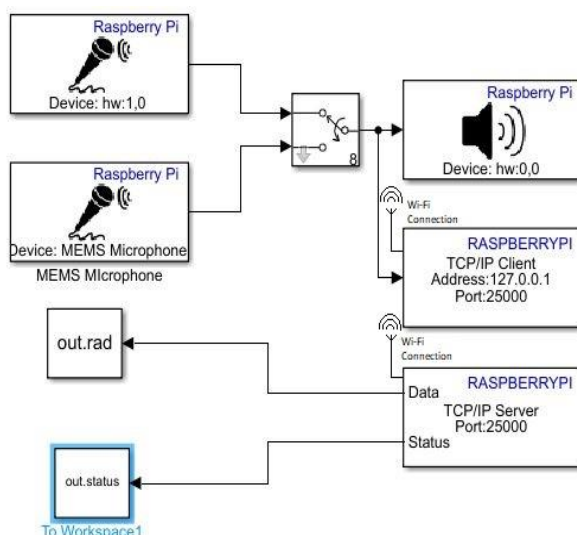
Изходният слой на CNN модела е така нареченият „плътен“ слой. Броят на възлите в слоя, следователно размерът на изхода, се определя от броя класове „ $C$ “. Няма определен избор за броя на класове, тъй като това е един от параметрите, които ще бъдат изследвани в настоящия научен труд. Интерпретацията на изхода е дискретно вероятностно разпределение, което описва вероятността входът да принадлежи към всеки един от класовете.

### **ГЛАВА 3. Разработване на алгоритми за моделиране на предложената акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект**

В тази част на дисертационния труд ще бъдат разгледани отделните етапи, както и използваните методи и алгоритми, при разработването на предложената акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект.

### 3.1 Моделиране на предложената акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект

Експерименталната част включва практическа част, въз основа на предложената блокова схема в т. 2.1. Синтезирана е нова блокова схема на предложената акустична сензорна мрежа, както и симулационен модел на акустичен сензорен възел (фиг. 3.2).

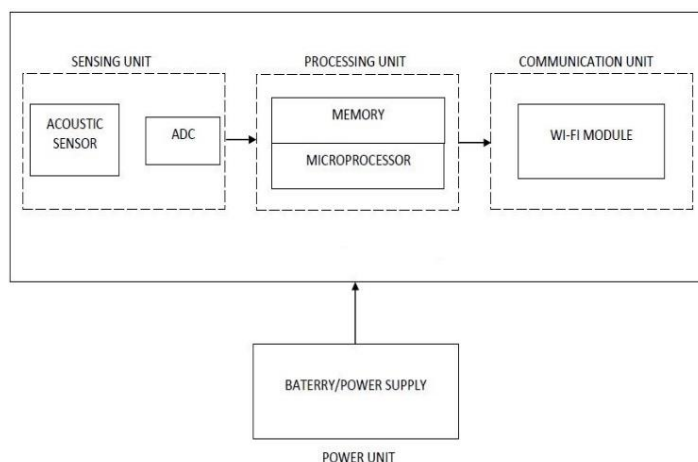


Фиг. 3.2. Симулационен модел, създаден със Simulink софтуер, на разработения акустичен сензор, използвайки Raspberry Pi 4 модул

В симулацията на разработения акустичен сензор (фиг. 3.2), създаден като Simulink модел в програмната система Matlab, са включени следните блокове от Raspberry Pi Simulink Library: два вида микрофони, комутатор, високоговорител, Wi-Fi TCP / IP клиент, Wi-Fi TCP / IP сървър, out.data и out.status. Единият от микрофоните е с USB порт за микрофон, а другият микрофон е базиран на технологията Micro Electric Mechanical System (MEMS). Всеки от тези два типа микрофони може да бъде избран с помощта на подходящия превключвател. Чрез тестването на разработения акустичен сензор с този симулационен модел е възможно да се сравни работата на два вида микрофони и да се реши кой от тях е най-добрият за работа с акустичен сензор в реална среда. Аудиоинформацията за коректна работа на модела може да се управлява чрез Speaker, а също и чрез блокове **out.data** и **out.status**. Комуникацията между акустичния сензор и акустичния мрежов сървър е реализирана в модела като **Wi-Fi TCP / IP клиент, Wi-Fi TCP / IP сървър**.

### 3.2 Описание на отделните етапи при проектирането на предложената акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект

Една от най-важните части в акустичните сензорни мрежи са акустичните сензори (акустични сензорни възли). Те предоставят подходящата акустична информация, която сървърът анализира след извършените акустични измервания. На фиг. 3.3 е представена блоковата схема на акустичен сензорен възел. В нея са представени основните модули и принципа на работа на един акустичен сензор.



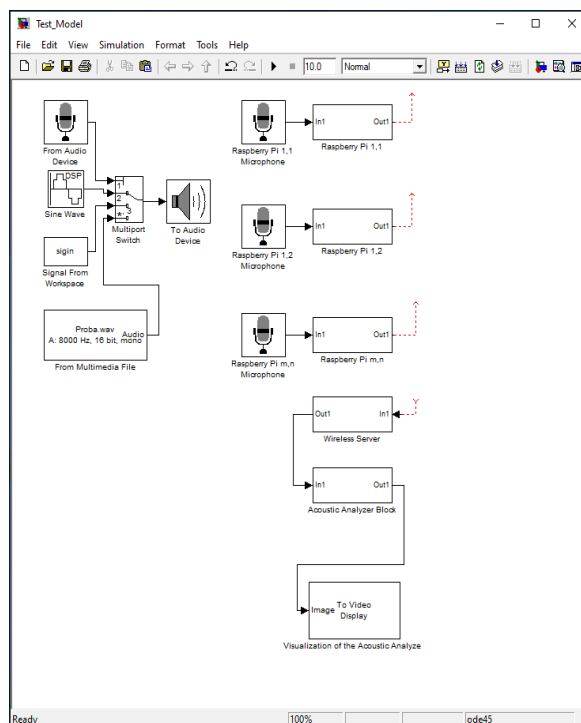
Фиг.3.3. Блокова схема на акустичен сензорен възел

Сензорният модул (Sensing unit, фиг. 3.3) съдържа главно две части: акустичен сензор и аналогово-цифров преобразувател. Акустичният сензор улавя звуци и шумове и предава аналогови сигнали към системата. Но системата работи с цифрови сигнали, така че те трябва да бъдат преобразувани от аналогово-цифров преобразувател. След като сигналите вече са цифрови, те се обработват от обработващият блок (Processing unit, фиг. 3.3). Този модул се състои от IoT модул с мощен процесор и оперативна памет, осигуряваща бързи изчисления, имплементация на алгоритми, както и четене, запис и съхраняване на акустични параметри. Комуникационният модул (Communication unit, фиг. 3.3) е Wi-Fi модул, който свързва системата към Интернет и осигурява дистанционно управление, сдвояване с друг акустичен сензорен възел и пренос на данни от системата към „облака“ или сървър. Захранващият блок представлява източника на захранване. Може да бъде батерия или директно захранване. Въз основа на общото описание на един акустичен сензорен възел, използващ IoT- базиран модул, трябва да се направи специфичен избор на модул на основата на Интернет на нещата, в съответствие с необходимите параметри, цел и предназначение като акустичен сензор.

## ГЛАВА 4. Експериментални изследвания на разработените модел и алгоритми за предложената акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект

### 4.1 Matlab симулация на разработваната акустична сензорна мрежа за акустични измервания в затворени помещения.

На фиг. 4.1 е представен разработеният модел в софтуерната система на Matlab-Simulink, за моделиране и симулация на предложената акустична сензорна мрежа за акустични измервания в затворени помещения.



Фиг. 4.1. Блокова схема на разработения модел в софтуерната система на Matlab- Simulink, за моделиране и симулация на предложената акустична сензорна мрежа за акустични измервания в затворени помещения.

В симулацията на разработения модел на предложената акустична сензорна мрежа за акустични измервания в затворено помещение, създадена като модел на Simulink в системата за програмиране Matlab, са включени три части: лявата част на симулацията е източникът на звука, а вдясно акустични сензорни възли и безжичен акустичен сървър.

Източникът на звук се състои от шест блока: „От аудио устройство“, „Синусоида“, „Сигнал от работното пространство“, „От мултимедиен файл“, „Мултипорт превключвател“ и „Към аудио устройство“. „Мултипорт превключвателя“ превключва между различните аудио източници - сигнал от аудио устройство, от генератор на синусоида - генерира реален или сложен, многоканален синусоидален сигнал с независима амплитуда, честота и фаза във всеки изходен канал; от работно пространство и от

мултимедиен файл. В реални практически експерименти за звуков генератор може да се използва MIDI синтезатор. Към “Мультипорт превключвател” е свързан високоговорител за възпроизвеждане на избрания аудио сигнал.

Акустичните сензорни възли включват микрофон (RaspberryPi 1,1 Microphone, RaspberryPi 1,2 Microphone, RaspberryPi m, n Microphone) и едноплатков компютър RaspberryPi (Raspberry Pi 1,1, Raspberry Pi 1,2, Raspberry Pi m, n). Микрофоните улавят звуковия сигнал от звуковия източник и RaspberryPi-модулите обработват акустична информация от микрофоните и я качват безжично на Безжичния Акустичен Сървър.

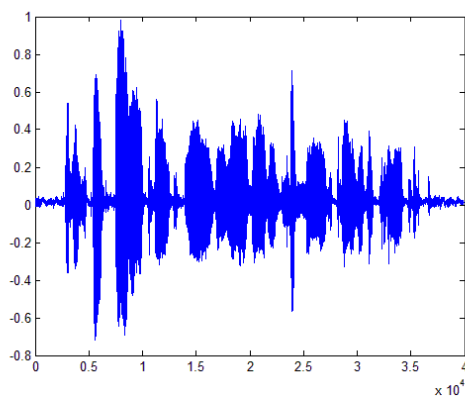
Безжичният акустичен сървър включва три блока - „Безжичен сървър“, „Блок на акустичния анализатор“ и „Визуализация на акустичния анализ“. След като акустичната информация бъде качена на безжичния сървър, акустичният анализатор чете и анализира информацията. След това необходимата информация може да се покаже на видео дисплей.

#### **4.2 Експериментални резултати от специфичен пример за акустични измервания за предложената безжична акустична сензорна мрежа.**

Въз основа на разработения модел бяха измерени специфични стойности за звуковото налягане в определено затворено помещение с безжични акустични сензори “m.n”.

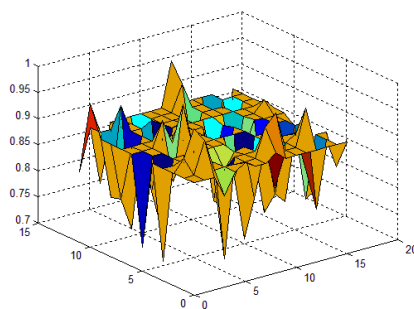
Обработката на резултатите от измерванията на безжичната акустична сензорна мрежа се извършва с подходящо създадена за целта програма на Matlab (прил. 1). На следващите фигури са показани резултатите от обработката на измерването.

Фигура 4.3 представя графиката на входния сигнал (“wav” файл). Той показва нивата на звука на входния сигнал.



Фиг. 4.3. Графика на входния сигнал

Фигура 4.4 показва 3D модел на разпределението на звука и нивата на звука в различни точки в затворената стая. Има няколко различни цвята и всеки цвят означава различно ниво на звука.

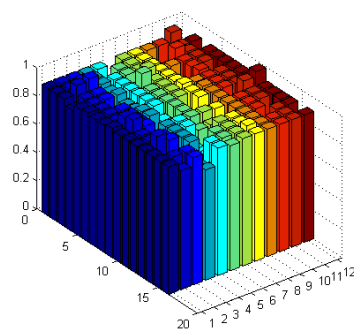


Фиг. 4.4. 3D модел на разпределението на звука и нивата на звука

Следващата фигура 4.5 е същата като фигура 4.4, но тя представя нивата на звука и разпределението на звука в 3D колонен изглед.

За този експеримент се използва сигнал от аудио файл (мултимедиен файл). В следващите експерименти това ще бъде направено със сигнал от синусоидален генератор, от аудио устройство и звук (шум) от работното пространство.

Това проучване и тези измервания могат да помогнат за подобряване на акустиката на затворени помещения, за калибриране на други сензори за по-точно засичане и разпознаване на звуци, при усъвършенстването на безжична мрежа от акустични сензори или други IoT интегрирани системи.



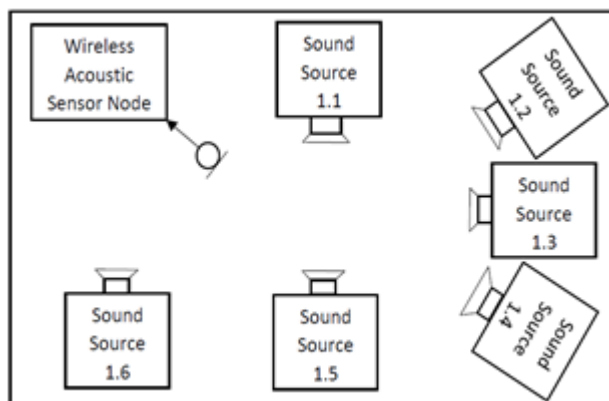
Фиг. 4.5. Колонен 3D модел на разпределението на звука и нивата на звука

#### 4.3 Експериментална постановка за проверка на предложените в глава трета алгоритми за моделиране на предложената акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект.

На фигура 4.6 е представена блок схема на експерименталната постановка – безжичен акустичен сензорен възел за акустични измервания в затворени помещения и множество тестови генератори на звукови сигнали, които са разработени за нуждите на експеримента.

Тази блок схема включва две основни части – „Безжичен акустичен сензорен възел“ и „Източник на звук“. Източникът на звук генерира тестов аудиосигнал, който се улавя от безжичния акустичен сензорен възел. В експеримента са използвани няколко източника на звук (Звуков източник 1.1, 1.2, ..., 1.6), тъй като се изисква запис на тестови сигнали от

различни точки в затвореното помещение.



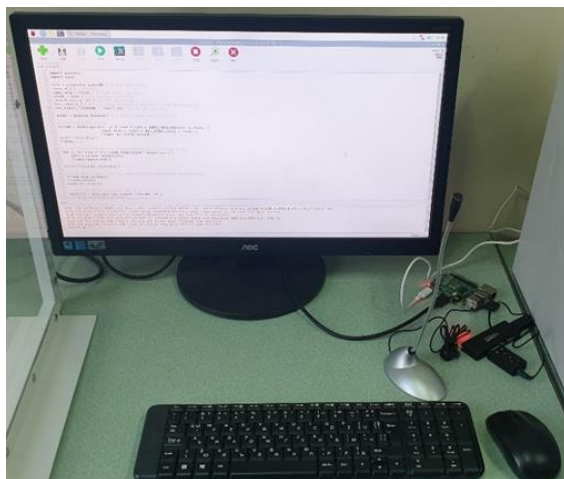
Фиг. 4.6. Блок схема на експерименталната постановка- безжичен акустичен сензорен възел за акустични измервания в затворени помещения и няколко генератори на тестови сигнали

За източник на звук се използва конфигурация от RC генератор и усилвател за китара (фиг. 4.7). Генераторът излъчва седем тестови тона от седем различни локации в помещението, докато акустичният сензорен възел остава неподвижен. Преди всяко от седемте измервания възелът стартира програма за запис.

Когато програмата започне да се изпълнява, тя включва микрофона на акустичния сензорен възел и стартира запис (фиг. 4.9).

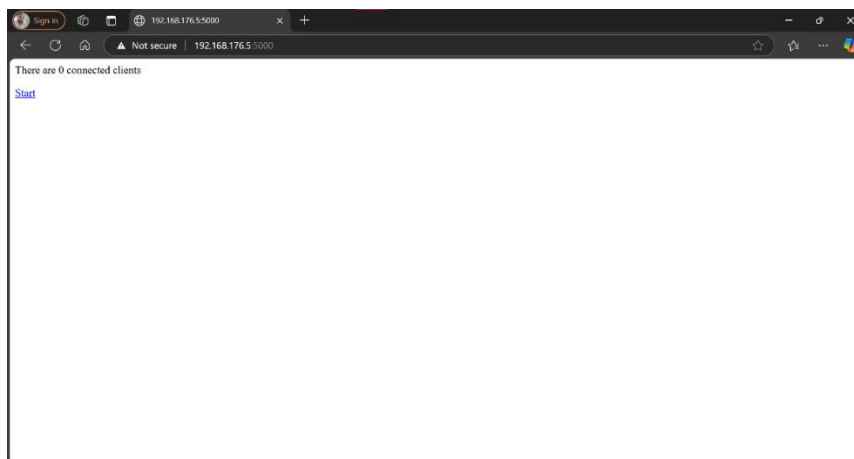


Фиг. 4.7. Източник на звук



Фиг. 4.9. Експериментална постановка на разработения безжичен акустичен сензорен възел

При включване на IoT модула, автоматично се стартира сорс кода-клиент. Това дава възможност акустичният сензорен възел да се свърже със сървъра (където вече е стартиран сорс кода-сървър). От началната страница може да се получи информация колко свързани устройства (клиенти) има (фиг. 4.13). Ако броят на свързаните акустични сензорни възли, отговаря на броя на поставените в изследваното помещение, то с бутона „Start“ може да се стартира сорс кода за запис (фиг. 4.8) на всички свързани устройства едновременно. Това гарантира бързодействие и висока точност в измерените резултати.

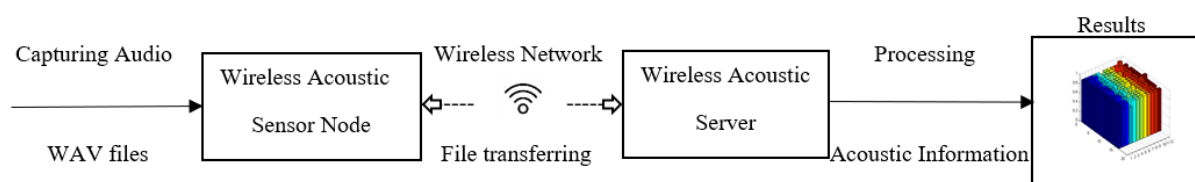


Фиг. 4.13. Начална страница с опростен контролен панел на сървъра към безжична акустична сензорна мрежа

#### 4.4 Преглед на получените резултати от обработката на акустични сигнали, записани по време на реален експеримент от безжичната акустична сензорна мрежа.

Обработката на акустични сигнали е динамична област, фокусирана върху събирането, анализа и манипулирането на звукови сигнали за извличане на смислена информация и подобряване на слуховото възприятие. Дисциплината обхваща широк спектър от приложения, включително разпознаване на реч, аудио подобрения, мониторинг на околната среда и биоакустични изследвания. Развитието ѝ е силно повлияно от напредъка в цифровата обработка на сигнали и изчислителните възможности, което позволява по-сложен анализ и обработка в реално време на комплексни аудиоданни.

На фигура 4.15 са показани различните процеси и етапи в една акустична сензорна мрежа.



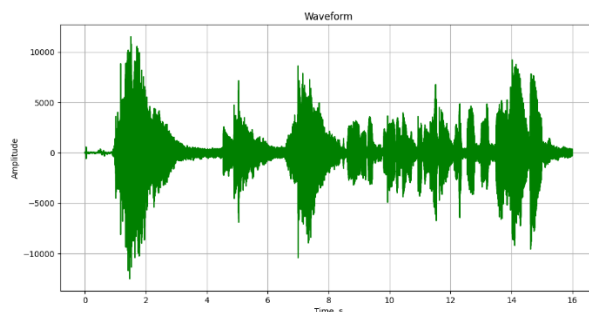
Фиг. 4.15 Блок схема на акустична сензорна мрежа

Първият етап е записването на аудиоинформацията чрез акустичните сензори. Сензорният възел записва получената информация във файлове с формат WAV.

На втория етап безжичният акустичен сензорен възел прехвърля аудиофайловете към акустичен сървър чрез Wi-Fi мрежа.

На третия етап програма с отворен код за аудиообработка обработва WAV файловете с акустичната информация и предоставя резултати — различни графики и акустични параметри.

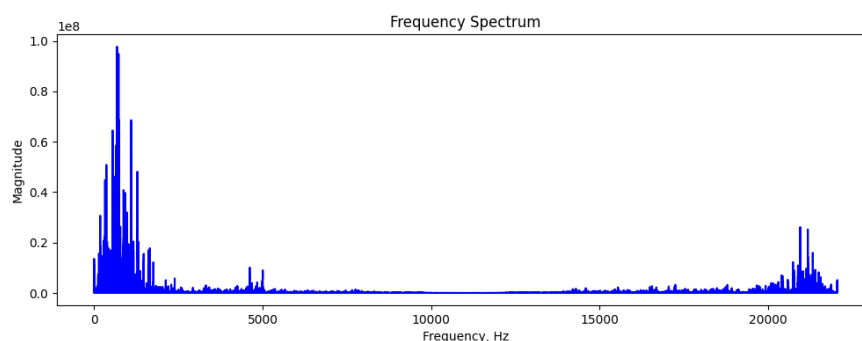
Създадена е програма на Python (прил. 2), която изчислява и визуализира необходимите акустични параметри. Това представлява важен етап в развитието на акустична сензорна мрежа.



Фиг. 4.20. Форма на вълната

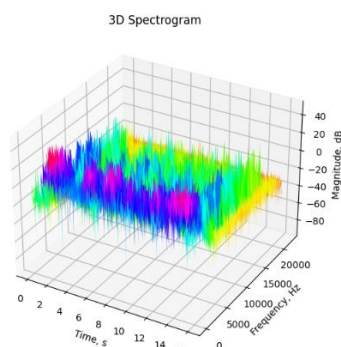
На фигура 4.20 е представена вълновата форма на аудио сигнала. Тя показва вариациите в налягането на въздуха или електрическите сигнали във времето. Илюстрира как амплитудата на звука се променя спрямо времето.

Честотният спектър показва честотните компоненти, които звуковият сигнал съдържа. Докато вълновата форма показва как амплитудата се променя във времето, честотният спектър показва как енергията или амплитудата на сигнала се изменя при различни честоти. Този анализ е много важен за изучаване на тоналните и хармоничните характеристики на аудио сигналите. Хоризонталната ос представлява честотата, измервана в херци (Hz). Тя обхваща диапазона на чуваемите звуци (от 20 Hz до 20 kHz за хората) и отвъд него. Вертикалната ос показва силата или интензитета на всеки честотен компонент — по-високите върхове съответстват на доминиращи честоти (Фигура 4.21).



Фиг. 4.21. Честотен спектър

На фигура 4.22 е показана спектрограма на заснетата аудио информация, която представя честотното съдържание на аудио сигнала във времето, с допълнително измерение за амплитуда или интензитет, изразени в децибели (dB). Оста X (време) показва развитието на аудио сигнала във времето. Всяка позиция по тази ос съответства на конкретен времеви интервал. Оста Y (честота) показва честотите в аудио сигнала — от ниски към високи.



Фиг. 4.22. 3D спектрограма

#### **4.5 Експериментална проверка за разбираемост на говор в предложените модели на безжична акустична сензорна мрежа, чрез реално действаща система за изкуствен интелект ChatGPT**

Съвременните интелигентни сензорни системи не се ограничават само до събирането на данни, а се стремят към способност за анализ, вземане на решения и интерактивна комуникация с крайния потребител. В този контекст езиковите модели от ново поколение като ChatGPT предлагат революционни възможности за взаимодействие между човек и машина чрез естествен език. Настоящата разработка разглежда концепцията, архитектурата и реализацията на система, в която безжична акустична сензорна мрежа (WASN) се комбинира с езиковия модел ChatGPT с цел интелигентен анализ, интерпретация и управление на акустична информация в реално време.

Интеграцията между реално действаща система за изкуствен интелект и акустичната сензорна мрежа е реализирана чрез следната структура:

- Акустични сензорни възли – събират акустични данни и ги записват като WAV файлове, използвайки MEMS микрофони и локална обработка.
- Централен сървър – приема аудиофайловете, извършва анализ и ги подготвя за комуникация с езиковия модел.
- Python модул за анализ – изчислява параметри като RT60, шум, спектър и други с помощта на SciPy, NumPy и други библиотеки.
- Интерфейс към ChatGPT – посредством OpenAI API, изпраща извлечените параметри към езиковия модел под формата на структурирани запитвания (prompts).
- Потребителски интерфейс – уеб или терминален чат, чрез който потребителят взаимодейства с цялата система.

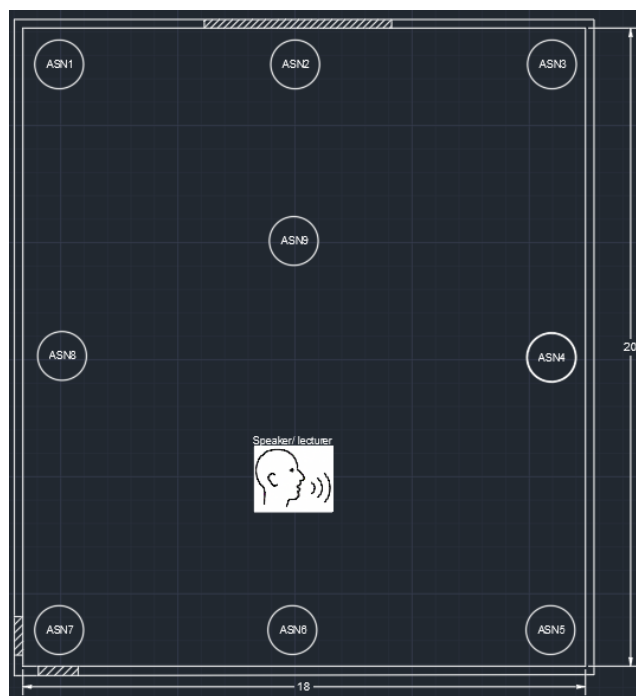
Етапите на обработка са следните:

- Звукът се записва от сензорен възел и се изпраща по Wi-Fi към сървъра.
- Обработващият скрипт анализира аудиофайла, извлича акустични параметри.
- Извлечените стойности се структурират в текстов “prompt”.
- “Prompt” се изпраща към ChatGPT чрез API (Application Programming Interface) заявка.
- ChatGPT връща обяснение на резултатите на естествен език.
- Потребителят вижда отговора и може да продължи диалога.

Настоящият експеримент е реализиран на базата на разработената блокова схема на акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект във втора глава (фиг.2.1). Експерименталната постановка и измерванията са проведени в

учебна зала № 1154 в блок 1 на Техническия Университет – София.

Конфигурацията на опитната постановка е показана на фигура 4.26. Източникът на звукови сигнали, в конкретния случай, е лектор (източник на реч). На фиг. 4.26 е посочена позицията на лектора и разположението на акустичните сензорни възли (ASN1, ASN2, и т.н.) спрямо него в учебната зала.



Фиг. 4.26. Конфигурация на опитната постановка на акустична сензорна мрежа

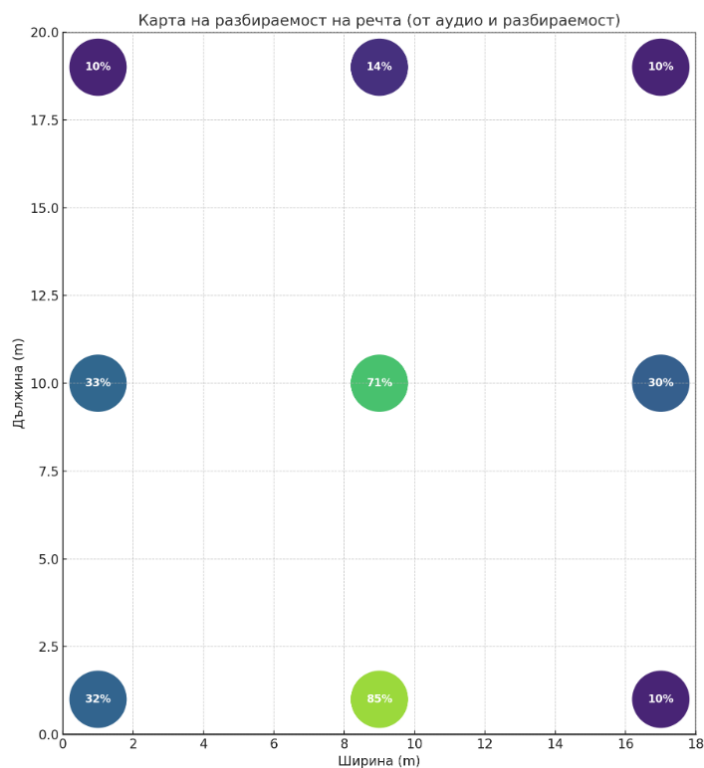
След снемане на акустичните параметри от всеки един от деветте сигнала, резултатите се записват в таблици. В тези таблици се наблюдават стойностите на определени параметри, снети от сигналите (таб. 4.1.), както и степента на разбиране на речта, изразена в проценти за всеки един сензор (табл. 4.2.).

| Сензор | Разстояние от източника (м) | SNR (dB) | RMS     |
|--------|-----------------------------|----------|---------|
| ASN1   | 15                          | -1.72    | 0.00374 |
| ASN2   | 12                          | 11.11    | 0.00312 |
| ASN3   | 15                          | 5.85     | 0.00839 |
| ASN4   | 10                          | 2.87     | 0.00824 |
| ASN5   | 10                          | 2.87     | 0.00824 |
| ASN6   | 5                           | 2.4      | 0.00657 |
| ASN7   | 10                          | -5.41    | 0.0083  |
| ASN8   | 10                          | 6.85     | 0.00741 |
| ASN9   | 8                           | 1.36     | 0.00714 |

Табл. 4.1. Параметри необходими за анализа на акустиката на затворено помещение, снети от всеки един от деветте сензора

| Сензор | Разстояние от източника (м) | Разбираемост (%) |
|--------|-----------------------------|------------------|
| ASN1   | 15                          | 10               |
| ASN2   | 12                          | 14               |
| ASN3   | 15                          | 10               |
| ASN4   | 10                          | 30               |
| ASN5   | 10                          | 30               |
| ASN6   | 5                           | 85               |
| ASN7   | 10                          | 32               |
| ASN8   | 10                          | 33               |
| ASN9   | 8                           | 71               |

Табл. 4.2. Разбираемост на речта, изразена в проценти



Фиг. 4.27. 2D визуализация на учебната зала и разпределението на областите с различна степен на разбираен на говор (изразено в проценти)

След направения анализ, системата за изкуствен интелект прави изводи и предлага допълнителни изчисления за по-адекватна оценка на акустиката в затвореното помещение (фиг.4.28).

**Изводи:**

- Зоните с най-ниска разбираемост (ASN1, ASN3, ASN5) са ясно видими в тъмозелено (10%);
- Централно разположени сензори (ASN6, ASN9) постигат най-добра речева яснота;
- Средни стойности в зоните ASN4, ASN7, ASN8 – нуждаят се от допълнително акустично третиране.

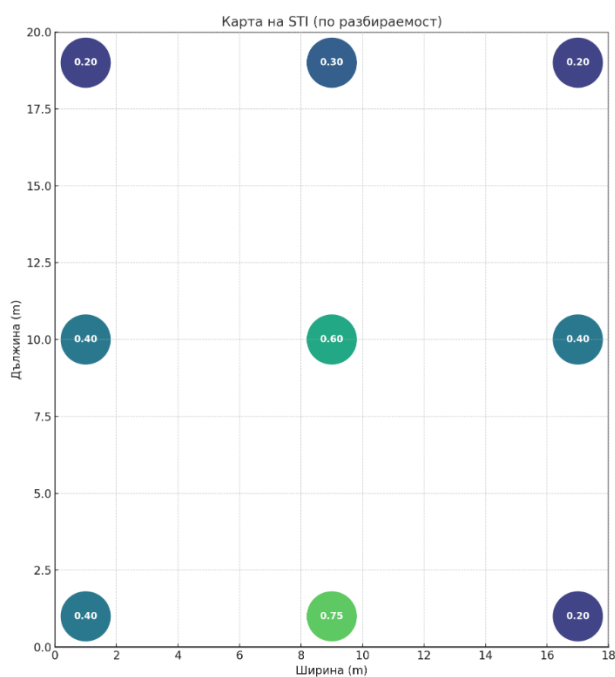
Фиг. 4.28. Екранна снимка с информация от система за изкуствен интелект към акустична сензорна мрежа

Потвърждаваме избора за изчисляване на STI (Speech Transmission Index) индекса и получаваме следната таблица (табл.4.3.) и анализ на получените стойности:

| Сензор | Разстояние от източника (м) | Разбираемост (%) | STI  |
|--------|-----------------------------|------------------|------|
| ASN1   | 15                          | 10               | 0.2  |
| ASN2   | 12                          | 14               | 0.3  |
| ASN3   | 15                          | 10               | 0.2  |
| ASN4   | 10                          | 30               | 0.4  |
| ASN5   | 10                          | 30               | 0.2  |
| ASN6   | 5                           | 85               | 0.75 |
| ASN7   | 10                          | 32               | 0.4  |
| ASN8   | 10                          | 33               | 0.4  |
| ASN9   | 8                           | 71               | 0.6  |

Табл. 4.3. Разбираемост на речта в проценти и STI индекс на записаните сигнали от акустична сензорна мрежа

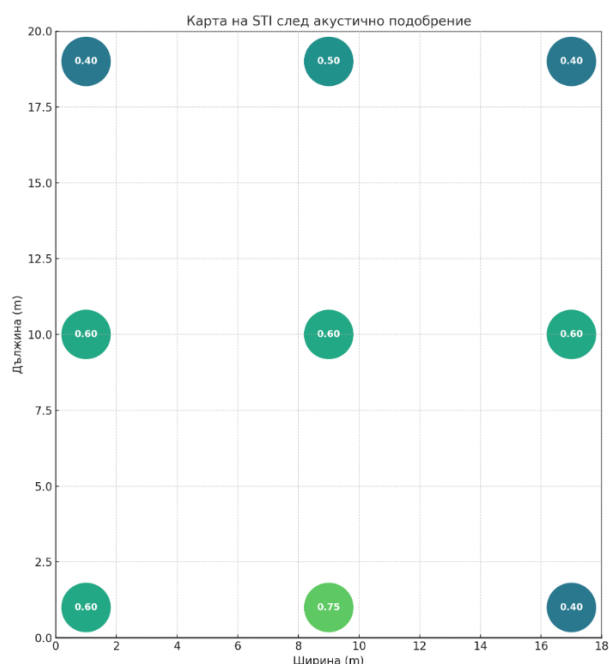
Отново системата за изкуствен интелект създава 2D визуализация на помещението като позиционира зоните с различни нива на STI (фиг. 4.29). Също така след анализ на всички параметри, дава предложение за подобряване на акустиката в учебната зала, както и симулация на това как биха се подобрили резултатите при изпълнение на препоръките (фиг.4.30, фиг.4.31).



Фиг. 4.29. 2D визуализация на учебната зала и разпределението на зоните с различни нива на STI.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Сензори: ASN1, ASN3, ASN5</p> <p>Проблем: Много ниска разбираемост, значителни реверберации или шум.</p> <p>Решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Поставяне на абсорбиращи панели (плътност <math>\geq 60 \text{ kg/m}^3</math>) по странични и задни стени;</li> <li>Монтиране на таванни панели (acoustic clouds) над зоните;</li> <li>Подова обработка – добавяне на мокет или килим с висок коефициент на поглъщане (<math>\alpha \geq 0.4</math>);</li> <li>Промяна в позицията на източника на говор – по-близо до центъра на помещението.</li> </ul> <p>● Зона: <math>STI = 0.40\text{--}0.50</math></p> <p>Сензори: ASN4, ASN7, ASN8</p> <p>Проблем: Средна разбираемост, натрупване на отразен звук.</p> <p>Решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Дифузиращи панели на противоположни стени – за разбиване на директни отражения;</li> <li>Омекотяване на интериора – тежки завеси, мебели с текстил;</li> <li>Добавяне на бавно затихващи материали около зоната (напр. акустични кули).</li> </ul> <p>● Зона: <math>STI \geq 0.60</math></p> <p>Сензори: ASN6, ASN9</p> <p>Проблем: Няма – зоната е акустично балансирана.</p> <p>Решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Запазване на съществуващите характеристики;</li> <li>Използване като примерна референтна зона за сравнение при повторен анализ.</li> </ul> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Фиг. 4.30. Препоръки за подобряването на STI индекса и цялостната акустика на изследваната учебна зала.



Фиг. 4.31. Резултати от подобряване на акустичните характеристики на учебната зала № 1154, въз основа на получената обективна оценка от системата за изкуствен интелект.

Като заключение от направения експеримент и постигнатите опитни резултати, можем да кажем, че разработената акустична сензорна мрежа на базата на интернет на нещата и интеграцията и с реално работеща система за изкуствен интелект, дава много добри резултати. Гарантира бързодействие, точен анализ на акустичната информация и адекватни препоръки за повишаване на акустичните свойства на изследваната учебна зала.

## НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Разработен е модел на акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект за оценка на акустичните параметри на затворени помещения чрез обработка с невронни мрежи и изкуствен интелект (т.2.1., от стр.49 до стр. 50, т.2.3., от стр. 53 до стр. 64).
2. Представени са основни уравнения, описващи всички сигнали на блоковата диаграма на предложената акустична сензорна мрежа (т.2.2., от стр.50 до стр.52).
3. Проведено е изследване и анализ на акустичните параметри за обучение на конволюционна невронна мрежа към безжична акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект (т.2.4., от стр.65 до стр.72).
4. Разработени са алгоритми за моделиране на предложената акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект (т.3.1., от стр.75 до стр.77).
5. Разработена е реално действаща безжична акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект (т.3.2., от стр.77 до стр.81).

## ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Разработена е Matlab симулация на разработваната акустична сензорна мрежа за акустични измервания в затворени помещения (т.4.1, от стр.83 до стр. 85).
2. Извършен е анализ и сравнение, на базата на експериментални резултати от специфичен пример за акустични измервания за предложената безжична акустична сензорна мрежа (т.4.2 от стр.85 до стр. 87).
3. Създадена е експериментална постановка за проверка на предложените в глава трета алгоритми за моделиране на предложената акустична сензорна мрежа на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект (т.4.3 от стр.87 до стр. 94).
4. Извършена е експериментална проверка за разбираемост на говор в предложените модели на безжична акустична сензорна мрежа, чрез реално действаща система за изкуствен интелект (т.4.5., от. стр. 107 до стр. 114).
5. Извършен е анализ на данните от обработката на акустични сигнали, записани по време на рален експеримент от безжична акустична сензорна мрежа (т.4.4., от стр.94 до стр. 107).

## СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Към дисертационният труд има публикувани 4 публикации в международни конференции, индексирани в Scopus. Към тези публикации има 9 цитирания в Scopus.

Списък на публикациите:

1. S. Pleshkova, K. Panchev and A. Bekyarski, "Developing a Functional Scheme of an IoT Based Module to an Acoustic Sensor Network," 2021 IV International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech), Sofia, Bulgaria, 2021, pp. 01-04, doi: 10.1109/HiTech53072.2021.9614207, IEEE Conference, Scopus, Web of Science.
2. S. Pleshkova, K. Panchev and A. Bekyarski, "Acoustic Sensor Network for Acoustic Measurements in Closed Rooms," 2020 III International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech), Sofia, Bulgaria, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/HiTech51434.2020.9364004, IEEE Conference, Scopus, Web of Science.
3. S. Pleshkova, K. Panchev and A. Bekyarski, "Development of a MIDI Synthesizer for Test Signals to a Wireless Acoustic Sensor Network," 2020 III International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech), Sofia, Bulgaria, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/HiTech51434.2020.9363999, IEEE Conference, Scopus, Web of Science.
4. S. Pleshkova and K. Panchev, "Capturing and Transferring of Acoustic Information in a Closed Room via Wireless Acoustic Sensor Network," 2021 12th National Conference with International Participation (ELECTRONICA), Sofia, Bulgaria, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ELECTRONICA52725.2021.9513720, IEEE Conference, Scopus, Web of Science.

Участие в договори:

Договор № 202ПД0030-07: „Акустични сензорни мрежи на основата на интернет на нещата и изкуствен интелект”, финансиран от ТУ-София за подпомагане на докторанти.



# **TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA**

## **FACULTY OF TELECOMMUNICATIONS**

### **Department of Radio communication and video technologies**

**Kostadin Vasilev Panchev, M.Sc.**

## **ACOUSTIC SENSOR NETWORKS BASED ON THE INTERNET OF THINGS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

### **Abstract of Ph.D. Thesis**

This dissertation explores the development and application of acoustic sensor networks (ASNs) supported by artificial intelligence (AI) in the context of the growing demand for intelligent monitoring systems in urban, environmental, and industrial settings. ASNs are distributed systems that capture, process, and transmit sound signals in real time. The study addresses challenges such as noise robustness, energy efficiency, and adaptability of these systems.

Wireless Acoustic Sensor Networks (WASNs) are a next-generation technology for collecting and processing audio information. Unlike traditional microphone arrays, which capture the sound field only locally and often at considerable distances from the sound sources, WASNs allow the use of many more microphones to cover a larger area of observation. However, designing such networks is a significant challenge, especially for real-time audio acquisition and signal enhancement, due to the substantial data traffic across the network. Scalable solutions are needed both at the signal processing level and at the network communication level.

Research in the field of signal processing and machine learning for advanced acoustic systems of this type supports the development of technologies and services with high operational potential. Current application areas—such as smart cities and buildings, as well as environmental monitoring—are already showing increasing interest in acoustic-based solutions. Internet of Things (IoT) platforms and single-board computers significantly enhance the capabilities of acoustic sensor networks focused on audio signal processing, opening up new opportunities for transforming sound into a valuable source of information for the development of next-generation services.

The main objective of the dissertation is to integrate modern AI techniques into the algorithms and architecture of ASNs. New approaches for acoustic event recognition and localization have been developed and tested in both simulated and real environments. The study also emphasizes energy efficiency through the implementation of embedded systems and optimized algorithms for data pre-processing.

The research is interdisciplinary in nature and aligns with global initiatives such as Smart Cities and sustainable development, demonstrating the potential of ASNs for early warning of environmental incidents, industrial monitoring, and improving quality of life. Simulations and experiments were conducted to validate the effectiveness of the developed systems, and their practical applicability in various domains is proposed.