

ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНИКИ
КАФЕДРА ЕОМ

Кваліфікаційна робота
Другий рівень (магістр)

Методи визначення відстані до джерела звуку в
системі управління елементами розумного будинку

Автор
Курлаєв В.І.
ст. гр. КСМм-23-1

КЕРІВНИК
БАРКОВСЬКА О.Ю.
ДОЦ. КАФ. ЕОМ

ОГЛЯД ПРОБЛЕМНОЇ ОБЛАСТІ

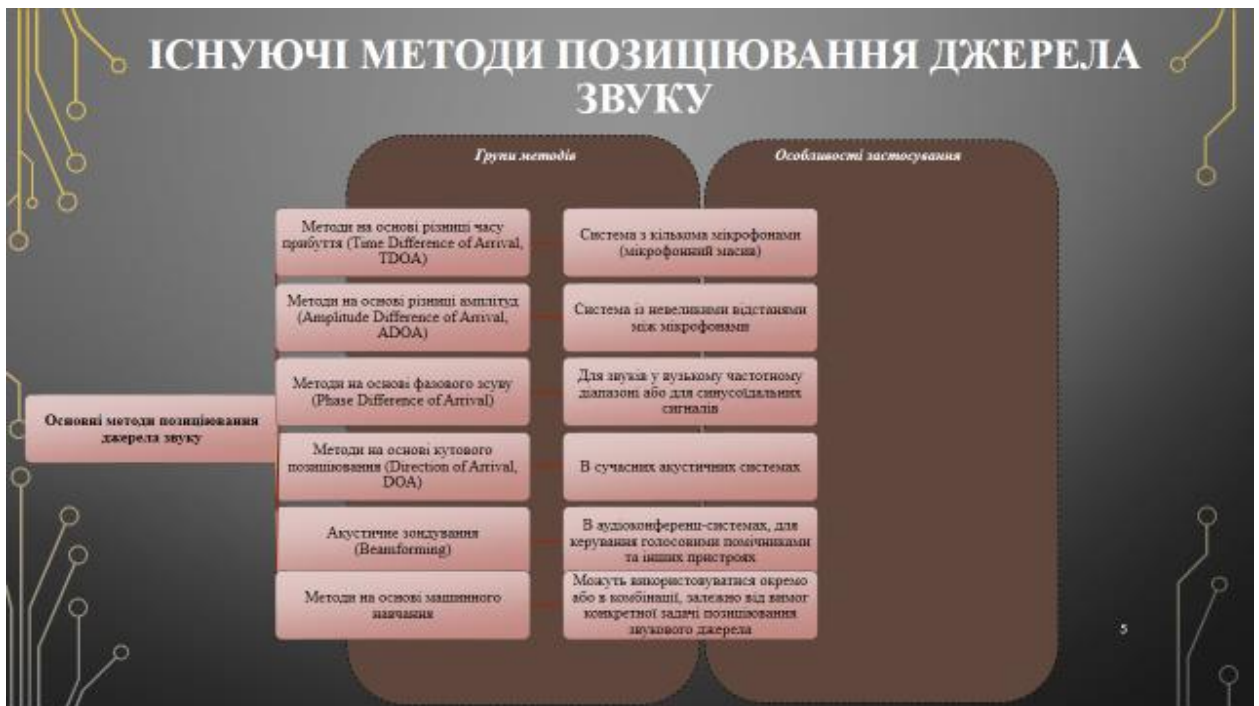




АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Рішення	Точність	Чутливість до шуму	Підтримка позиціонування
Amazon Echo, Google Home	Середня	Висока	Відсутня
Ультразвукові сенсори	Висока	Низька	Часткова
Запропонована система	Висока	Середня	Присутня



МЕТА І ЗАДАЧІ

Метою роботи є розробка ефективної системи визначення відстані до джерела звуку для автоматизації процесів у "розумному будинку". Застосування таких систем дозволяє підвищити комфорт, енергоефективність та безпеку житлових і комерційних приміщень.

Для досягнення поставленої мети потрібно буде вирішити кілька завдань:

дослідити сучасні технології визначення відстані до джерела звуку та проаналізувати їх реалізацію на платформі Arduino Uno;

розробити математичну модель для визначення відстані до джерела звуку з урахуванням обмежень обчислювальної потужності Arduino Uno;

створити алгоритм обробки звукових сигналів для визначення часу прибуття (ToA) або різниці часу прибуття (TDoA) сигналу до кількох мікрофонів;

реалізувати програмне забезпечення для Arduino Uno, яке забезпечить роботу з мікрофонами та обчислення відстані до джерела звуку;

провести експерименти для оцінки точності та ефективності розробленої системи в умовах "розумного будинку", враховуючи різні відстані та шумові перешкоди.

АКТУАЛЬНІСТЬ ОБРАНОЇ ТЕМИ

- ✓ Розвиток технологій розумного будинку
- ✓ Підвищення енергоефективності
- ✓ Зростання попиту на безконтактні технології
- ✓ Інклюзивність
- ✓ Інновації в обробці звукових сигналів
- ✓ Зростання ринку IoT
- ✓ Актуальність для безпеки



7

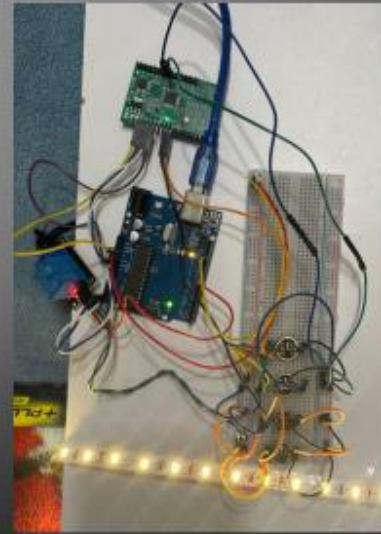
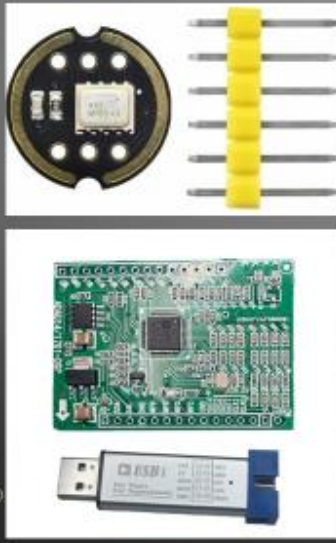
SmartThings's STRUCTURE DRAWING



ПРИНЦИПИ
РОБОТИ
ТРАДИЦІЙНИХ
РІШЕНЬ

8

ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

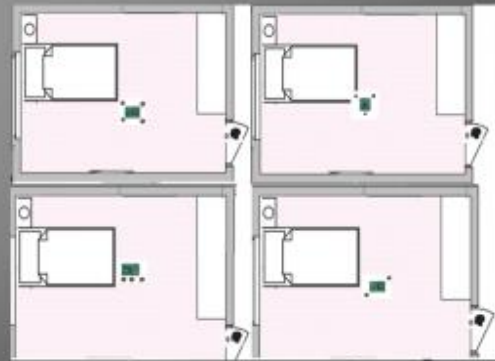


ДОСЛІДЖУВАНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ТА ВПЛИВИ

Вплив ступеня **зашумленості** на точність визначення відстані до джерела звуку

Вплив **конфігурації** системи мікрофонів на точність визначення відстані до джерела звуку

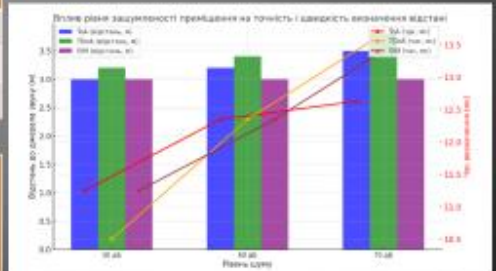
Вплив використаного алгоритму обробки звукового сигналу (**ToA, TDoA, Sound Intensity Method**, методи машинного навчання) на точність визначення відстані до джерела звуку



ВПЛИВ РІВНЯ ЗАШУМЛЕНОСТІ ПРИМІЩЕННЯ НА ТОЧНІСТЬ ТА ШВИДКІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ДО ДЖЕРЕЛА ЗВУКУ

Рівень шуму	ToA (м)	Час ToA (мс)	TDoA (м)	Час TDoA (мс)	Sound Intensity Method (м)	Час SIM (мс)
50 дБ	3.0	11.25	3.2	10.5	3.0	11.25
60 дБ	3.2	12.35	3.4	12.35	3.0	12.35
70 дБ	3.5	12.63	3.8	13.68	3.0	13.68

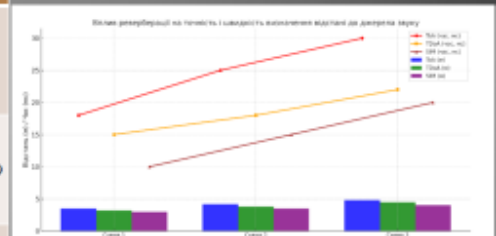
Рівень шуму (дБ)	ToA - Похибка (%)	ToA - Зміна швидкості (%)	TDoA - Похибка (%)	TDoA - Зміна швидкості (%)	Sound Intensity Method - Похибка (%)	Sound Intensity Method - Зміна швидкості (%)
50 дБ	3.125	3.125	5.88	-4.66	3.33	6.67
60 дБ	6.06	-5.88	8.82	-12.12	4.69	3.57
70 дБ	10.78	-10.53	10.94	-19.79	12.5	-5.56



11

ВПЛИВ РЕВЕРБАЦІЇ НА ТОЧНІСТЬ ТА ШВИДКІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ДО ДЖЕРЕЛА ЗВУКУ

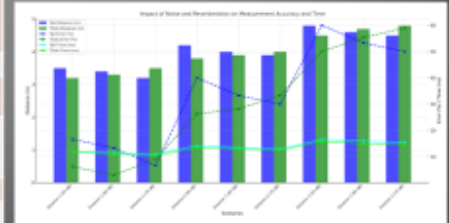
Схема перешкод	ToA (м)	Похибка ToA (%)	Час ToA (мс)	TDoA (м)	Похибка TDoA (%)	Час TDoA (мс)	Sound Intensity Method (м)	Похибка SIM (%)	Час SIM (мс)
Схема 1 (невелика перешкода посередній кімнаті)	3.5	16.67	12	3.2	6.25	12	3.0	0	10
Схема 2 (дві перешкоди посередній кімнаті)	4.2	40	17.14	3.8	26.32	13.5	3.5	16.67	14.29
Схема 3 (кілька дрібних перешкод по всій кімнаті)	4.8	60	20	4.5	50	15.83	4.0	33.33	16.67



12

ОЦІНКА ВПЛИВУ РІВЕНЬ ШУМУ ТА РЕВЕРБЕРАЦІЇ В ПРИМІЩЕННІ НА ТОЧНІСТЬ І ЧАС ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ ДО ДЖЕРЕЛА ЗВУКУ ЗА УМОВ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ШУМОПОДАВЛЕННЯ ДЛЯ КОЖНОГО З МЕТОДІВ (ToA, TDoA, SOUND INTENSITY METHOD)

Схема перешкоди	Рівень шуму (дБ)	ToA (м)	Похибка ToA (%)	Час ToA (мс)	TDoA (м)	Похибка TDoA (%)	Час TDoA (мс)
Схема 1 (невелика перешкода посередній кімнаті)	50 дБ	3.5	16.67	12	3.2	6.25	12
	60 дБ	3.4	13.33	11.5	3.3	3.03	11
	70 дБ	3.2	6.67	11	3.5	9.09	10.5
Схема 2 (дві перешкоди посередній кімнаті)	50 дБ	4.2	40.00	14.29	3.8	26.32	13.5
	60 дБ	4.0	33.33	13.5	3.9	28.21	13
	70 дБ	3.9	30.00	13	4.0	33.33	12.5
Схема 3 (кілька дрібних перешкод по всій кімнаті)	50 дБ	4.8	60.00	16.67	4.5	50.00	15.83
	60 дБ	4.6	53.33	16	4.7	55.32	15
	70 дБ	4.5	50.00	15.5	4.8	58.97	14.5



13

ВИСНОВКИ

Демонстрація
результатів
проведених
експериментів

Отримані результати сприяють покращенню точності систем голосового управління, що дозволяє автоматизувати пристрої у "розумному будинку" залежно від положення користувача. Це відкриває нові можливості для інтеграції систем розумного управління у сфері безпеки, медицини та IoT.

Досліджено точність методів ToA, TDoA та SIM у різних умовах шумового фону (50-70 дБ) та за наявності перешкод. Методи ToA і TDoA є кращими за SIM, оскільки вони забезпечують вищу точність і стабільність в умовах шуму та реверберації. Вони менш чутливі до перешкод і мають оптимізовані алгоритми для швидкої та надійної обробки сигналів, тоді як SIM залежить від інтенсивності звуку, яка легко спотворюється в складних акустичних умовах. Похибка для кожного методу була оцінена у відсотках, що дозволило виявити їхню залежність від рівня шуму та складності акустичного середовища. Найменші похибки зафіксовані для ToA за низького рівня шуму, а найбільші — для TDoA у складних умовах.

Запропоновано використання комбінованого підходу (поєднання ToA та TDoA) для досягнення найкращих результатів у реальних умовах.

Подальшими етапами дослідження є наступні: оптимізація алгоритмів для роботи з більшою кількістю мікрофонів; впровадження алгоритмів машинного навчання для підвищення точності позиціонування у складних акустичних умовах; розширення експериментів для тестування у реальних умовах багатокімнатних приміщень; інтеграція системи із зовнішніми сенсорами для зменшення впливу шуму та покращення роботи в реальному часі.

АПРОБІАЦІЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Курлаєв В.І., Барковська О.Ю. Метод визначення відстані до джерела звуку в системі управління елементами розумного будинку // Проблеми інформатизації : XII міжнародна науково-технічна конференція. - 21-22 листопада 2024. –с.71. doi: <https://doi.org/10.32620/PI.24.t2>
2. Vladyslav Kholiev, Olesia Barkovska, Kurlaev Vadim "Model and methods of high-performance informational content processing" // International Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology" (PIC S&T'2024). November 5-7, 2024