

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

ВИНАР АНАСТАСІЯ АНАТОЛІВНА

УДК 004.94

**АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ДАТЧИКІВ
СИСТЕМИ ПАСИВНОЇ АКУСТИЧНОЇ ЛОКАЦІЇ
НА ОСНОВІ ПЛАТОНОВИХ ТІЛ**

Галузь знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю

122 «Комп'ютерні науки»

122 - БКР.А - 402.21710206

Автореферат

бакалаврської кваліфікаційної роботи на здобуття освітньої кваліфікації

«бакалавр з комп'ютерних наук»

Миколаїв – 2021

Бакалаврською кваліфікаційною роботою є рукопис.

Робота виконана в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України на кафедрі інтелектуальних інформаційних систем.

Науковий керівник: д-р техн. наук, проф., в. о. проф.
кафедри комп'ютерної інженерії
Журавська Ірина Миколаївна

Рецензент: д-р техн. наук, проф. кафедри
інженерії програмного забезпечення
Фісун Микола Тихонович

Захист відбудеться «24» червня 2021 р. о ___ год. на засіданні
екзаменаційної комісії (ауд. 2-___) у Чорноморському національному університеті
імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

З бакалаврською кваліфікаційною роботою можна ознайомитися в бібліотеці
Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003,
м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

Автореферат представлений «18» червня 2021 р.

Секретар екзаменаційної комісії, викладач кафедри ІС

А. С. Скакодуб

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Пасивна акустична локація (ПАЛ) вже не одне століття використовується людством. Зокрема, системи ПАЛ використовуються у військовій сфері. Дані системи являються масштабними та вартісними, через це є недоступними у цивільному використанні. Таким чином, виникає завдання на основі існуючих систем пеленгації звуку створити таку систему, яка зможе бути використана у мирних цілях.

У даній роботі **поставлено за мету** дослідити просторове розміщення компонентів мікроконтролерної системи пасивної акустичної локації для обчислення вектору направленості до джерела звукових коливань при мінімізації кількості обчислень та розробити систему ПАЛ на основі одного з Платонових тіл (ПТ) для цивільного використання.

Об'єкт дослідження – розташування датчиків у внутрішній системі пасивної акустичної локації.

Предмет дослідження – система пасивної акустичної локації на основі Платонових тіл для використання у цивільній сфері.

Практична значимість розробленої системи полягає у тому, що вона може бути використана у лікарнях та госпіталях у палатах з пацієнтами з хворобами, які обмежують здатність рухатись та говорити. Зокрема, це може бути як коронавірус, так і інфаркти, інсульты або післяопераційний стан. Це дозволить вловлювати найменший стогін хворого та надавати інформацію на монітор сестринського поста для опрацювання викликів з різних палат.

Апробація результатів дипломної роботи відбулася під час:

- 1st International Scientific-Practical Conference on SCIENCE. INNOVATION. QUALITY “SIQ 2020” (Бердянськ, 17–18 грудня 2020 р);
- Міжнародного конкурсу студентських наукових робіт «Black Sea Science 2021» (березень 2021 р.), де робота була відзначена дипломом 2-го ступеня (додаток В).

За результатами бакалаврської роботи видано 3 публікації: дві тези доповідей [31; 33] та розділ монографії [32].

Результати роботи передані для впровадження у НДР ЧНУ ім. Петра Могили «Розробка модулів автоматизації бездротових приладів відновлення пост-інфарктних, пост-інсультних пацієнтів в індивідуальних умовах віддаленої реабілітації» (№ держ. реєстрації: 0121U109898, наук. керівник проф. Трунов О. М.).

Бакалаврська дипломна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку джерел посилання, додатків та спеціальної частини з охорони праці. Загальний обсяг фахової частини складає 60 сторінок (без додатків), 30 рис., 4 табл., 4 додатки та 33 джерела посилання на літературні джерела.

Ключові слова: пасивна акустична локація, Платонові тіла, мінікомп'ютер, датчики звуку, математична модель.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* дипломної роботи обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено предмет та об'єкт дослідження, розглянуто методологію та методи досліджень.

У *першому* розділі було розглянуто сфери використання системи пасивної акустичної локації, а також приклади існуючих систем.

Визначення точного або приблизного місцезнаходження будь-якого об'єкта на основі створюваних ним звукових коливань може застосовуватись у різних галузях: під час проведення пошуково-рятувальних операцій, в охоронних системах задля сповіщення про порушення периметру та обробки акустичних сигналів у підводних середовищах (рис. 1) й т. д. Частина компонентів може застосовуватися у військовій справі, наприклад, для визначення місцезнаходження ворожого снайпера або артилерійських систем.

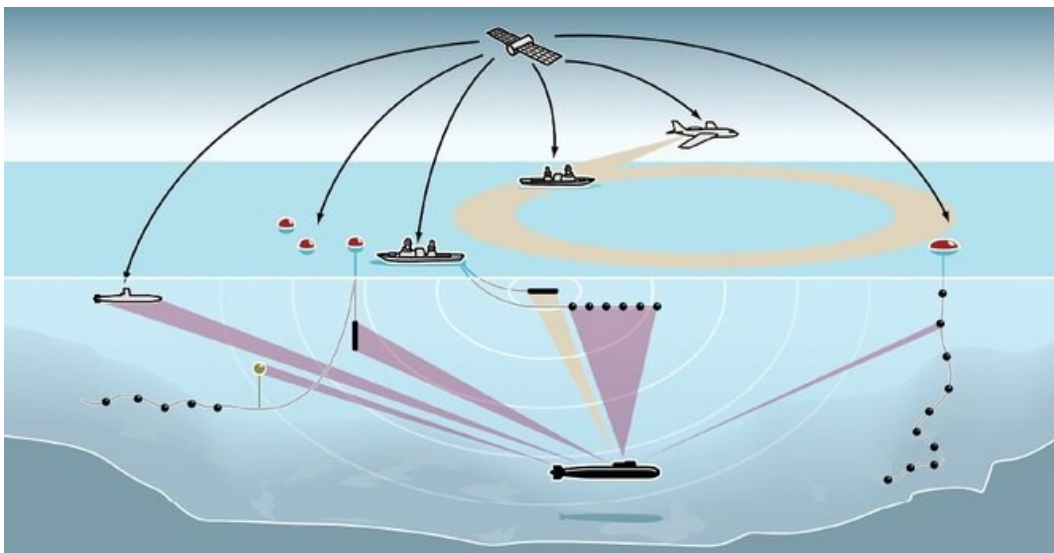


Рис. 1. Шумопеленгаційна система SOund SURveillance System

Широке застосування акустичної локації почалося на початку 20-го століття. Її застосування у той час було майже виключно військового характеру: акустичні системи протиповітряної оборони (ППО), гідролокація для відслідковування субмарин, тощо (рис. 2, а). На теперішній час дуже актуальним є використання акустичних систем під час пошуку потерпілих – тільки у лісі за тиждень влітку губиться до 600 людей. Для використання таких систем у надзвичайних ситуаціях треба у терміновому порядку розгортати подібні акустичні комплекси визначення джерела звуку, розбиваючи мапу на квадрати (рис. 2, б). До функцій таких акустичних програмно-апаратних комплексів (АПАК) як генерація звукових коливань для привертання уваги, так і визначення вектору направленості та/або місцеположення джерела звуку. Корисними можуть бути АПАК також у житлових приміщеннях та закладах громадського харчування для економії витрат на освітлення у разі відсутності людей у приміщеннях, а також для розгортання систем охорони.

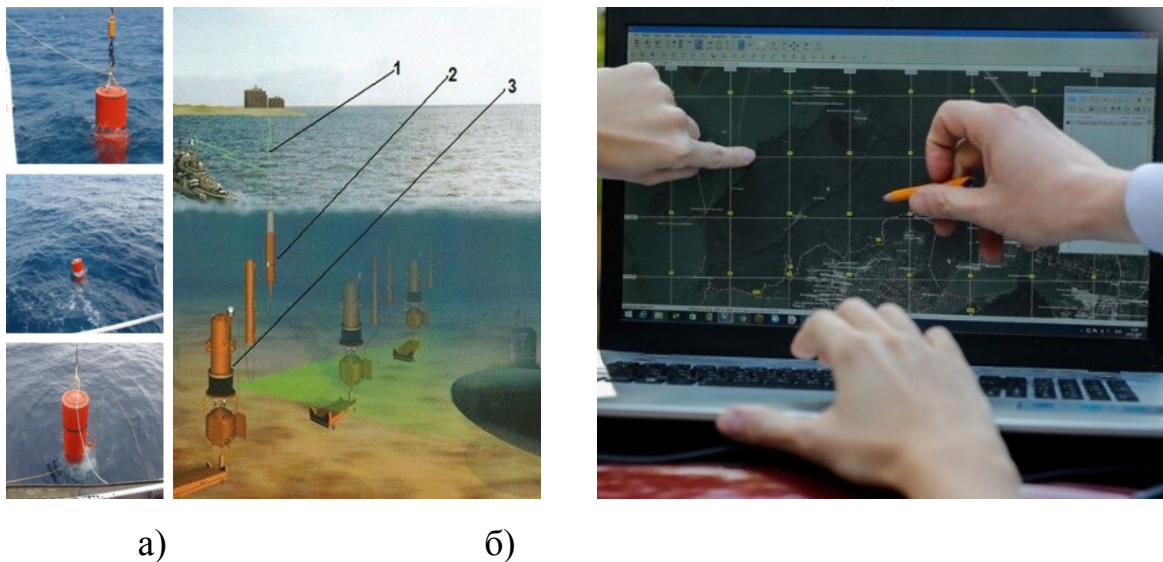


Рис. 2. Системи пасивної акустичної локації: а) гідроакустична система підводного охоронної сигналізації розробки Українського державного підприємства «Київський науково-дослідний інститут гідроприладів», б) система пошуку людей у лісі

Таким чином, на сьогоднішній день акустична локація застосовується і в цивільній сфері (акустична та гідролокація під час наукових досліджень та надзвичайних ситуацій), і у військовій (протиснайперські комплекси) та може бути віднесена до технологій подвійного призначення. Акустична локація, як і багато інших видів локації, поділяється на активну (з генеруванням звукових коливань для подальшого моніторингу «луни») акустичну локацію, так і пасивну, що полягає у наявності мережі записуючих пристроїв (мікрофонів або датчиків звуку). Такі пристрої на основі хвиль або різниці часу визначають точне або приблизне місцезнаходження джерела звуку.

У *другому* розділі було розглянуто схемотехнічні рішення поставленої проблем, які виконані на основі пасивної акустичної локації для невеликих відстаней, наприклад, за допомогою АПАК, побудованого на базі одноплатного комп'ютера Orange Pi PC Plus. Кількість використаних датчиків звуку – 3. Виникає питання, на якій відстані та за яким координатним положенням по відношенню до центрального блоку АПАК мають знаходитись датчики звуку.

Проаналізуємо відстань, на якій:

1) можуть бути рознесені датчики звуку від центрального блоку АПАК;

2) можливо визначити наявність джерела звуку з використанням датчиків, призначених для підключення до такого АПАК.

На теперішній час створений потужний математичний апарат розрахунку координат джерела звуку для трьох або чотирьох мікрофонів. Сучасні дослідження направлені на спрощення розрахункового алгоритму місцезнаходження джерела звуку та на визначення кількості датчиків, необхідної для розрахунку дальності до джерела звуку. Для підвищення точності пеленгу та/або для визначення вектору направленості для рухомого джерела акустичних коливань (наприклад, БПЛА) конструюють акустичні решітки з мікрофонів, які також дозволяють оцінювати час надходження фронту хвилі в різні вузли (датчики звуку або мікрофони) такої решітки.

Для просторової конструкції на площині мінімально необхідно 3 мікрофони. Кожен з датчиків матиме своє ім'я, наприклад, А–В–С.

Тепер, оскільки датчики розташовані у формі правильного трикутника, можливо увесь зовнішній простір розділити на 6 рівних секторів, кожен з яких має кут у 60 градусів. Тож, лише маючи порядок спрацювання датчиків, можливо гарантовано встановити сектор 60 градусів, у якому знаходиться джерело звуку. Для більш точного встановлення місцезнаходження необхідно зробити деякі розрахунки. По-перше, надамо кожному з датчиків координати на площині, роблячи їх відповідними до реальної відстані між датчиками (рис. 4, а).

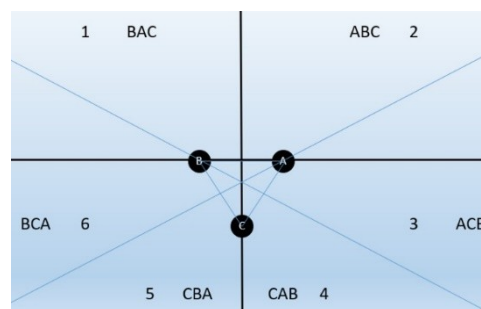


Рис. 3. Розміщення датчиків за правильним трикутником

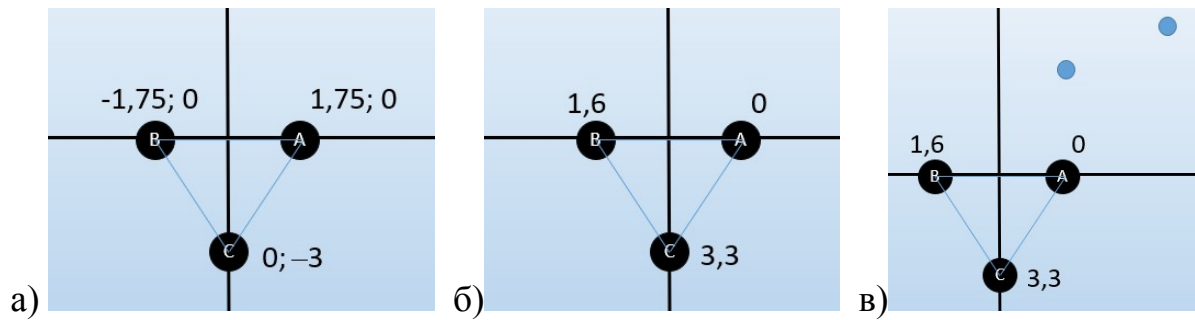


Рис. 4. Розташування датчиків на площині з визначеними координатами (а), часом (б) та двома точками джерела звуку (в)

Тепер необхідно узяти час спрацювання кожного з цих датчиків, який запам'ятовано. Найменший час, тобто час спрацювання датчика А, необхідно відняти від двох інших. Тоді буде отримано різницю надходження сигналу, різницю для датчику А встановлюємо в «0» (рис. 4, б), це і буде відповідна точка.

Відстань між точкою А та точкою джерела сигналу обчислюється за наступною формулою:

$$(1,75-x)^2+(0-y)^2=t^2.$$

Та ж сама ситуація для двох інших точок.

$$(-1,75-x)^2+(0-y)^2=(t+1,6)^2,$$

$$(0-x)^2+(3-y)^2=(t+3,3)^2.$$

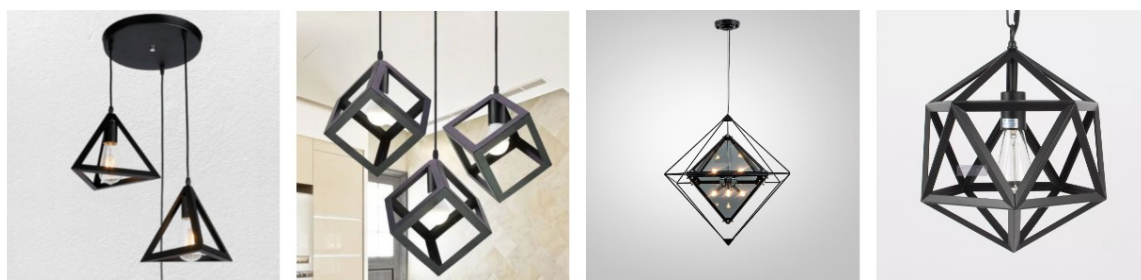
У випадку, якщо під час розв'язання системи не було виконано жодних округлень, у такому разі можна зробити висновок, що втрати даних не було, квадратне рівняння завжди матиме лише 1 розв'язок.

Після підстановки t в x та y буде отримано координати точки джерела звуку, або двох точок, якщо були втрати у точності (рис. 4, в).

У *третьому* розділі було розглянуто апаратне та програмне забезпечення системи ПАЛ.

Суттєвого зменшення обчислювальної складності розглянутої задачі можливо досягнути, якщо розташувати датчики по вершинах так званих Платонових тіл (ПТ) – правильних многогранників. Таке розташування дає однакову відстань (довжину ребра правильного многогранника) між сусідніми датчиками (розташовуються у вершинах ПТ), що значно спрощує обчислення.

Найбільш цікавим варіантом є конструкція у так званому форм-факторі «світильник» (рис. 5), оскільки дозволяє в межах одного приладу поєднати декілька функцій: безпосередньо освітлення, систему керування рівнем освітлення, систему контролю проникнень через периметр (у неробочий час та/або при відсутності людей).



а)

б)

в)

г)



д)

Рис. 5. Світильники у формі Платонових тіл: а – тетраедр; б – гексаедр (куб), в – октаедр; г – ікосаедр; д – додекаедр

У вершину такого світильника у вигляді ПТ – дерев'яного, з латунного профілю або надрукованого на 3D-принтері з ABS-пластика (рис. 6, а) – монтується датчик звуку KY-037 (рис. 6, б).

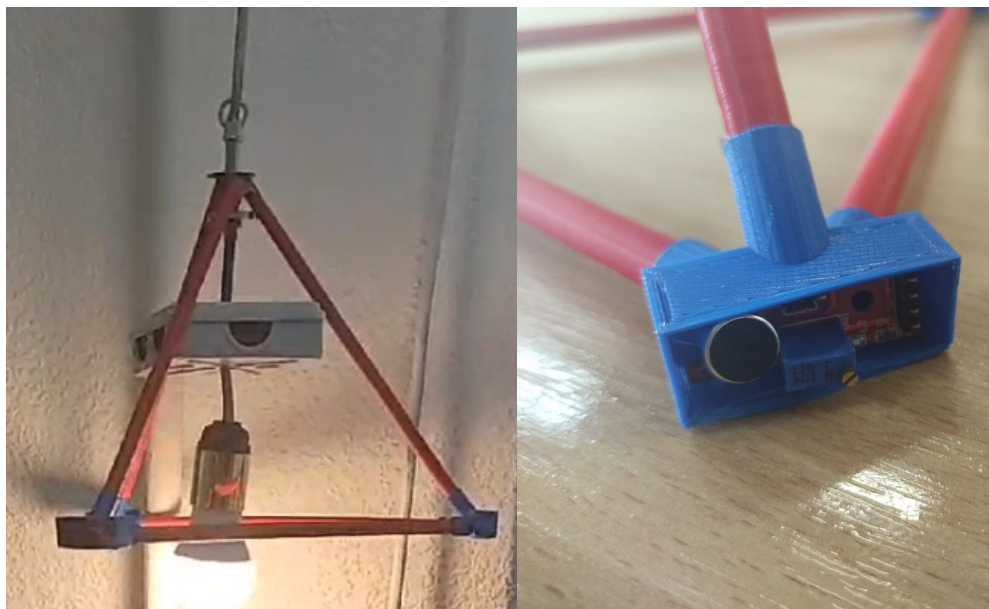


Рис. 6. Конструкція системи ПАЛ, надрукована на 3D-принтері:
а – з вбудованим центральним блоком на базі Orange Pi; б – з датчиками звуку
у вершинах Платонова тіла «Тетраедр»

Якщо така конструкція використовується також для освітлення, то провід живлення електролампочки, яка розташовується ПД корпусом комплекту АПАК, проходить разом з проводом живлення АПАК, потім наскрізь корпус АПАК.

Зважаючи на те, що у житлових приміщеннях та у закладах громадського харчування використовуються світильники радіусом біля 30 см, то до їх конструкції можуть бути вбудовані комплекти АПАК з аналогічними розмірами. Крім того, довжина проводів від датчика звуку до комплекту АПАК може бути зменшена відповідно до розміру світильника, але не менше ніж за корпус для мікроконтролерної системи (біля 60 мм).

Великі розміри (декілька метрів) радіусу описаної сфери навколо системи датчиків АПАК відповідають просторовим системам контролю доступу у

приміщення, які можуть бути активовані у позаробочий час для організацій та при відсутності хазяїв удома для житлових приміщень. В такому разі датчики звуку встановлюються по периметру такого приміщення (рис. 7).

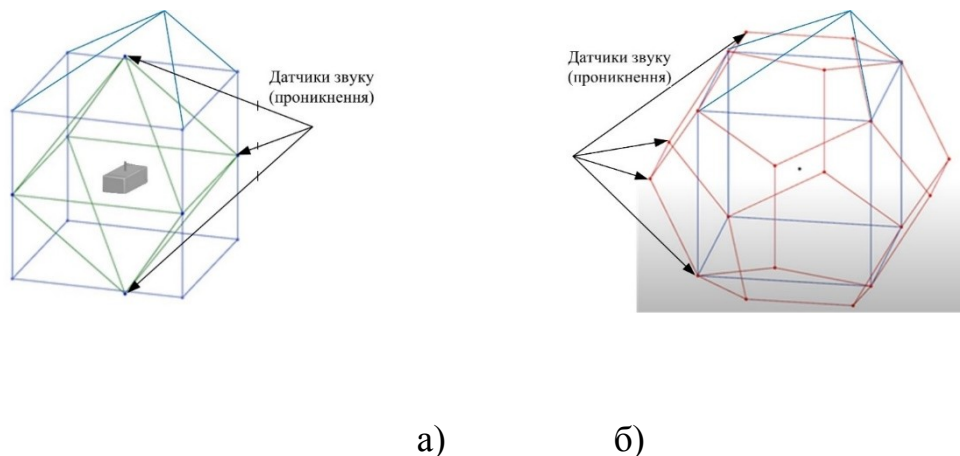


Рис. 7. Система контролю доступу у приміщення будинку в октаедрі (а)
та на прибудинкову територію в додекаедрі (б)

Слід зауважити, що поріг чутливості датчиків звуку, що виставляється за допомогою потенціометру на платі такого датчика, має виставлятися в залежності від призначення АПАК з урахуванням того, що діапазон інтенсивності оточуючих шумів може варіюватися в діапазоні від 30 дБ до 90 дБ.

В будь-якому разі, при генерації звуку, що гучніший за виставлений поріг, кожен з датчиків, що знаходиться на відомій однаковій відстані від сусідніх датчиків, через лінію зв'язку (ЛЗ) повідомлятиме АПАК про отримання звукового сигналу (рис. 8).

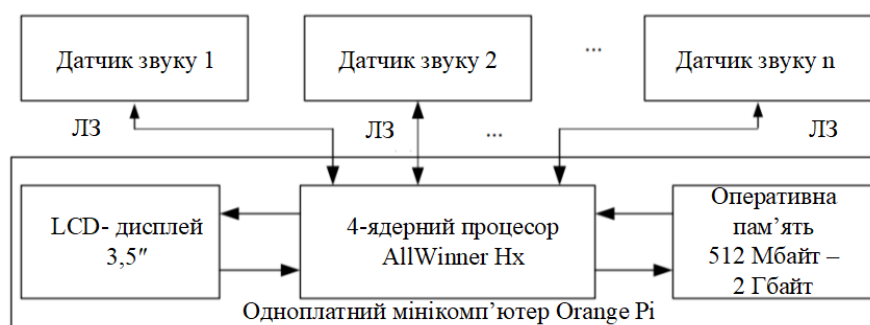


Рис. 8. Структурна схема багатодатчикової системи пасивної акустичної локації

В оперативній пам'яті зазначеного мінікомп'ютера буде зберігатися час отримання звукового сигналу для кожного з датчиків. Після обробки алгоритму пасивної акустичної локації дані щодо вектору направленості до джерела звукових коливань відобразатимуться на LCD-дисплеї та/або на мобільному пристрої за допомогою розробленого програмного застосунку.

У *четвертому* розділі було наведено приклад використання зробленої системи. Незважаючи на основне використання системи пасивної акустичної локації у воєнній сфері, вона може бути використана з таким самим успіхом у цивільній сфері.

Особливо актуальним є використання у лікарнях та госпіталях в палатах з пацієнтами з хворобами, які обмежують здатність рухатись та говорити. Зокрема, це може бути як коронавірус, так і інфаркти, інсульту або післяопераційний стан.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було досліджено просторове розміщення компонентів мікроконтролерної системи пасивної акустичної локації для обчислення вектору направленості до джерела звукових коливань та розроблено систему пасивної акустичної локації (ПАЛ) на основі Платонового тіла «Тетраедр» для цивільного використання.

Зазначену мету досягнуто завдяки виконання наступних завдань:

- проаналізовано існуючі методи та системи пеленгації джерела сигналу (в тому числі звукового);
- розроблено математичну модель системи ПАЛ з розміщенням датчиків звуку у вершинах Платонових тіл;
- розроблено апаратне та програмне рішення системи ПАЛ, яка здатна встановлювати місцезнаходження об'єкту за даними, отриманими від датчиків звуку та обробленими на мікроконтролерній системі;
- досліджена можливість використання розробленої системи ПАЛ у медичній галузі.

В ході дипломної роботи було розглянуто та проведено аналіз створених систем пасивної акустичної локації та їх призначення та використання.

Крім бойового призначення систем, вони використовуються у цивільній. Це і пошук тих, хто загубився у лісах і національних парках, і охорона периметру певних закладів.

У розділі 2 було розглянуто проблеми розміщення датчиків у системі, а також спрощення математичного моделі, тобто, досліджено способи, які допоможуть зменшити обчислювальну складність задачі за рахунок запропонованого просторового розміщення компонентів, зокрема, датчиків звуку.

Для даної системи була обрана кількість датчиків «3». Суттєвого зменшення обчислювальної складності розглянутої задачі можливо досягнути, якщо розташувати датчики по вершинах правильних многогранників. Таке розташування дає однакову відстань (довжину ребра правильного многогранника) між сусідніми датчиками, що значно спрощує обчислення.

Найбільш цікавою модифікацією являється конструкція у формі «люстра» або «світильник». Вона дозволяє в межах одного приладу поєднати одразу ряд певних функцій: освітлення, систему керування рівнем освітлення, систему контролю проникнень через периметр (у неробочий час та/або при відсутності людей).

У розділі 3 розглядаємо апаратне та програмне вирішення. Для даної системи доцільним є використання одноплатного мінікомп'ютера Orange Pi PC Plus та датчиків KY-037. Orange Pi, незважаючи на свої доволі невеликі розміри, є

повноцінним мінікомп'ютером, за допомогою якого можна автоматизувати безліч процесів. Для коректної роботи плати встановлюється образ операційної системи. В даному випадку було обрано такий дистрибутив Linux, як Armbian.

На наступному етапі було підключено датчики до плати згідно зі схемою. Було створено скетч для перевірки роботи датчика на C++.

Було розроблено систему, яка здатна встановлювати відстань до об'єкту за даними, отриманими від датчиків звуку, встановлених у вершинах люстри у вигляді правильного многогранника, та обробленими мікроконтролерною системою.

Останнім завданням дипломної роботи було визначення практичного призначення даної системи.

Практична значимість розробленої системи полягає у тому, що вона може бути використана у лікарнях та госпіталях у палатах з пацієнтами з хворобами, які обмежують здатність рухатись та говорити. Це дозволить вловлювати найменший стогін хворого та надавати інформацію на монітор сестринського поста для опрацювання викликів з різних палат.

Апробація результатів дипломної роботи відбулася під час:

- 1st International Scientific-Practical Conference on SCIENCE. INNOVATION. QUALITY "SIQ 2020" (Бердянськ, 17–18 грудня 2020 р.);
- Міжнародного конкурсу студентських наукових робіт «Black Sea Science 2021» (березень 2021 р.), де робота була відзначена дипломом 2-го ступеня.

За результатами бакалаврської роботи видано 3 публікації: дві тези доповідей [1; 3] та розділ монографії [2].

Результати роботи передані для впровадження у НДР ЧНУ ім. Петра Могили «Розробка модулів автоматизації бездротових приладів відновлення пост-інфарктних, пост-інсультних пацієнтів в індивідуальних умовах віддаленої реабілітації» (№ держ. реєстрації: 0121U109898, наук. керівник проф. Трунов О. М.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Vynar A., Dvoretzkyi M., Kulakovska I., Sorovetskyi A. Passive acoustic location information system with microphones placed in the vertices of regular polyhedrons. *Science. Innovation. Quality : Proc. of the 1st Intern. Sci.-Pract. Conf. "SIQ – 2020"*, Verdyansk, Ukraine, Dec. 17–18, 2020. P.112–115.

2. Борцов В. В., Бойко А. П., Винар А. А., Журавська І. М., Кулаковська І. В. Просторове розміщення мікроконтролерної системи пасивної акустичної локації на основі Платонових тіл. В кн.: *На шляху до Індустрії 4.0: інформаційні технології, моделювання, штучний інтелект, автоматизація* : монографія ; за заг. ред. С. В. Котлика. Одеса : Астропринт, 2021. С. 97–109.

3. Vynar A., Sorovetskyi A., Kulakovska I., Dvoretzkyi M. Passive acoustic location information system with spatial placement of sensors in the vertices of Platonic polyhedrons. *Black Sea Science 2021* : Proc. of the Internat. Competition of Student Sci. Works / Odessa National Acad. of Food Technol. Odessa : ONAFT, 2021. P. 503–517.

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної роботи бакалавра
«Автоматизація розміщення датчиків системи пасивної акустичної локації
на основі Платонових тіл»

Студентка гр. 402: Винар Анастасія Анатоліївна
Керівник: д-р техн. наук, проф. Журавська І. М.

Винар Анастасія Анатоліївна. Автоматизація розміщення датчиків системи пасивної акустичної локації на основі Платонових тіл. – На правах рукопису.

Бакалаврська дипломна робота на здобуття освітньої кваліфікації «Бакалавр з комп'ютерних наук». – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, 2021.

Мета та основні результати роботи: дослідження просторового розміщення компонентів мікроконтролерної системи пасивної акустичної локації (ПАЛ) для обчислення вектору направленості до джерела звукових коливань при мінімізації кількості обчислень та розробка системи ПАЛ на основі одного з Платонових тіл для цивільного використання.

У *першому* розділі було розглянуто існуючі системи пасивної акустичної локації, що використовуються для виявлення спецтехніки та снайперів.

В *другому* розділі розглянуті схематичні приклади розв'язування задачі, а також представлено спрощену математичну модель.

Третій розділ присвячений апаратному та програмному вирішенню задачі на основі одноплатного мінікомп'ютера Orange Pi PC Plus.

В *четвертому* розділі наведено зразок використання системи в умовах медичних закладів, а також процес створення системи.

У *спеціальній частині* роботи було виконано аналіз умов праці в комп'ютерній лабораторії закладу вищої освіти. Виявлено, що оцінка умов праці на робочому місці відноситься до IV категорії, коли спостерігається робота у несприятливих умовах праці.

Практична значимість розробленої системи полягає у тому, що вона може бути використана у лікарнях та госпіталях у палатах з пацієнтами з хворобами, які обмежують здатність рухатись та говорити. Зокрема, це може бути як коронавірус, так і інфаркти, інсульты або післяопераційний стан. Це дозволить вловлювати найменший стогін хворого та надавати інформацію на монітор сестринського поста для опрацювання викликів з різних палат.

Сторінок – 60 (без додатків), рисунків – 30, таблиць – 4, додатків – 4, джерел посилання на літературні джерела – 33.

Ключові слова: пасивна акустична локація, Платонові тіла, мінікомп'ютер, датчики звуку, математична модель.

ABSTRACT

of the Bachelor's Thesis

«Automation of placement of the passive acoustic location system sensors based on Platonic solids»

Student of group 402: Vynar Anastasiia Anatoliivna

Supervisor: D.Sc. (Techn.), Professor Zhuravska I. M.

Vynar Anastasiia. Automation of placement of the passive acoustic location system sensors based on Platonic solids. – On the rights of the manuscript.

Bachelor's work for obtaining an educational qualification «Bachelor of Computer Science» – Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, 2021.

Purpose and main results of work: research of spatial arrangement of components of microcontroller system of passive acoustic location (PAL) for calculation of vector of orientation to the source of sound oscillations at minimization of quantity of calculations and development of PAL system on the basis of Platonic solid for civil use.

The first section examines the existing PAL systems used to detect special equipment and snipers.

The second section discusses schematic examples of problem solving, as well as a simplified mathematical model.

The third section is devoted to the hardware and software solution of the problem based on the single-board minicomputer Orange Pi PC Plus.

The fourth section provides an example of the use of the system in medical institutions, as well as the process of creating the system.

In a special part of the work, an analysis of working conditions in the computer laboratory of a higher education institution was performed. It was found that the assessment of working conditions in the workplace belongs to the IV category, when there is work in adverse working conditions.

The practical significance of the developed system is that it can be used in hospitals and wards in wards with patients with diseases that limit the ability to move and speak. In particular, it can be both a coronavirus, and heart attacks, strokes or a postoperative condition. This will capture the slightest groan of the patient and provide information to the nurse's monitor to handle calls from different wards.

Pages – 60 (without appendices), figures – 30, tables – 4, appendices – 4, references – 33.

Keywords: passive acoustic location, Platonic solids, minicomputer, sound sensors, mathematical model.