

Дослідження використання сенсорних мереж в підводних технологіях

Максим Делембовський¹, Борис Корнійчук², Микола Клименко³,
Олександр Дьяченко⁴

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп., 31. Київ, Україна, 03037

¹ delembovskyi.mm@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-6543-0701

² korniichuk.bv@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0003-3881-1581

³ klymenko.mo@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-6166-8966

⁴ diachenko.os@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-8199-2504

Received 30.11.2023, accepted 20.12.2023
<https://doi.org/10.32347/uwt.2023.13.1801>

Анотація. Це дослідження зосереджується на застосуванні сенсорних мереж у сфері підводних технологій, яке відкриває нові можливості для моніторингу та дослідження морського середовища. Основна увага приділена розробці та імплементації сенсорних систем, здатних витримувати високий тиск та корозію у підводному середовищі, а також забезпечувати точні та надійні дані.

В роботі охоплено теоретичні аспекти сенсорних мереж, включаючи їх конструкцію, функціональні можливості та виклики, пов'язані з їх використанням у підводному середовищі. Окрема увага приділяється методам передачі даних та енергозбереженню в умовах обмеженого доступу до енергії.

Наступною складовою роботи є аналіз практичних аспектів впровадження сенсорних мереж, зокрема розглядаються кейси їх застосування для моніторингу водних ресурсів, вивчення морської фауни та флори, а також у підводних археологічних дослідженнях. Робота наголошує на значенні цих технологій для збору даних про морське дно, його рельєф та екосистему.

Дана наукова робота розглядає перспективи розвитку сенсорних мереж у підводних дослідженнях, включаючи інтеграцію з іншими технологіями, такими як автономні підводні апарати, та розробку нових матеріалів і технологій для підвищення ефективності та довговічності



Максим Делембовський
доцент кафедри кібербезпеки
та комп'ютерної інженерії
к.т.н., доц.



Борис Корнійчук
доцент кафедри професійної
освіти
к.т.н., доц.



Микола Клименко
доцент кафедри машин і обла-
днання технологічних процесів
к.т.н., доц.



Олександр Дьяченко
доцент кафедри машин і обла-
днання технологічних процесів
к.т.н.,

сенсорних систем.

Ключові слова: сенсорні мережі, підводні технології, моніторинг морського середовища, підводне обладнання, передача даних, енергозбереження, морська екосистема, автономні підводні апарати.

ВСТУП

Дана тематика роботи відкриває новий горизонт у сфері підводних досліджень за

допомогою сенсорних мереж, що є ключовим елементом у вивченні та розумінні морського середовища. Сучасний світ стрімко розвивається, і разом із цим зростає потреба у використанні передових технологій для дослідження підводного світу. Сенсорні мережі пропонують унікальну можливість для збору, обробки та передачі даних з глибин морів та океанів, дозволяючи отримувати цінну інформацію про підводні екосистеми, їх стан та зміни, що відбуваються у них.

Підводні сенсорні мережі мають широкий спектр застосувань, включаючи моніторинг забруднення води, вивчення морських течій, а також дослідження морської флори та фауни. Вони можуть відігравати ключову роль у підвищенні безпеки підводних операцій та сприяти розвитку морської економіки. Втім, створення ефективних та надійних підводних сенсорних мереж представляє собою значний виклик, що вимагає вирішення питань пов'язаних з довговічністю обладнання, енергозабезпеченням, а також передачею даних у складних підводних умовах.

Це дослідження розглядає ключові аспекти та виклики, пов'язані з розробкою та використанням сенсорних мереж у підводних умовах, а також оцінює потенційні можливості та перспективи їх застосування для подальшого розвитку підводних технологій.

МЕТА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Головною метою цього дослідження є аналіз можливостей та викликів, пов'язаних з використанням сенсорних мереж у підводних технологіях, з метою визначення ефективних стратегій для їх розробки та імплементації. Дослідження спрямоване на виявлення та розробку інноваційних підходів до створення надійних, довговічних і ефективних сенсорних систем, які можуть витримувати умови підводного середовища та забезпечувати точність і надійність збору даних.

Основуючись на попередніх дослідженнях є можливість сформувати

попередні методи дослідження, які можуть складатись з наступних елементів (рис. 1), а саме:

1. Літературний огляд, який допоможе аналізувати наукові публікації, технічні звіти та статі, що описують поточний стан сенсорних мереж у підводних технологіях, а також виявлення основних тенденцій і інновацій в цій галузі.
2. Експериментальне моделювання, що попередню дозволить розробити та тестувати прототипи сенсорних мереж у контрольованих умовах для вивчення їх характеристик, включаючи довговічність, точність даних та ефективність енерговикористання.
3. Аналіз даних у тому числі відкритих даних дозволить використання статистичних та аналітичних методів для обробки та інтерпретації отриманих результатів, щоб зрозуміти ефективність різних підходів та стратегій у використанні сенсорних мереж.
4. Кейс-стадії є одним із складових елементів дослідження практичних прикладів впровадження сенсорних мереж у реальних підводних умовах, аналіз успіхів та недоліків існуючих систем.
5. Експертні інтерв'ю, як один з можливих елементів отримання альтернативної думки з залученням фахівців у галузі підводних технологій та сенсорних мереж для отримання глибинних знань та оцінки майбутніх тенденцій і потенційних напрямків розвитку.

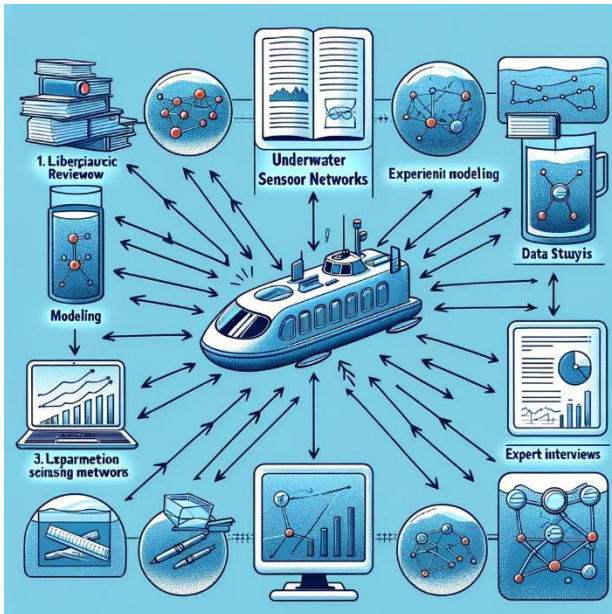


Рис. 1. Методи дослідження бездротових сенсорних мереж

Отже, багатогранне дослідження дозволить отримати комплексний погляд на можливості та виклики використання сенсорних мереж у підводних технологіях, що сприятиме їх ефективному впровадженню та подальшому розвитку.

РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

На першому етапі досягнення визначеної мети авторським колективом проведено дослідження наявних наукових статей та матеріалів за відповідною тематикою. Таким чином, отримано результати актуальності використання сенсорних мереж в підводних технологіях в наступних матеріалах.

Наукова стаття «Node deployment optimization of underwater wireless sensor networks using intelligent optimization algorithm and robot collaboration», опублікована в «Scientific Reports» [1], присвячена підвищенню продуктивності підводних бездротових сенсорних мереж (UWSN). Автори даної статті досліджує використання інтелектуальних алгоритмів оптимізації в поєднанні з робототехнічною кооперацією для розгортання сенсорних вузлів. Цей підхід спрямований на покращення покриття мережі, споживання енергії та якості зв'язку в складних

підводних умовах. Дослідження включає розробку адаптивного гібридного інтелектуального алгоритму оптимізації, що поєднує генетичну оптимізацію та оптимізацію роїв частинок, а також докладно описує використання автономних підводних роботів для точного розгортання вузлів. Це дослідження пропонує інноваційні стратегії для вирішення унікальних проблем у UWSN.

Наукова стаття «Review of Underwater Mobile Sensor Network for Ocean Phenomena» [2] є всебічним дослідженням, у якому розглядаються досягнення мобільних сенсорних мереж у контексті моніторингу океану. Автор статті зосереджує увагу на розробці та застосуванні цих технологій для ефективного підводного спостереження за навколишнім середовищем. Огляд підкреслює вирішальну роль, яку ці мережі відіграють у спостереженні та розумінні океанічних явищ, пропонуючи уявлення про технологічний прогрес у цій галузі.

Наукова стаття «A survey on underwater wireless sensor networks: Requirements, taxonomy, recent advances, and open research challenges» [3] - це поглиблене дослідження, яке вивчає різні аспекти підводних бездротових сенсорних мереж (UWSN). Це комплексне дослідження охоплює вимоги, класифікацію та можливості UWSN, пропонуючи розуміння їх різноманітних застосувань і технологій, залучених до їх роботи. Стаття містить ретельний огляд галузі, що робить її цінним ресурсом для розуміння складності та потенціалу UWSN.

Наукова стаття «Challenges and security issues in underwater wireless sensor networks» [4], яка розглядає унікальні проблеми безпеки та вразливості, властиві підводним бездротовим сенсорним мережам (UWSN). Він заглиблюється в конкретні проблеми, які впливають на безпеку цих мереж, підкреслюючи потребу в надійних і безпечних протоколах зв'язку. У статті наведено глибокий аналіз потенційних ризиків і запропоновано стратегії для підвищення безпеки UWSN.

В науковій статті «Underwater wireless sensor networks: A review of recent issues and challenges» [5] авторським колективом

представлено комплексний огляд, у якому обговорюються останні розробки та виклики підводних бездротових сенсорних мереж. У статті розглядаються різні аспекти, такі як труднощі зв'язку, шум і фактори навколишнього середовища, що впливають на ці мережі. Він надає детальний аналіз складнощів і технічних проблем, які виникають під час розгортання та експлуатації UWSN.

У статті «Underwater Radio Device» Юрія Хлапоніна та Олександра Селюкова з Київського національного університету будівництва і архітектури [6] досліджує створення радіопристрою зв'язку для використання під водою. Це дослідження підкреслює потребу в ефективній підводній комунікації, вирішуючи проблеми, пов'язані з підводним середовищем. Стаття присвячена розробці системи, яка використовує магнітну складову електромагнітних хвиль для передачі голосових повідомлень і цифрових даних під водою, подолавши такі проблеми, як загасання сигналу у воді. У роботі досліджуються інноваційні рішення для підвищення комунікаційних можливостей підводних радіопристроїв.

В цілому підводячи підсумки наявних наукових статей, можна сформулювати висновок про те, що тема використання сенсорних мереж в підводних технологіях є досить актуальною та потребує подальшої уваги.

ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Експериментальне моделювання в контексті даної теми включає створення та тестування прототипів сенсорних систем у контрольованих умовах. Це дозволяє дослідникам аналізувати функціональність, ефективність та надійність цих систем у підводному середовищі. Моделювання зазвичай зосереджене на визначенні оптимальних параметрів для розміщення сенсорів, ефективності збору даних, витривалості обладнання під водою та способах передачі даних. Цей метод є

ключовим для розуміння практичних аспектів впровадження сенсорних мереж у підводних дослідженнях.

Для експериментального моделювання в контексті підводних сенсорних мереж вимоги включають (рис. 2):

1. Реалістичне середовище симуляції – це створення контрольованого середовища, яке тісно симулює реальні підводні умови, включаючи фактори, як-от тиск води, температуру та рух.
2. Прототипування сенсорів та мереж для розробка прототипів вузлів сенсорів та конфігурацій мереж, які можуть бути використані у реальних підводних застосуваннях.
3. Збір та аналіз даних для забезпечення впровадження механізмів для ефективного збору даних та аналізу для оцінки продуктивності сенсорів, точності даних та надійності мережі.
4. Тестування на міцність та функціональність – це тестування міцності сенсорів та компонентів мережі проти факторів середовища, таких як тиск води, корозія та біозасмічення.
5. Ефективність комунікації, що включає оцінку ефективності методів передачі даних, включаючи акустичну, радіо або оптичну комунікацію, у різних підводних умовах.
6. Аналіз споживання енергії для виконання аналізу споживання енергії вузлами сенсорів для оптимізації тривалості життя батарей та методів збирання енергії.
7. Масштабованість та гнучкість – це фактично проведення тестування масштабованості та гнучкості мережі для різних розмірів та типів підводних середовищ і завдань.
8. Відповідність стандартам для забезпечення відповідності нормативним вимогам, що експериментальна установка та протоколи відповідають наявним стандартам і кращим практикам для підводних досліджень.

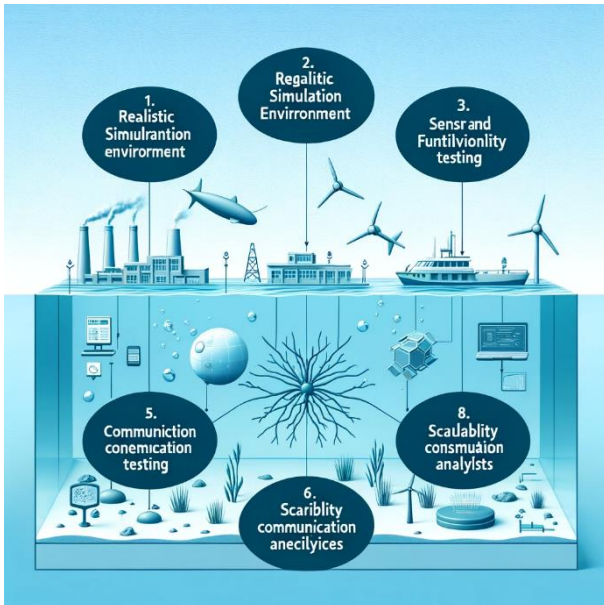


Рис. 2. Вимоги до експериментального моделювання

ПІДСУМКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналізуючи тему використання сенсорних мереж в підводних технологіях можна визначити основні напрямки їх використання та/або застосування. Найбільш доцільна це є моніторинг морського середовища, але навіть окрім моніторингу є ще багато різних напрямки використання, які будуть також затребувані в технології сенсорних мереж.

Проаналізувавши значну кількість відкритих джерел інформації можна сформувані відсотковий рейтинг використання сенсорних мереж у підводних технологіях (рис. 3), а саме:

1. Моніторинг морського середовища (наприклад, водна якість, температура) - 30%
2. Вивчення морської фауни та флори - 20%
3. Підводні археологічні дослідження - 10%
4. Моніторинг нафтогазових родовищ та підводних трубопроводів - 15%
5. Військові застосування (наприклад, підводне спостереження, міни розміщення) - 10%
6. Підводне картографування та вивчення рельєфу морського дна - 15%.

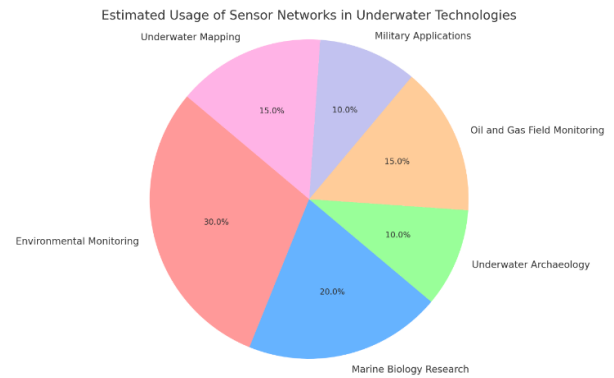


Рис. 3. Оцінка використання сенсорних мереж у підводній техніці

Дана кругова діаграма (рис. 3), яка ілюструє орієнтовне використання сенсорних мереж у різних застосуваннях підводних технологій на основі наданих гіпотетичних відсотків. Ця діаграма візуалізує розподіл у різних областях, як-от моніторинг навколишнього середовища, дослідження морської біології, підводна археологія, моніторинг нафтових і газових родовищ, військове застосування та підводне картографування.

Отже, актуальність теми досить значна і потребує подальшого розширення, так як має значну частину не вирішених питань та проблем в процесі реалізації сенсорних мереж у підводних технологіях. На рис. 4 зображені основні проблеми використання сенсорних мереж у підводних технологіях. Це зображення візуально представляє такі проблеми, як навколишній шум, ефект багатопробеневого поширення, що порушує передачу сигналу, і доплерівське поширення, що впливає на якість сигналу, підходить для технічної аудиторії.

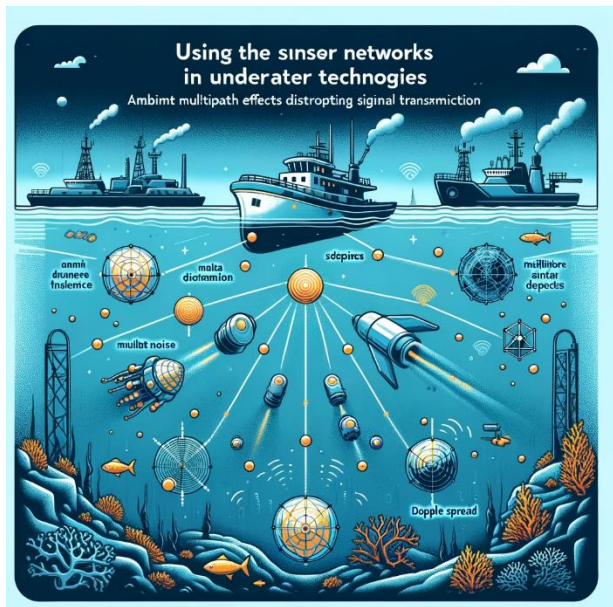


Рис. 4. Проблем використання сенсорних мереж в підводних технологіях

ВИСНОВОК

Дослідження використання сенсорних мереж в підводних технологіях полягає в тому, що сенсорні мережі мають значний потенціал для революціонізації досліджень та моніторингу підводного світу. Ці технології відкривають нові можливості для збору важливих даних про морські екосистеми, покращення розуміння морської біології, а також внесок у безпеку і ефективність важливих індустриальних та військових операцій.

Однак, розвиток та впровадження сенсорних мереж у підводних умовах супроводжується низкою викликів, включаючи технічні обмеження, такі як високий тиск, корозія, обмежені можливості передачі даних та вимоги до енергозабезпечення. Також важливим аспектом є забезпечення надійності та безпеки систем.

Подальший прогрес у цій галузі буде залежати від інновацій у матеріалах, технологіях передачі даних, енергетичних системах та інтеграції сенсорних мереж із іншими підводними технологіями, такими як автономні підводні апарати. Очікується, що ці розвідки значно покращать можливості моніторингу та дослідження підводних середовищ, вносячи важливий вклад у наукові дослідження, екологічний

моніторинг та інші сфери застосування.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Zhang, Y., Liu, Z., & Bi, Y.** (2023). Node deployment optimization of underwater wireless sensor networks using intelligent optimization algorithm and robot collaboration. *Scientific Reports*, 13(1), 15920.
2. **Dhondi, S. C.** (2022). Review of Underwater Mobile Sensor Network for ocean phenomena monitoring. *Journal of Network and Computer Applications*, 205, 103418.
3. **Fattah, S., Gani, A., Ahmedy, I., Idris, M. Y. I., & Targio Hashem, I. A.** (2020). A survey on underwater wireless sensor networks: Requirements, taxonomy, recent advances, and open research challenges. *Sensors*, 20(18), 5393.
4. **Yang, G., Dai, L., Si, G., Wang, S., & Wang, S.** (2019). Challenges and security issues in underwater wireless sensor networks. *Procedia Computer Science*, 147, 210-216.
5. **Awan, K. M., Shah, P. A., Iqbal, K., Gillani, S., Ahmad, W., & Nam, Y.** (2019). Underwater wireless sensor networks: A review of recent issues and challenges. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2019.
6. **Khlaponin, Y., & Selyukov, O.** (2020). Underwater radio device. *Міжнародний науковий журнал "Підводні технології: промислова та цивільна інженерія"*, (10), 39-49.

Research on the use of sensor networks in underwater technologies

Maksym Delembovskyi, Borys Korniiichuk, Mykola Klymenko, Oleksandr Diachenko

Abstract. This study focuses on the application of sensor networks in the field of underwater technologies, opening new possibilities for monitoring and researching the marine environment. Main attention is given to the development and implementation of sensor systems capable of withstanding high pressure and corrosion in the underwater environment, as well as providing accurate and reliable data.

The work covers the theoretical aspects of sensor networks, including their design, functional capabilities, and challenges associated with their use in the underwater environment. Particular attention is paid to data transmission methods and energy conservation in conditions of limited access to energy.

The next component of the work is the analysis of the practical aspects of implementing sensor networks, particularly considering their application for monitoring water resources, studying marine fauna and flora, and in underwater archaeological research. The work emphasizes the importance of these technologies for collecting data about the seabed, its relief, and ecosystem.

This scientific work considers the prospects for the development of sensor networks in underwater research, including integration with other technologies, such as autonomous underwater vehicles, and the development of new materials and technologies to enhance the efficiency and durability of sensor systems.

Keywords: sensor networks, underwater technologies, marine environment monitoring, underwater equipment, data transmission, energy conservation, marine ecosystem, autonomous underwater vehicles.