

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ – 2023**

**МАТЕРІАЛИ**

**ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**5–6 квітня 2023 року**

Навчально-науковий інститут автоматки і електротехніки  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
просп. Центральний, 3, м. Миколаїв

Миколаїв • НУК • 2023

УДК 681.5:621.3  
С 89

**ОРГАНІЗАТОРИ:**

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

**Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами.**

**Претензії до організаторів не приймаються.**

Відповідальний за випуск А.В. Обрубов

**Сучасні** проблеми автоматички та електротехніки : матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2023. – 68 с.  
С 89

У збірнику подані матеріали Всеукраїнської НТК "Сучасні проблеми автоматички та електротехніки".

Розглянуті питання теорії, практики та розвитку електромеханічних систем і пристроїв суднового та загальнопромислового призначення, а також електротехнологічного та інформаційно-вимірювального обладнання.

Збірник може бути корисним для наукових співробітників, викладачів, інженерів та студентів.

УДК 681.5:621.3

© Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова, 2023

6. Турти М. Задача оптимізації систем управління засобами захисту інформації //Матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні проблеми інформаційної безпеки на транспорті». - Миколаїв: НУК, 2017. - С.50-53.

УДК 621.36.99

Варганов В.О., Ушкаренко О.О., д.т.н., проф..

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ НА ОСНОВІ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Бездротові сенсорні мережі широко використовуються у вбудованих мікропроцесорних системах керування різноманітними технологічними процесами, системах збору та обробки даних [1, 2]. Мережі передачі даних по радіоканалу повинні задовольняти найбільш суперечливим вимогам залежно від області застосування. Для вирішення конкретних завдань треба визначити структуру мережі передачі даних, спосіб доступу до каналу передачі даних, частотний діапазон, швидкість передачі даних, термін служби батарей, число пристроїв, підтримуваних мережею, обсяг переданих даних, час реакції мережі, спосіб конфігурування мережі, співіснування декількох мереж одночасно [3]. При цьому при розробці таких мереж слід приділяти значну увагу питанням надійності та захищеності сенсорних радіомереж. Дослідженню цих питань присвячені роботи [4, 5]. Технології ZigBee та LoRa є досить популярними при побудові сенсорних радіомереж [6]. Разом з тим, існує багато інших апаратних засобів, а саме радіомодемів, на базі яких також можливе створення таких систем. Аналіз літературних джерел показує, що питання, пов'язані з дослідженням роботи бездротових мереж, побудованих на базі інших радіомодемів, наприклад TR24A ISM-діапазону, недостатньо висвітлені. Зорема, актуальним завданням є експериментальне дослідження таких мереж на предмет надійності передавання інформаційних пакетів даних при використанні різних способів організації взаємодії між вузлами мережі та варіюванні відстані між ними.

**Метою роботи** є розробка вузлів бездротової сенсорної мережі на базі радіомодулів TR24A та експериментальне дослідження її роботи на предмет надійності передавання даних про виміряне значення температури в різних точках приміщення та визначення відсотку втрат пакетів даних при варіюванні відстані між вузлами мережі.

### Аналіз способів комутації пакетів в сенсорній радіомережі

Особливість пакетних радіомереж полягає в тому, що один і той же радіоканал використовується для передачі даних усіма користувачами мережі в режимі множинного доступу [7, 8]. Протокол обміну даними передбачає множинний доступ в канал зв'язку. Всі вузли мережі, крім ведучого, вважаються рівноправними. Перш ніж почати передачу даних радіомодеми очікують отримання спеціального пакета-маркера. Якщо адресне поле цього пакету збігається з адресою вузла мережі, виконується перевання даних. Якщо адресне поле прийнятого пакета не збігається з адресою вузла, то передавання даних відкладається. Можливо, що в цей же момент часу почне передавання даних інший вузол мережі. Якщо адреса службового пакета даних співпадає з адресами як мінімум двох вузлів, які одночасно почнуть передавання даних, то в цьому випадку відбудеться накладення сигналів (колізія), внаслідок чого дані будуть спотворені або втрачені. Радіомодем, що передає дані, дізнається про це отримавши негативне підтвердження від приймаючого вузла, або в результаті тайм-ауту. У такій ситуації він зобов'язаний повторити передачу. Для виключення такої ситуації необхідно гарантувати, що всі вузли в мережі мають унікальні адреси.

Під комутацією пакетів розуміється передача єдиного блоку даних між транзитними вузлами мережі з тимчасовою буферизацією цього блоку в пам'яті вузла мережі. Пакет даних має довільну довжину, яка визначається змістом інформації, що становить повідомлення [9]. Якщо потрібно опитувати всі вузли мережі, то може бути використана одна з двох процедур. У випадку, коли всі вузли радіомережі знаходяться в радіусі покриття, використовується алгоритм, який опитує по черзі кожен з вузлів мережі (рис. 1).

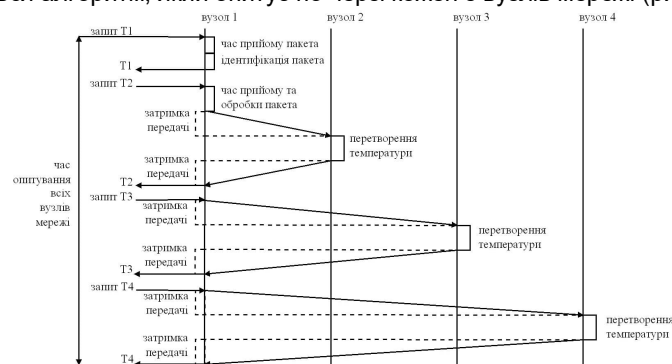


Рисунок 1 – Процедура опитування всіх вузлів мережі по черзі (для топології «зірка»)

Якщо вузли знаходяться на значній відстані, але хоча б між двома вузлами мережі є зв'язок, то може бути використана топологія мережі «ланцюг». У такому випадку процедура опитування вузлів мережі має вигляд, представлений на рис. 2.

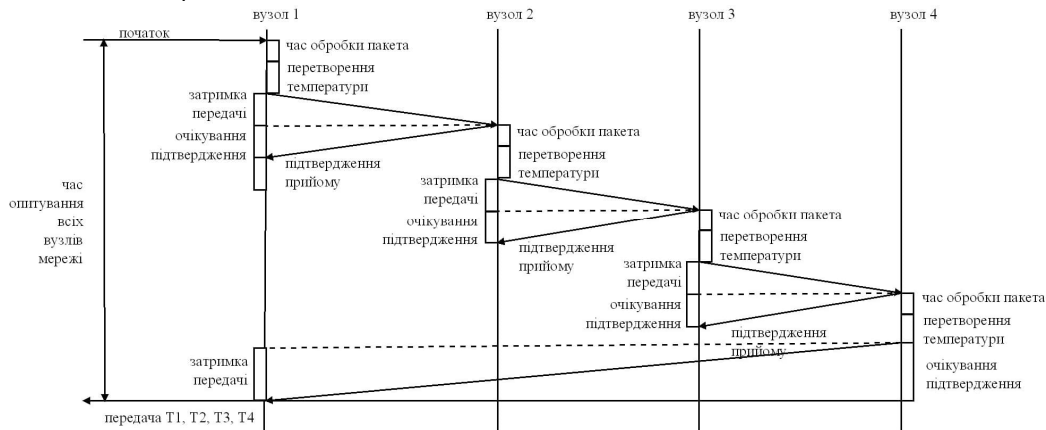


Рисунок 2 – Процедура послідовного опитування вузлів мережі (для топології «ланцюг»)

Затримки, що виникають при передачі даних, аналогічні тим, що виникають при використанні процедури опитування одного з вузлів мережі.

#### Результати обробки експериментальних даних та визначення відсотку втрачених пакетів

Для дослідження ефективності роботи мережі та втрат пакетів були проведені два експерименти з п'яти випробувань кожний. В першому випадку відстань між вузлами мережі не перевищувала 3 метри. Було виконано 1000 запитів на вимірювання температури (по 250 до кожного вузла). При цьому були зафіксовані помилки передачі. Статистика роботи мережі, а саме статистика втрат пакетів при запиті до кожного вузла, представлена в табл. 1.

Таблиця 1 – Статистика втрачених пакетів при відстані між вузлами 3 м.

№	T1 (Slave)	T2 (Slave)	T3 (Slave)	T4 (Master)	Загальна кількість втрачених пакетів
1	19	17	23	0	59
2	17	17	16	0	50
3	12	24	20	0	56
4	35	30	30	0	95
5	23	1	5	0	29
Середнє значення	21,2	17,8	18,8	0	57,8

Із загальної кількості в 1000 пакетів помилки були зафіксовані в середньому в 57,8, що складає 5,78% втрачених пакетів. Найбільша кількість втрачених пакетів дорівнює 35 з 250, що складає 14% (вузол T1 радіомережі).

Другий дослід був проведений при відстані між вузлами мережі близько 12 метрів. Статистика роботи мережі, а саме статистика втрат пакетів при запиті до кожного вузла, представлена в табл. 3.2.

Таблиця 2 – Статистика втрачених пакетів при відстані між вузлами 12 м.

№	T1 (Slave)	T2 (Slave)	T3 (Slave)	T4 (Master)	Загальна кількість втрачених пакетів
1	24	37	36	0	97
2	86	6	79	0	171
3	57	4	83	0	144
4	49	12	65	0	126
5	32	24	56	0	112
Середнє значення	49,6	16,6	63,8	0	130

Із загальної кількості в 1000 пакетів помилки були зафіксовані в середньому в 130, що складає 13% втрачених пакетів. Найбільша кількість втрачених пакетів дорівнює 86 з 250, що складає 34,4% (вузол T1 радіомережі).

Графічна інтерпретація отриманих експериментальних даних представлена на рис. 3, а, б.

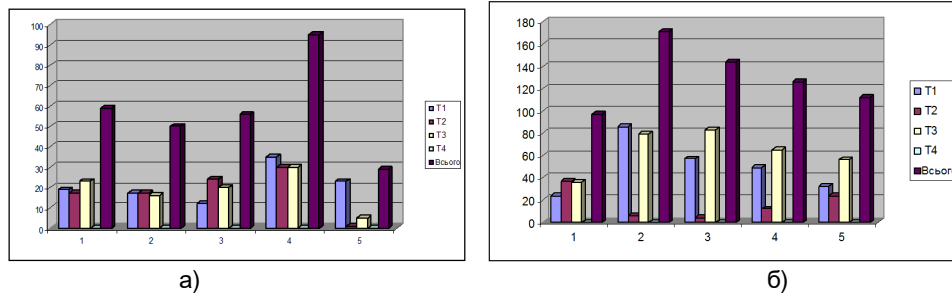


Рисунок 3 – Графічна інтерпретація отриманих даних при відстанях між вузлами мережі 3м (а) та 12м (б)

Аналіз отриманих даних показав, що відсоток втрат пакетів даних, що передається між вузлами радіомережі, є досить високим. Для покращення якості роботи радіомережі можуть бути використані методи мінімізації колізій інформаційних потоків в мережах розподілених систем керування [10] та знаходження оптимальної стратегії доступу до каналу зв'язку в радіомережах [11].

**Висновки.** Суттєвою перевагою розроблених пристроїв, що представляють собою вузли сенсорної радіомережі, є те, що вони можуть бути використані в якості лабораторних стендів, для організації процесу обміну даними між комп'ютерами. В результаті дослідження встановлено, що відсоток втрат пакетів даних при використанні радіомодулів TR24A є досить великим, що потребує використання додаткових програмних алгоритмів для гарантування надійності передавання даних. Разом з тим, для вирішення завдань збору даних, особливо для відносно повільних процесів, наприклад таких як вимірювання температури, використання зазначених радіомодулів є цілком прийнятним. Проведене експериментальне дослідження роботи мережі при різних відстанях між її вузлами та отримана статистика втрат інформаційних пакетів є продовженням та доповненням роботи [11], яка присвячена аналізу часових затримок передачі інформаційно-керуючих пакетів по провідній мережі Ethernet.

#### Список використаних джерел

1. Duobiene Shathya. Development of Wireless Sensor Network for Environment Monitoring and Its Implementation Using SSAIL Technology / Shathya Duobiene, Karolis Ratautas, Romualdas Trusovas, Paulius Ragulis [et. al.] // *Sensors*. 2022. №22(14). P. 5343–5360.
2. Khalifeh Ala. Microcontroller Unit-Based Wireless Sensor Network Nodes: A Review / Ala Khalifeh, Felix Mazunga, Action Nechibvute, Benny Munyaradzi Nyambo // *Sensors*. 2022. №22(14). P. 8937–8959.
3. Ali Syed Mohd. Wireless Sensor Networks Routing Design Issues: A Survey / Syed Mohd Ali, Syed Abdul Sattar, D. Srinivasa Rao // *International Journal of Computer Applications*. 2019. №178(26). P.25–32.
4. Xing Liudong. Reliability Modeling of Wireless Sensor Networks: A Review / Liudong Xing // *Recent Patents on Engineering*. 2021. №15 (1). P. 3–11.
5. Zhixue Wang. Reliability Analysis of Social Network Data Transmission in Wireless Sensor Network Topology / Wang Zhixue // *Journal of Sensors*. 2022. Special Issue. P. 1–10.
6. Juan Bravo. Realistic Deployment of Hybrid Wireless Sensor Networks Based on ZigBee and LoRa for Search and Rescue Applications / Bravo Juan, Zambrana Pablo, Fernandez-Lozano J.J., Gomez-Ruiz Jose [et. al.] // *IEEE Access*. 2022. №10. P. 64618-64637.
7. Zou Z. Wireless sensor network routing method based on improved ant colony algorithm / Z. Zou, Y. Qian // *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2019. №10(3). P. 991–998.
8. Pavithra Loganathan. Wireless Sensor Networks: A Review on Sensor Deployment and Routing Protocols for Different Application / Loganathan Pavithra, Abdullah M., Prakash S., Karthick S. [et. al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. №1084. P. 1–8.
9. Cheng-Long Chuang. Adaptive Routing Algorithm Over Packet Switching Networks for Operation Monitoring of Power Transmission Systems / Chuang Cheng-Long, Wang Yung-Chung, Lee Chien-Hsing, Liu Maw-Yang [et. al.] // *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2010. №25. P.882–890.
10. Рябенський В. М. Підвищення якості роботи мереж обробки інформації шляхом мінімізації колізій / В.М. Рябенський, О. О. Ушкаренко, Сулейман Аднан // *Проблеми інформаційних технологій*. 2010. №1(007). С. 122–125.
11. Рябенський В. М. Знаходження оптимальної стратегії доступу до каналу зв'язку в бездротових мережах / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко, Аднан Сулейман // *Проблеми інформаційних технологій*. Херсон: ХНТУ. 2008. №4. С. 176–180.
12. Ryabenkiy V.M. Experimental investigation of time delays data transmission in automatic control systems / V.M. Ryabenkiy, O.O.Ushkarenko // *Problems of Information Technologies*. 2015. №1(017). P. 42–45.