

# КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

I. Galelyuka

## **MODELING AND ESTIMATING PARAMETERS OF WIRELESS SENSOR NETWORK FOR MED- ICAL PURPOSE**

*In the article there are described the features of modeling and estimating parameters of wireless sensor network, intended for monitoring medical and physiological parameters of human state.*

*Key words: wireless sensor network, modeling.*

*Рассмотрены особенности моделирования и оценивания параметров беспроводной сенсорной сети, предназначенной для мониторинга медико-физиологических параметров состояния человека.*

*Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, моделирование.*

*Розглянуто особливості моделювання та оцінювання параметрів бездротової сенсорної мережі, що її призначено для моніторингу медично-фізіологічних параметрів стану людини.*

*Ключові слова: бездротова сенсорна мережа, моделювання.*

© I.Б. Галелюка, 2018

УДК 004.75

I.Б. ГАЛЕЛЮКА

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БЕЗДРОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**Вступ.** Бездротові сенсорні мережі (БСМ) з кожним роком застосовують все інтенсивніше не тільки в промисловості, сфері безпеки, сільському господарстві та захисті довкілля, але і в повсякденному житті пересічних громадян, зокрема у вигляді технології "Інтернету речей". Кількість різних прикладних сфер, публікацій, описів реалізованих та запланованих проектів, принципів проектування та розробки БСМ є настільки великою, що досить важко виробити єдину думку та підхід до проектування та створення типової бездротової сенсорної мережі та її елементів. Саме тому, основною особливістю та проблемою проектування БСМ є необхідність застосування окремих підходів з великою кількістю обмежень і проміжних етапів під час розроблення БСМ для кожної конкретної прикладної задачі.

**Загальна частина.** На основі досвіду та результатів, що їх отримано при розробленні та випробуванні БСМ для експрес-діагностики стану рослин [1, 2], спроектовано та виготовлено прототип системи моніторингу медично-фізіологічних параметрів людини, яка складається з координатора мережі та певної кількості бездротових сенсорів з вбудованими датчиками медично-фізіологічних параметрів людини. При створенні нової системи моніторингу, яка, за суттю, являє собою бездротову сенсорну мережу, слід було врахувати те, що, на відміну від БСМ для експрес-діагностики стану рослин, де вимірювання стану рослин проводили раз або двічі на день, в новій мережі вимірювання

параметрів стану людини треба проводити майже в режимі реального часу або близькому до нього. При цьому вузли у новій БСМ є більш мобільними та знаходяться значно щільніше. Це зумовлює збільшення навантаження на бездротові канали даних, оскільки значно зростає інтенсивність й обсяг даних, що передаються між вузлами в мережі.

В даному випадку моделювання – єдиний і доцільний підхід, коли можна завчасно розрахувати й оцінити характеристики мережі та її елементів у залежності від топології мережі, оточуючого середовища, інфраструктури без розробки реально діючих вузлів мережі. Моделювання розроблюваної БСМ здійснено в програмних пакетах OMNeT++ [3] і Castalia [4] в автоматичному режимі згідно заданих алгоритмів функціонування мережі, кількості та розташування вузлів, правил мобільності, коефіцієнтів послаблення сигналу та можливих перешкод на шляху сигналу, часу моделювання [5]. Модельована БСМ працює на базі стандарту 802.15.4 (2,4 ГГц), використовуючи стек протоколу ZigBee Pro, і містить у своєму складі малопотужні бездротові вузли із змінною потужністю передачі від 0 до  $-5$  dBm та чутливістю приймання  $-95$  dBm. Базова швидкість передавання даних складає 250 кбіт/с. При цьому енергоспоживання не перевищує 60 мВт.

Перш за все, за допомогою моделювання визначався час, необхідний бездротовому сенсору або координатору мережі на передавання даних. Розраховано ефективну та реальну пропускну здатність бездротового каналу і порівняно її із значеннями, отриманими при моделюванні. Ефективна пропускну здатність оцінювалася через загальну тривалість передавання одного фрейму даних з розміром корисного вмісту 114 байт. Передавання одного фрейму даних складається з 4 операцій:

- пошук вільного каналу для передавання даних (алгоритм CSMA/CA) складає  $- 2,368$  мс;
- передавання фрейму даних  $- 4,256$  мс;
- переключення модуля у режим очікування підтвердження  $- 0,192$  мс;
- отримання підтвердження  $- 0,352$  мс.

Відповідно, загальний час на передавання фрейму з корисним вмістом в 114 байт складає  $7,168$  мс. Ефективну пропускну здатність можна визначити як обсяг корисних даних у кілобітах, віднесений до часу передавання цих даних, тобто  $(114 \times 8) / 7,168 = 127$  кбіт/с. Ефективна пропускну здатність значно відрізняється від пропускну здатності, встановленої у налаштуваннях бездротового модуля, яка дорівнює 250 кбіт/с.

Далі можна розрахувати реальну пропускну здатність нашого каналу бездротового передавання даних. При розрахунку реальної пропускну здатності операція передавання одного фрейму даних складається з 8 операцій, оскільки вважається, що деякі пакети передаються повторно із-за втрат:

- пошук вільного каналу для передавання даних (алгоритм CSMA/CA) дорівнює  $2,368$  мс;
- передавання фрейму даних  $- 4,256$  мс;
- переключення модуля у режим очікування підтвердження  $- 0,192$  мс;

- очікування підтвердження – 0,672 мс;
- пошук вільного каналу для передавання даних (алгоритм CSMA/CA) – 2,368 мс;
- передавання фрейму даних – 4,256 мс;
- переключення модуля у режим очікування підтвердження – 0,192 мс;
- отримання підтвердження 0,352 мс.

Відповідно, загальний час на передавання фрейму з корисним вмістом у 114 байт при повторному передаванні пакету складає 14,656 мс. Оскільки вважається, що 25 % пакетів пересилаються повторно із-за втрат чи помилок у мережі, то середній час на передавання одного фрейму з корисним вмістом в 114 байт визначається як 0,75 часу без повторного пересилання фрейму плюс 0,25 часу з повторною передачею фрейму, тобто  $(0,75 \times 7,162) + (0,25 \times 14,656) = 9,035$  мс. Реальна пропускна здатність визначається як обсяг корисного вмісту даних у кілобітах, віднесений до часу передавання, тобто  $(114 \times 8) / 9,035 = 101$  кбіт/с. Для визначення розрахункового середнього часу для передавання пакету даних певного розміру слід обсяг пакету даних віднести до обсягу корисного вмісту і помножити на середній час на передавання одного фрейму, тобто (розмір пакету даних / 114)  $\times$  9,035. Отримані залежності часу передавання пакету даних від обсягу цього пакету показані на рис. 1. При цьому розрахунки проводилися для передавання пакетів розміром, кратним 114 байтам.

При моделюванні час передавання даних визначався від виходу модуля з режиму сну і до отримання підтвердження про успішну передачу одного фрейму даних. Передавалися фрейми даних з розміром корисного вмісту, кратним 114 байтам, відповідно до вище наведених розрахунків. Для кожного обсягу даних проведено по 10 моделювань часу. Для цих десяти значень визначено середнє значення. Залежність середнього значення часу на передавання даних від обсягу даних, отриманих під час моделювання, показано на графіку разом з розрахованими значеннями на рис. 1.

Отже, моделювання показало, що за умов перешкод, при достатній щільності вузлів та невеликих відстанях до 20 метрів в умовах приміщень при передаванні даних відбувається повторне пересилання, в середньому, близько 27–43 %, що необхідно враховувати при експлуатації системи моніторингу.

При наступному моделюванні оцінювався час роботи бездротових сенсорів в автономному режимі без заміни акумуляторних батарей. Моделювання проводилося за умови, що раз на 3 секунди бездротовий сенсор просинається та перевіряє, чи бездротова мережа присутня та наявність команд від координатора мережі. У випадку присутності команд від координатора мережі здійснюється вимірювання медично-фізіологічних параметрів людини, визначаються рівень заряду батареї і обсяг вільної пам'яті кожного сенсора.

Для моделювання роботи сенсора закладено акумуляторну батарею ємністю 150 mAh. Коефіцієнт неповноти розряду акумуляторної батареї становить 1,3. Перш за все, моделювалося енергоспоживання бездротового сенсора в режимі "Вихід з режиму сну – ініціалізація – вибір каналу – опитування каналу – сон".

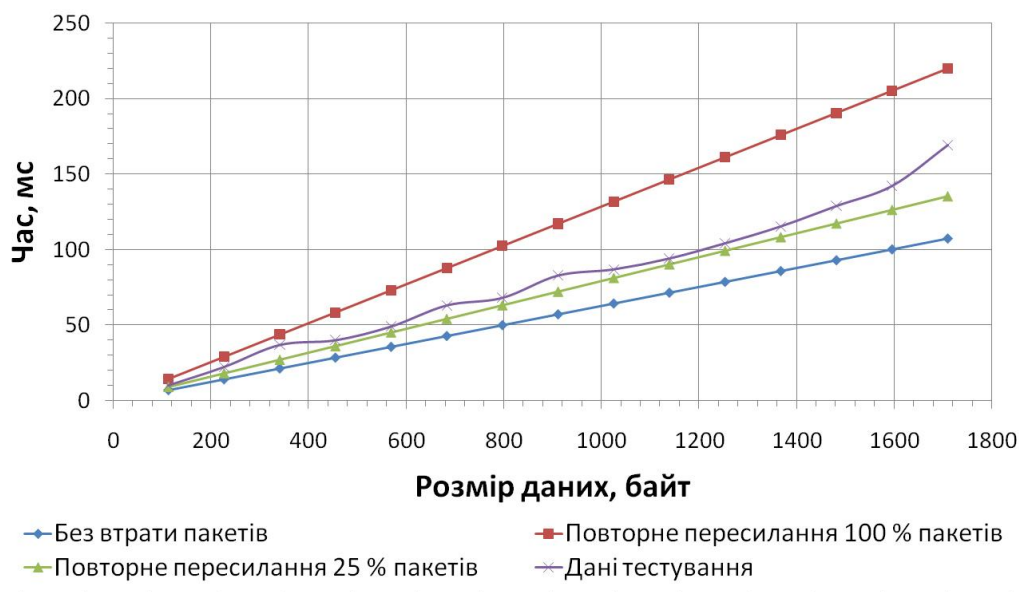


РИС. 1. Залежність часу передавання даних від їх обсягу

При цьому, сенсор просинався кожних 3 секунди і перевіряв наявність мережі та наявних вхідних даних. Кожний етап цього режиму дав такі результати:

- вихід з режиму сну: струм споживання – 4,98 мА, тривалість – 0,83 мс;
- ініціалізація: споживання – 5 мА, тривалість – 1 мс;
- вибір каналу: споживання – 5,16 мА, тривалість – 0,96 мс;
- опитування каналу: споживання – 20,28 мА, тривалість – 0,128 мс;
- сон: споживання – 0,00064 мА, тривалість – 2997,082 мс.

Загалом струм споживання протягом цього режиму становив 6,2 мкА. При такому режимі очікування без виконання вимірювань бездротовий сенсор зможе пропрацювати трошки більше 2 років і 1 місяця без заміни батареї.

У випадку, якщо сенсор має передати дані, то перед переходом у сон бездротовий модуль передає стандартний пакет даних. При цьому, корисний вміст у такому пакеті даних становив від 1 до 4 байтів залежно від кількості сенсорів у вузлі. Було отримано такі результати:

- вихід з режиму сну: струм споживання – 4,98 мА, тривалість – 0,83 мс;
- ініціалізація: споживання – 5 мА, тривалість – 1 мс;
- вибір каналу: споживання – 5,16 мА, тривалість – 0,96 мс;
- опитування каналу: споживання – 20,28 мА, тривалість – 0,128 мс;
- передавання даних (стандартний пакет даних з корисним вмістом 4 байти): споживання – 20,28 мА, тривалість – 3,963 мс;
- сон: споживання – 0,00064 мА, тривалість – 2993,119 мс.

В загальному середній струм споживання протягом цього режиму з передаванням стандартного пакету даних становив 32,99 мкА.

В режимі вимірювання стану людини до вище описаних режимів додавався ще один етап: вимірювання медично-фізіологічних параметрів. Слід відмітити, що тривалість вимірювання та енергоспоживання різних сенсорів є різною і деколи можуть відрізнятись на порядок.

В нашому випадку бездротові вузли містили 2 різних сенсори: пульсу і температури. Сенсор пульсу здійснював одне вимірювання протягом 12 секунд і мав струм споживання, рівний 15 мА. Сенсор температури проводив одне вимірювання за 750 мс із струмом споживання 3 мА. Відповідно до прикладної задачі вимірювання параметрів людини відбувалося 1 раз на 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 або 60 хвилин. При цьому струм споживання бездротового вузла з сенсором пульсу дорівнював 3, 1,5, 1, 0,76, 0,6, 0,31, 0,21 і 0,056 мА відповідно, а з сенсором температури — 44,5, 25,6, 19,1, 15,9, 13,9, 10, 8,78 і 6,84 мкА відповідно.

Далі розрахунковим способом отримано час автономної роботи сенсора при проведенні вимірювань з відповідною частотою. Проведені моделювання та розрахунки дозволили отримати залежність часу автономної роботи бездротового вузла без заміни батареї від часу між вимірюваннями (рис. 2 і 3 для вузлів з сенсорами пульсу і температури відповідно).

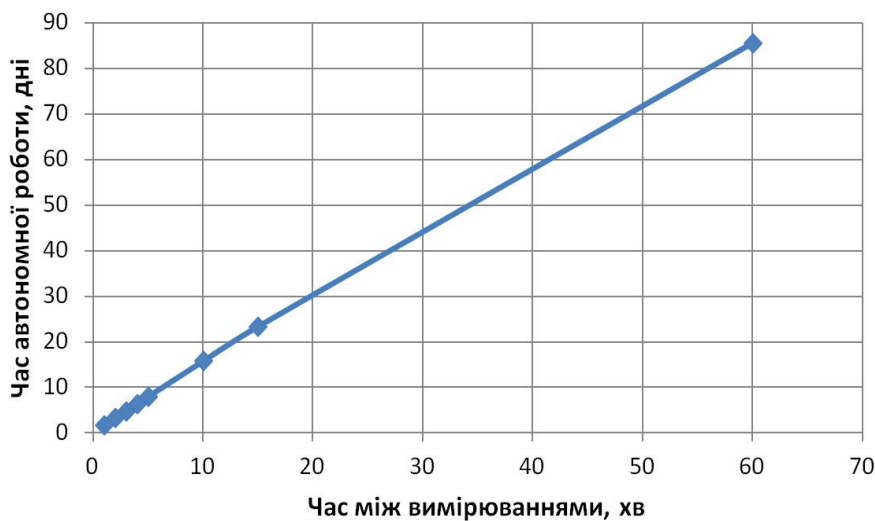


РИС. 2. Залежність часу автономної роботи вузла з сенсором пульсу від часу між вимірюваннями

Як видно із залежностей час автономної роботи вузла з сенсором пульсу та вузла з сенсором температури відрізняють майже на 1–2 порядки. Отже, час автономної роботи бездротового вузла, який містить одночасно цих два сенсори, можна з невеликим приближенням визначати за параметрами бездротового вузла лише з сенсором пульсу.

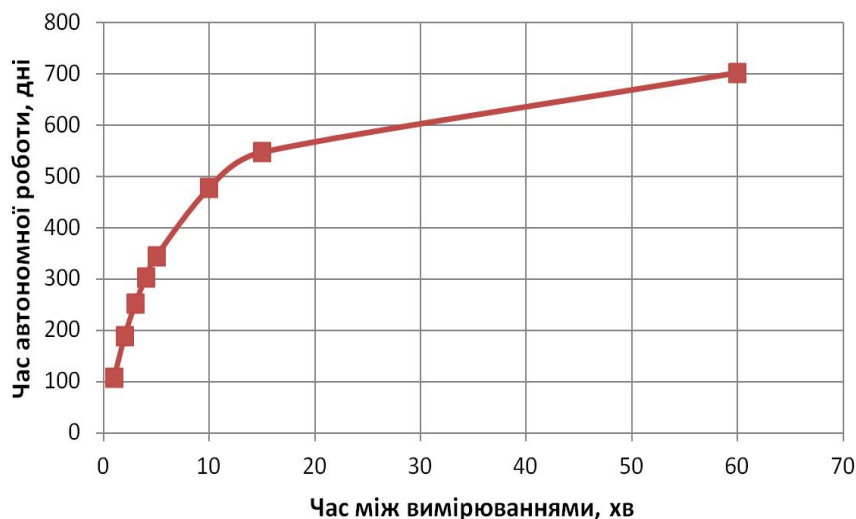


РИС. 3. Залежність часу автономної роботи вузла з сенсором температури від часу між вимірюваннями

**Висновки.** Як показують отримані результати, при вимірюванні пульсу і температури людини щохвилини можна очікувати на 37 годин автономної роботи бездротового вузла, в складі якого є сенсор пульсу і температури, на 15 діб при вимірюванні цих параметрів 1 раз кожних 10 хвилин і 85 діб при вимірюванні 1 раз на годину. Слід відмітити, що в бездротових вузлах при експлуатації можливе зменшення заряду акумулятора із-за температурних коливань, збільшення струму споживання при передаванні даних через завади та перешкоди тощо. Тобто, час реальної автономної роботи бездротового сенсору в умовах експлуатації може складати на 30 % менше від отриманих у ході розрахунків і моделювання результатів.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Романов В.О., Галелюка І.Б., Вороненко О.В., Груша В.М. Нова інформаційна технологія експрес-оцінювання стану рослин в умовах дії стресових факторів. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2016, № 15. С. 94–101.
2. Romanov V., Galelyuka I. Application and testing of wireless technologies for ecological monitoring. *Proceeding of the 8th IEEE International Conference on Intelligent Computing and Information Systems, ICICIS 2017*. Vol. 1. Cairo, Egypt. 2017, December 5–7. P. 27–32.
3. <https://omnetpp.org>.
4. <http://castalia.forge.nicta.com.au/index.php/en/index.html>.
5. Галелюка І.Б. Моделювання бездротових сенсорних мереж. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2015, № 14. С. 141–150.

Одержано 08.11.2018