

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

Комп'ютеризована система

автоматичного калібрування сенсорів в безпроводній сенсорній мережі

Виконав: студент

IV курсу, групи СІЗс-42

спеціальності

123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Панузик О.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Баран І.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тиш Є.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Гладько Ю.Б.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.
(прізвище та ініціали)

«__» _____ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Панузику Олександрю Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система
автоматичного калібрування сенсорів в безпроводній сенсорній мережі

Керівник роботи Баран Ігор Олегович., к.т.н., доц., доц. каф. ММ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «28» 04 2022 року № 4/7-290

2. Термін подання студентом завершеної роботи 15.06. 2022р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання. 1.1 Топології безпроводних сенсорних мереж.

1.2 Методи калібрування безпроводних сенсорних мереж. 2. Проектна частина.

2.1. Модель мережі. 2.2. Метод комплексування інтервальних даних.

2.3. Алгоритм автоматичного калібрування сенсорів безпроводної сенсорної мережі.

2.4 ПЗ методу «простого» калібрування. 3. Практична частина.

3.1. ПЗ для автокалібрування за допомогою алгоритму AutoWSN.

3.2. Експериментальне дослідження алгоритмів автокалібрування.

4. Безпека життєдіяльності, основи хорони праці. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Методи калібрування БСМ. 2. Алгоритм автоматичного калібрування сенсорів БСМ

3. Алгоритм роботи програми, заснований на методі «простого» калібрування.

4. Блок-діаграма програми для одержання поправок виміряних значень.

5. Графіки результатів експериментів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи хорони праці</i>	<i>Гурик О.Я., доц. кафедри МТ</i>		

7. Дата видачі завдання _____ 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи</i>	<i>28.04 – 30.04</i>	<i>Виконано</i>
2.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>01.05 – 06.05</i>	<i>Виконано</i>
3.	<i>Підбір джерел про процес калібрування сенсорів в безпроводній сенсорній мережі</i>	<i>07.05 – 10.05</i>	<i>Виконано</i>
4.	<i>Опрацювання джерел про процес калібрування сенсорів в безпроводній сенсорній мережі</i>	<i>11.05 – 15.05</i>	<i>Виконано</i>
5.	<i>Виконання дослідження щодо розробки та налаштування системи автоматичного калібрування сенсорів в безпроводній сенсорній мережі</i>	<i>16.05 – 19.05</i>	<i>Виконано</i>
6.	<i>Розроблення програмного коду</i>	<i>20.05 – 24.05</i>	<i>Виконано</i>
7.	<i>Оформлення розділу «Аналіз технічного завдання»</i>	<i>25.05 – 27.05</i>	<i>Виконано</i>
8.	<i>Оформлення розділу «Проектна частина»</i>	<i>28.05 – 31.05</i>	<i>Виконано</i>
9.	<i>Оформлення розділу «Практична частина»</i>	<i>01.06 – 03.06</i>	<i>Виконано</i>
10.	<i>Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності, основи хорони праці»</i>	<i>26.05 – 02.06</i>	<i>Виконано</i>
11.	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>03.06 – 07.06</i>	<i>Виконано</i>
12.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>03.06 – 08.06</i>	<i>Виконано</i>
13.	<i>Перевірка на плагіат</i>	<i>03.06 – 09.06</i>	<i>Виконано</i>
14.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>06.06 – 10.06</i>	<i>Виконано</i>
15.	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>16.06</i>	

Студент

(підпис)*Панузик О.Ю.*_____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)*Баран І.О.*_____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Комп'ютеризована система автоматичного калібрування сенсорів в безпроводній сенсорній мережі // Кваліфікаційна робота бакалавра // Панузик Олександр Юрійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних систем та мереж, група СІзс-42 // Тернопіль, 2022 // с. – 55, рис. – 25, табл. – 1, аркушів А1 – 5, бібліогр. – 19.

Ключові слова: КАЛІБРУВАННЯ, ДАВАЧ, БЕЗДРОТОВА СЕНСОРНА МЕРЕЖА, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, АЛГОРИТМ

Кваліфікаційна робота присвячена розробці алгоритму автоматичного калібрування сенсорів бездротової сенсорної мережі та прототипу комп'ютеризованої системи на його основі.

У процесі дослідження проводилися: дослідження існуючих методів калібрування сенсорів бездротових сенсорних мереж, розробка алгоритму автоматичного калібрування в бездротовій сенсорній мережі на основі методу комплексування інтервальних даних, розробка програмного забезпечення методу «простого» калібрування та алгоритму автоматичного калібрування AutoWSN, експериментальні дослідження алгоритмів автокалібрування. Розроблений алгоритм може працювати за мінімальної кількості вузлів мережі від 4 шт. За результатами проведених експериментальних досліджень двох алгоритмів автокалібрування було зроблено висновок про те, що в середньому метод AutoWSN виграє за точністю у 2,3 рази у методу «простого» калібрування.

ANNOTATION

Computerized system of automatic calibration of sensors in a wireless sensor networks // Bachelor thesis // Panuzyk Oleskandr // Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Systems and Nets // Ternopil, 2022 // p.- 55, fig. – 25, table. –1, Sheets A1 – 5, Ref. – 19.

Keywords: CALIBRATION, SENSORS, WIRELESS SENSOR NETWORK, SOFTWARE, ALGORITHM

The qualification work deals with the development of an algorithm for automatic calibration of wireless sensor network sensors and a prototype of computerized system based on it.

The study included: research of existing methods of calibration of wireless sensor networks, development of automatic calibration algorithm in wireless sensor network based on the method of interval fusion data, development of software for "simple" calibration and automatic calibration algorithm AutoWSN, experimental algorithm studies. The developed algorithm can work with a minimum number of network nodes from 4 pcs. According to the results of experimental studies of two autocalibration algorithms, it was concluded that on average the AutoWSN method wins by 2.3 times in accuracy in the method of "simple" calibration.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Топології БСМ.....	10
1.2 Методи калібрування БСМ	11
1.2.1 «Від-вузла-до-вузла»	11
1.2.2 З використанням PRNet.....	14
1.2.3 Просте.....	17
1.2.4 Дворівневе на рівні системи	18
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	23
2.1 Модель мережі.....	23
2.2 Метод комплексування інтервальних даних	24
2.2.1 Основні поняття.....	24
2.2.2 Метод IF&PA	27
2.3 Алгоритм автоматичного калібрування сенсорів БСМ.....	28
2.4 ПЗ методу «простого» калібрування.....	31
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	39
3.1 ПЗ для автокалібрування за допомогою алгоритму AutoWSN	39
3.2 Експериментальне дослідження алгоритмів автокалібрування	43
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ...	47
4.1 Стихійні лиха та їх класифікація	47
4.2 Соціальне значення охорони праці.	49
ВИСНОВКИ.....	52

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Панузик О.Ю.				Лім.	Арк.	Аркушів	
Керівник.	Баран І.О.							
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІзс-42			
Н. Контр.								
Затверд.								

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....51

ДОДАТКИ

Додаток А Технічне завдання

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І
ТЕРМІНІВ

AF&PA (Interval Fusion with Preference Aggregation) – комплексування інтервальних даних агрегування переваг

PRNet (Projection - Recovery Network) – глибока нейронна мережева архітектура.

БСМ – бездротова сенсорна мережа.

БД – база даних.

ГК – голова кластера.

ДАЗ – діапазон актуальних значень.

ПЗ – програмне забезпечення.

ЦВ – центральний вузол.

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

БСМ містять набори невеликих та недорогих вузлів, призначених для зчитування, вимірювання, опрацювання та власне передавання даних. Такі мережі можуть збирати інформацію з довкілля та надавати отримані дані юзерам [1, 2]. Вони мають важливе значення в багатьох нових сферах використання, таких як моніторинг навколишнього середовища, розумні міста, виявлення цілі і т.д. Останніми роками розвинені технології дозволили розгорнути широкомасштабні БСМ у важкодоступних місцях.

Вузли БСМ містять давачі фізичних величин, процесор, пам'ять, бездротовий пристрій даних і акумулятор. Ці вузли, зазвичай, розгортаються в масовому порядку і мають бути недорогими. З цієї причини такі давачі часто мають низьку точність.

Під сенсорами БСМ розуміються давачі фізичних величин, котрі беруть участь у процесі вимірювань і володіють нормованими метрологічними атрибутами.

Вузли зазвичай працюють без обслуговування упродовж тривалого часу, що часто призводить до збоїв у роботі. Це може бути викликане нестачею енергії або суворими навколишніми умовами. По ходу старіння таких вузлів систематична похибка давачів неминуче зростає. Це створює серйозну проблему для користувача, оскільки дані, які отримують з БСМ, стають недостовірними [2].

Хоча давачі БСМ можуть бути відкалібровані вручну або замінені більш точними давачами, тимчасові, трудові та грошові витрати на таке калібрування можуть бути надмірно високими.

За визначенням калібрування відноситься до процесу виправлення систематичних помилок у показах давачів. Зазвичай потрібне повторне калібрування для забезпечення правильної роботи вимірювального пристрою, оскільки з часом зношування та інші фактори впливають на давачі та інше вимірювальне обладнання. У БСМ, коли процес калібрування виконується в

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

польових умовах при відсутності камери з регульованими характеристиками навколишнього середовища, це називається автокалібруванням у неконтрольованому середовищі.

Метою роботи є розробка алгоритму автоматичного калібрування сенсорів БСМ та прототипу системи на його основі.

Завдання, необхідні для досягнення даної мети:

- дослідження існуючих методів калібрування сенсорів БСМ;
- розробка ПЗ методу «простого» калібрування;
- розробка алгоритму автоматичного калібрування у БСМ на основі методу комплексування інтервальних даних;
- створення ПЗ для автокалібрування сенсорів;
- експериментальні дослідження алгоритмів автокалібрування.

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Топології БСМ

Існують різні топології для реалізації БСМ, приклади яких представлені рис. 1.1.

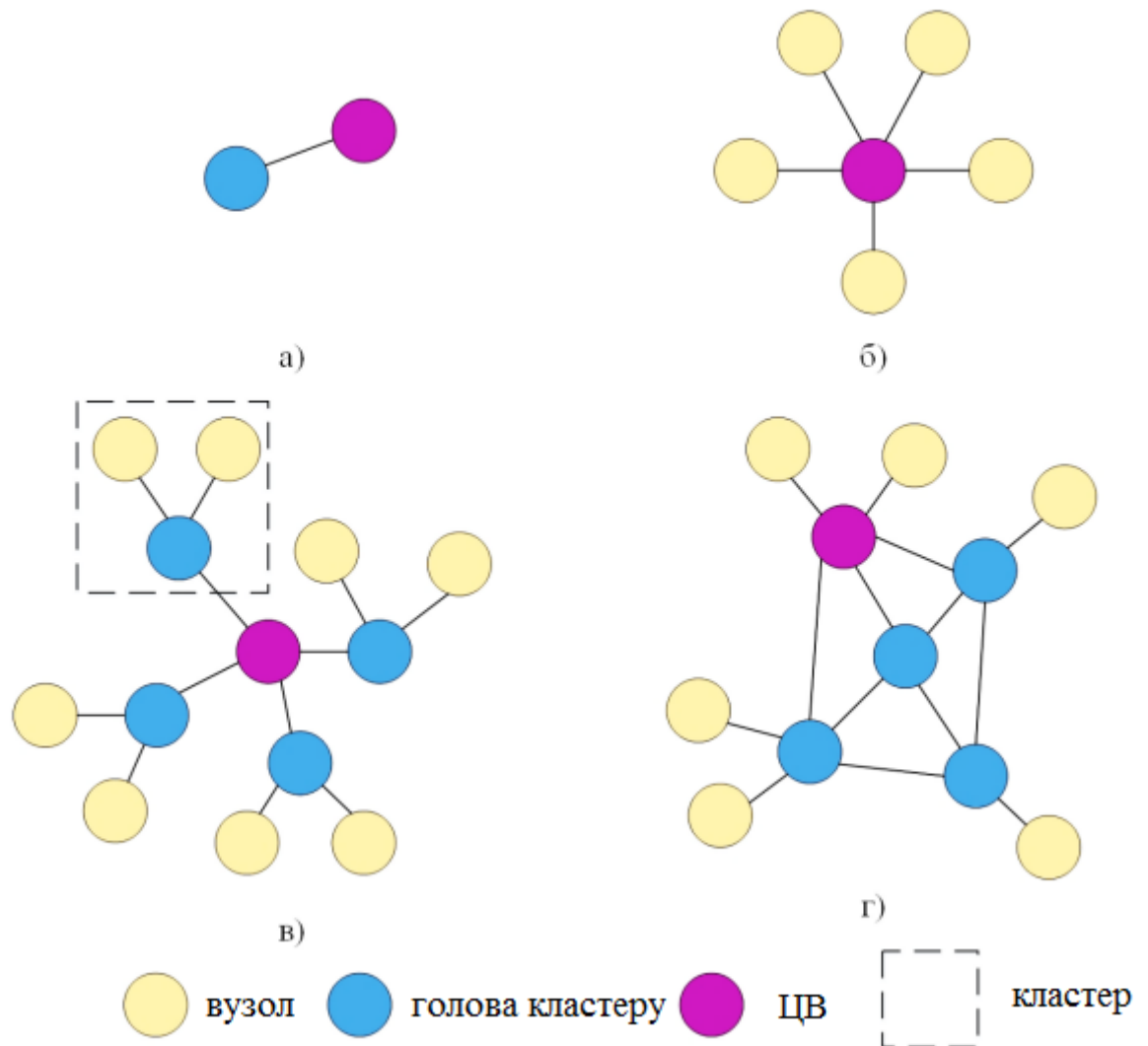


Рисунок 1.1 – Види топологій БСМ

а) «точка-точка»; б) «зірка»; в) «кластерне дерево»; г) коміркова

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Панузик О.Ю.				Лім.	Арк.	Аркушів
Керівник.	Баран І.О.						
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІзс-42		
Н. Контр.							
Затверд.							

Топологія "точка-точка" передбачає з'єднання двох вузлів безпосередньо. В "зірці" всі вузли мережі приєднані до ЦВ, формуючи кластер БСМ. «Кластерне дерево» утворюється за допомогою зіркоподібного зв'язку кожного вузла вищого рівня з вузлами нижче рівневими вузлами, створюючи набір кластерів, кожен з яких має розділ кластера. Коміркова топологія базується на принципі комірок, в ній вузли мережі поєднуються один з одним і здатні брати на себе роль ГК для інших вузлів.

ЦВ, як правило, є комп'ютером, на якому відбувається збирання, обробка та зберігання інформації. Такий вузол немає автономного блоку живлення, а отримує енергію від мережі. Сусідніми вузлами називатимемо вузли, що належать одному кластеру або знаходяться в одній досліджуваній області в межах діапазону передачі один одного.

1.2 Методи калібрування БСМ

Для вирішення проблем з калібруванням давачів БСМ були запропоновані різні методи калібрування, такі як:

- «від-вузла-до-вузла»;
- з використанням PRNet;
- «просте»;
- дворівневе на рівні системи.

1.2.1 «Від-вузла-до-вузла»

Полягає в калібруванні ланцюга автономних давачів, тобто недоступних для обслуговуючого персоналу. Таке калібрування здійснюється з мінімальною затримкою між вимірюваннями та з меншою кількістю переміщень вузлів між їхніми місцями розгортання та вихідною позицією [3, 4].

Давачі БСМ вимагають профілактичних частих калібрувань, тому процедура калібрування, котра передбачає меншу кількість спільних розміщень на головних вузлах, є вигідною, оскільки вона забезпечує універсальну

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

калібрувальну логістику. Більш того, безперервне вимірювання на майданчиках розгортання гарантує відсутність даних і кращий просторовий та тимчасовий аналіз. Скорочення кількості спільних розміщень також економічно вигідно і екологічно безпечно, оскільки БСМ можна розгорнути досить далеко від ЦВ, тобто вузли можуть бути ближчими один до одного, ніж до віддаленого ЦВ.

Нехай $S \leftarrow s_1 \leftarrow s_2 \leftarrow s_3 \leftarrow \dots \leftarrow s_{n-1} \leftarrow s_n$ є послідовністю спільно розміщених вузлів, як показано на рис. 1.2, так що давач s_1 розміщується поряд з ЦВ S упродовж періоду T . Потім він переміщається та поєднується з давачем s_2 (суміщення давачів не співпадають за часом). Потім давач s_2 переміщається та розміщується з давачем s_3 і т.д. Нарешті, останній давач s_n розміщується поруч із давачем s_{n-1} . На цьому етапі давач s_n може бути відкалібрований від-вузла-до-вузла по відношенню до даних S . Тим не меншу, процес може закінчитися також переміщенням давача s_n на ЦВ S , так що процес калібрування від-вузла-до-вузла можна оцінити. А саме, процедура калібрування пропонує, щоб всі давачі (s_1, s_2, \dots, s_n) калібрувалися один по відношенню до іншого послідовним чином, причому всі вони (крім s_1) не розміщувалися на ЦВ S .

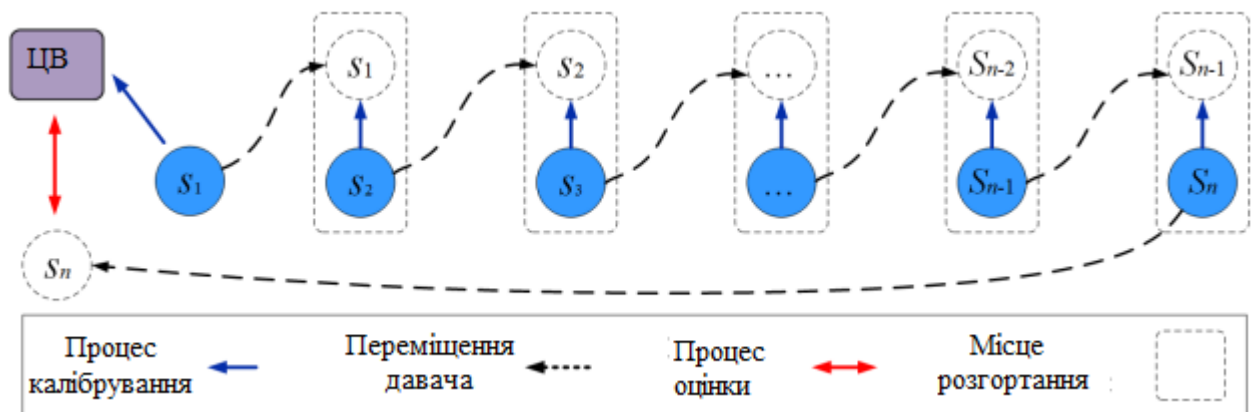


Рисунок 1.2 - Схематичне представлення калібрування «від-вузла-до-вузла»

Припускаючи лінійну залежність між вимірюваннями, отриманими опорним пристроєм та давачем БСМ, можна записати формулу (1.1):

$$y = \alpha x + \beta + e, \quad (1.1)$$

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

де y - вимірювання, отримані опорним пристроєм; x - вимірювання, отримані давачем БСМ; α - нахил лінійної моделі; β - перетин з координатною віссю; e – вектор помилок моделі, які мають нульове середнє.

Відкалібровані вимірювання задаються формулою (1.2):

$$\hat{x} = \hat{\alpha} x + \hat{\beta}, \quad (1.2)$$

де $\hat{\alpha}$ та $\hat{\beta}$ - оціночні коефіцієнти, отримані з використанням даних після калібрування; \hat{x} - відкалібровані вимірювання.

Нехай давач s_1 буде розміщений поруч із ЦВ S упродовж періоду часу T_1 і нехай давач s_2 буде розміщений поруч із давачем s_1 упродовж наступного періоду часу T_2 , який не співпадає з T_1 . Припускаючи лінійні залежності між даними давачів і ЦВ, процес калібрування від-вузла-до-вузла передбачає, що можна отримати калібровані вимірювання \hat{x}_2 , давача s_2 застосовуючи рівняння (1.2).

Нижче представлені недоліки методу калібрування від-вузла-до-вузла:

- помилки оцінки коефіцієнтів регресії кожного давача в калібрувальному ланцюзі поширюються по всій процедурі калібрування від-вузла-до-вузла і накопичуються у загальній похибці калібрування;
- якщо вузли переміщуються місцями розгортання, час між вимірюваннями збільшується, що може призвести до втрати даних.
- похибка калібрування більша для більш віддалених один від одного вузлів x_n , незалежно від довжини послідовності вузлів, і вона збільшується з довжиною послідовності вузлів і може досягати більших значень для довгих ланцюгів.

Однак останній недолік можна обійти, уникаючи довгих калібрувальних ланцюгів та/або використовуючи кращі давачі, оскільки швидкість, з якою накопичуються калібрувальні помилки, залежить від продуктивності окремих давачів. Загалом, точніші давачі дозволяють підтримувати довші ланцюги калібрування до того, як помилка перевищить заданий поріг.

Цей метод більше підходить для невеликої кількості давачів. На практиці

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

це означає, що для великих БСМ буде потрібна значна кількість додаткових вузлів для забезпечення надійного калібрування від-вузла-до-вузла.

1.2.2 З використанням PRNet

PRNet може автоматично витягувати просторові та часові функції із сенсорних даних та генерувати скориговані вимірювання без систематичної похибки [5, 6].

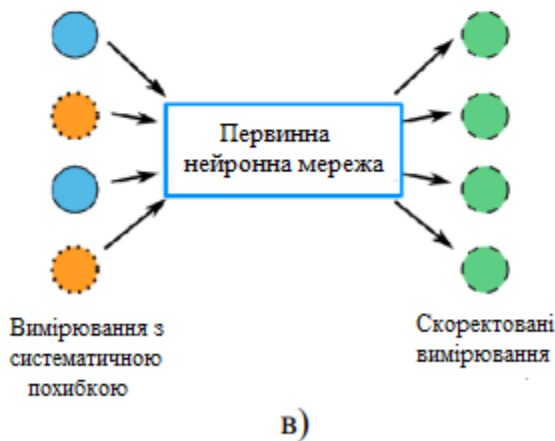
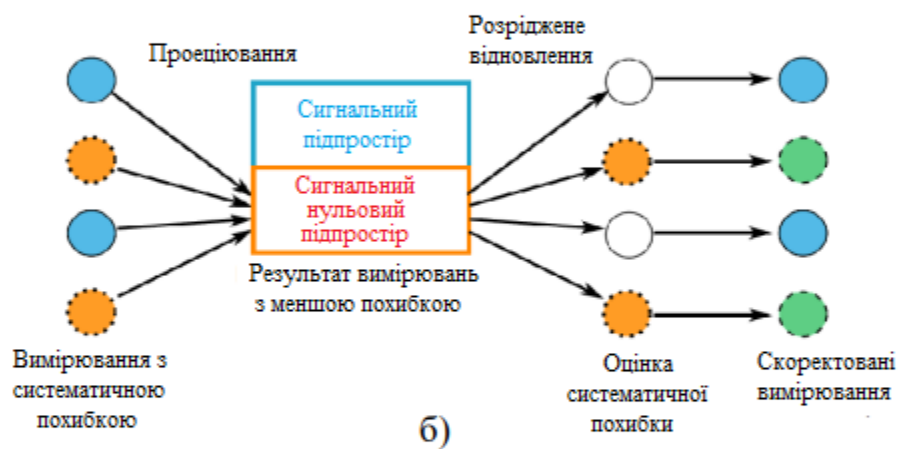
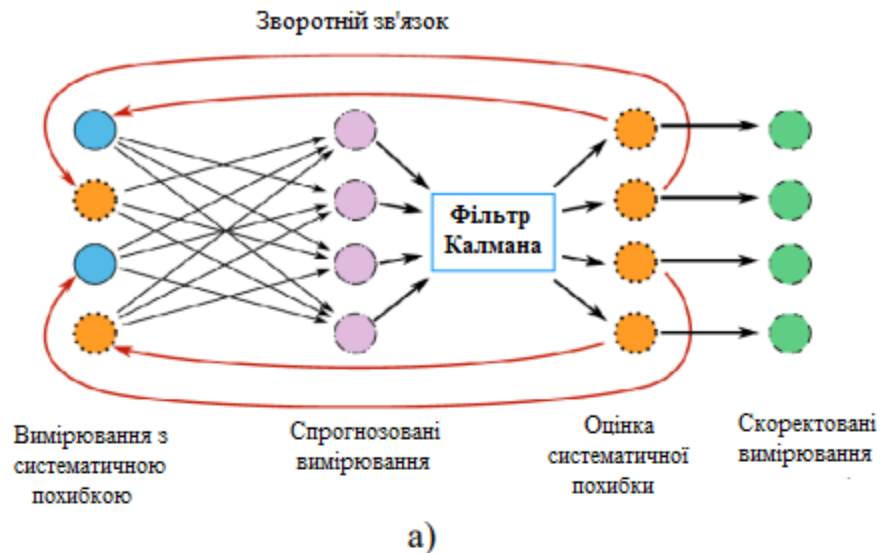
БСМ можуть масштабуватися до сотень давачів, які часто розміщуються у майже недоступних місцях. Неможливо демонтувати та відкалібрувати такі давачі окремо. Тому існує потреба калібрування давачів без знання справжніх значень. Таке завдання називається «сліпим» калібруванням.

Пропонований метод безпосередньо перетворює вимірювання з систематичною похибкою у вимірювання без неї. Подібно до методів сигнального підпростору та прогнозування, калібрувальна функція визначається на підставі сенсорних даних. Однак методи підпростору та прогнозування мають два етапи: навчання функцій підпростору або прогнозування; коригування сенсорних даних з використанням заздалегідь визначених правил, при цьому тільки перший етап може у повному обсязі використовувати особливості даних. Запропонована нейронна мережа, навпаки, є наскрізним методом, у якому функції навчання та кроки корекції систематичної похибки моделюються як різні рівні, які спільно використовують сенсорні дані. Це означає, що запропонований метод може ефективніше використовувати кореляцію даних і побудувати кращу модель даних.

Експерименти показують, що PRNet має більш високу швидкість коригування і точність калібрування, а також може скоригувати вимірювання з різними типами похибки. Тому для довгострокових мереж загального моніторингу з давачами, розгорнутими у фіксованих місцях, запропонований метод може «наосліп» калібрувати давачі, забезпечуючи якість та достовірність даних [7].

На рис. 1.3 показано порівняння методів сліпого калібрування.

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



- Результат вимірювань з систематичною похибкою
- Давач
- Результат калібрування
- Проміжний результат

Рисунок 1.3 – Порівняння методів «сліпого» калібрування
 а) цикл прогнозування-оцінки-зворотного зв'язку; б) процес методу калібрування підпростору; в) метод калібрування нейронною мережею

Алгоритм роботи мережі містить дві частини.

Навчання мережі:

- давачі калібруються перед розгортанням, тому вимірювання, зібрані упродовж початкового періоду, можна розглядати як вимірювання без систематичної похибки;
- збільшення даних з допомогою генерації даних навчання з початкових вимірювань;
- навчання PRNet для автоматичного вилучення просторових та тимчасових характеристик вимірювань давачів та придушення систематичної похибки.

Коригування даних, отриманих з БСМ.

Процес навчання власне нейронної мережі полягає у мінімізації функції втрат стосовно вхідних даних шляхом коригування мережевих параметрів. Функція втрат PRNet обчислюється за формулою (1.3):

$$L_{PR} = L_P + L_R, \quad (1.3)$$

де L_P – втрата проєкції; L_R – втрата відновлення.

Ключовою функцією проєкції є отримання похибки результату вимірювань від вимірювань із систематичною похибкою для апроксимації прогнозованої похибки істинного значення.

Недоліками цього методу калібрування БСМ є:

- необхідність попереднього калібрування давачів перед розгортанням БСМ;
- можливість недостовірності вимірювань після попереднього калібрування давачів;
- необхідність великої кількості даних на навчання, тобто додатково потрібна генерація даних;
- облік множини факторів алгоритмом генерації;
- необхідність попереднього навчання нейронної мережі, отже, витрати

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

великих часових ресурсів.

1.2.3 Просте

Метод «простого» калібрування (Lazy Calibration - «ледаче калібрування»), вперше запропонований Біллі Лау та Майклом Лайонсом, знаходить оптимальне співвідношення між виміряними значеннями локального вузла та сусідніх вузлів. Кожен вузол регулярно транслює свої вимірювальні дані разом із постійно контрольованими метаданими давачів сусідніх вузлів. Потім кожен сусідній вузол поєднує цю інформацію зі своїми власними виміряними показами та метаданими для розрахунку каліброваних даних [9].

Незважаючи на те, що даний метод відноситься до методів знаходження розподіленого консенсусу, метод «простого» калібрування обчислює локальне значення, що відкалібрує, на кожному вузлі. Метою даного методу не є знаходження одного значення, узгодженого всіма вузлами. Натомість підтверджується, що фактичні значення, хоч і просторово пов'язані один з одним, можуть бути різними по сенсорній мережі. У цьому випадку використовується метод, подібний до консенсусу, для калібрування кожного вузла за допомогою широкомовної БСМ, що дозволяє застосувати просторову кореляцію і знизити кількість мережевих передач. За допомогою показань сусідніх давачів динамічно налаштовуються локальні виміряні дані. Отже, цей метод не залежить від конкретної моделі калібрування.

Кожна координата у будь-який конкретний момент часу t містить значення $r_i(x,y,t)$, котре називається фактичним показом. Це значення відповідає значенню вимірюваної величини навколишнього середовища, такому як температура, вологість і т.д. Кожен вузол зчитуватиме виміряне значення $f(x,y,t)$, яке може бути або не бути точним. Вважається, що відкалібровані вузли повністю точні, а некалібровані вузли матимуть виміряне значення, яке містить випадкову похибку в заданому діапазоні. Попередньо відкалібровані вузли калібруються вручну. Крім того, кожен вузол має інформацію про те, відкалібрований він чи ні. Кожен вузол характеризується рівнем достовірності c_i , який відповідає

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

ймовірній точності виміряного значення (у відкаліброваних вузлів $c_i = 1$).

Можна виділити такі недоліки цього методу:

- потрібне попереднє калібрування давачів;
- великі енерговитрати передачі даних від вузлів сусіднім вузлам;
- необхідність чіткого визначення меж областей кожного давача;
- існує ймовірність того, що еталонний (відкалібрований) давач

піддається будь-яким впливам, отже, не можна повністю довіряти його значенням.

1.2.4 Дворівневе на рівні системи

На відміну від калібрування на рівні пристрою, калібрування на рівні системи спрямоване на оптимізацію загальної якості роботи системи за рахунок налаштування всіх давачів у мережі. Калібрування на системному рівні часто призводить до значно менших витрат ресурсів, використовуючи знання про сенсорну мережу. Комплексування даних (data fusion) – широко поширений метод обробки сигналів, який може покращити результат вимірювань системи, спільно розглядаючи вимірювання кількох давачів. Основна проблема калібрування для комплексування даних полягає у використанні складної кореляції між результатом системи та характеристиками окремих давачів. З одного боку, результат мережі на основі комплексування даних тісно пов'язаний із вимірами кількох давачів. З іншого боку, калібрування на системному рівні має уникати централізованого збору та обробки даних через обмеження ресурсів бездротових давачів [10].

На першому рівні кожен давач визначає свою локальну модель вимірювання, використовуючи локальні вимірювання, і передає на ЦВ тільки параметри моделі, а не вимірювані значення. На другому рівні ЦВ калібрує модель кожного давача до загальної моделі.

Потрібно вирішити кілька проблем для реалізації такого дворівневого підходу. По-перше, вимірювання давачів часто спотворюються впливом зовнішніх факторів. Модельне навчання за допомогою даних із похибкою ϵ

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складним завданням для малопотужних датчиків з обмеженими обчислювальними ресурсами та ресурсами пам'яті. У той самий час локальна модель повинна зберігати точне значення систематичної похибки датчика, необхідне калібрування лише на рівні системи. Крім того, калібрування другого рівня повинно ретельно враховувати кореляцію між локальними моделями вимірювань і загальним результатом системи, щоб забезпечити оптимальне функціонування вимірювань системи.

Існує дві можливі схеми калібрування, які показані рис. 1.4.

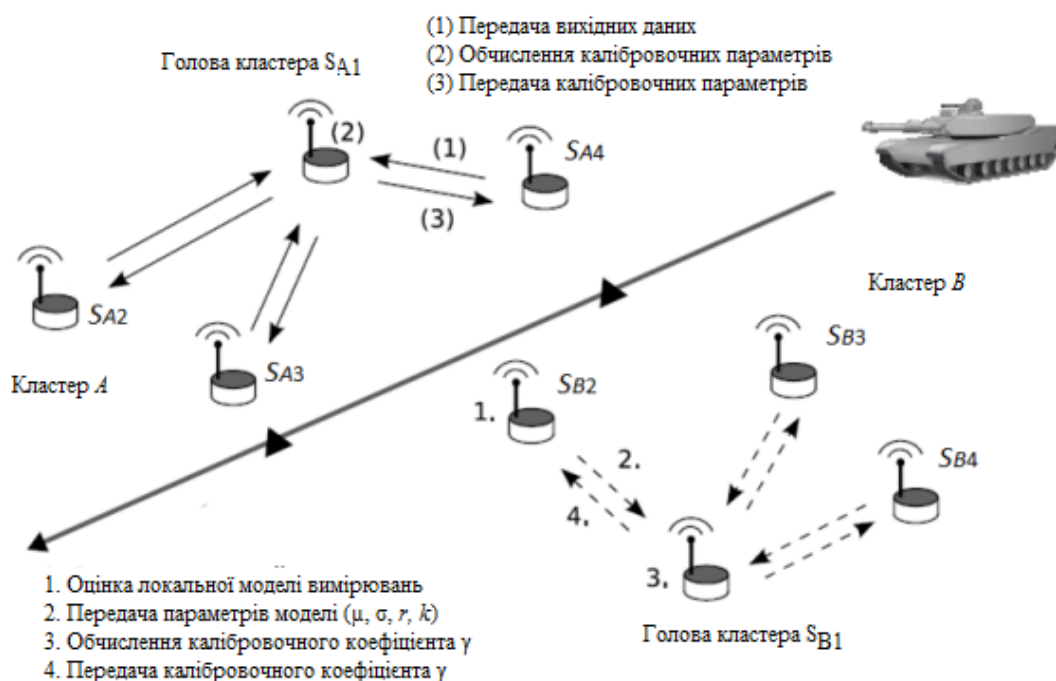


Рисунок 1.4 – Дві схеми калібрування на рівні системи

Перша схема працює централізовано. На рис. 1.4 кожен вузол кластера A відправляє необроблені вимірювання на главі кластера S_{A1} , який обчислює калібрувальні параметри для кожного окремого датчика. Однак часто потрібна велика кількість вимірювань, щоб охарактеризувати модель вимірювань одного датчика. Отже, така схема спричинить великі витрати на зв'язок.

Друга схема ґрунтується на дворівневій архітектурі. На рис. 1.4 кожен датчик у кластері B вивчає свою модель вимірювань, котра характеризується декількома параметрами, заснованими на вихідних вимірах, та відправляє ГК S_{B1}

тільки параметри моделі, такі як середнє значення μ , середнє квадратичне відхилення σ , опорна відстань r_i , коефіцієнт згасання k_i . Потім ГК калібрує модель вимірювання кожного давача так, що очікувана продуктивність системи максимізується. Така схема не тільки розподіляє навантаження обчислень на кожен давач, але також дозволяє уникнути дорогоартісної передачі необроблених даних.

Сенсорна мережа, що використовує комплексування даних, часто організовується кластерами. ГК відповідає за прийняття рішення шляхом злиття інформації, зібраної за допомогою вузлів-давачів. Кожен ГК приймає рішення про результат вимірювання шляхом порівняння суми вимірювань, що повідомляються вузлами, з порогом чутливості T .

На рівні локального калібрування кожен давач i оцінює свої моделі шуму та розпаду сигналу з використанням вимірювань параметрів контрольованих цілей. Давачі періодично вимірюють енергію сигналів, що випромінюються керованою ціллю, котра рухається через область розгортання. Щоб зменшити вплив шуму, кожен давач проводить ряд вимірювань, коли ціль знаходиться в певному положенні. Оціночні параметри моделі кожного давача потім передаються ГК. Для вирішення цієї проблеми можна використати кілька методів оцінки параметрів, таких як оцінювання методом максимальної правдоподібності. У цьому випадку використовується спосіб найменших квадратів через його низькі обчислювальні витрати і витрати пам'яті.

При калібруванні на рівні системи ГК обчислює параметри калібрування для кожного давача, тому загальна продуктивність системи максимізується. Через обмеження ресурсів давачів застосовується проста схема лінійного калібрування.

Кориговане значення вимірювання давача i визначається за (1.4):

$$\hat{y}_i = \gamma_i + y_i, \quad (1.4)$$

де γ_i - калібрувальний коефіцієнт давача i .

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдання полягає в тому, щоб визначити коефіцієнти калібрування всіх давачів, що беруть участь у комплексуванні даних.

Відкалібрована БСМ виявляє ціль наступним чином. Щоб визначити, чи є ціль у конкретному місці спостереження, кожен давач i обчислює скориговане значення вимірювання \hat{y} . Потім ГК об'єднує всі скориговані значення вимірювань, як було описано вище, щоб ухвалити рішення про виявлення цілі у місці спостереження.

Метою локального калібрування на кожному давачу є вивчення моделі нормального розподілу шуму та моделі розпаду сигналу, що характеризуються μ_i , σ_i^2 , r_i та ki . Для одного давача i вхідні дані є сукупністю пар даних $(d_i; y_i)$, тобто значення вимірювання y_i , коли ціль знаходиться в d_i метрах. Основна проблема полягає в тому, як вивчати ці моделі, використовуючи стохастичні (випадкові) результати вимірювань із похибкою. Щоб позбавитися похибки, давач i вимірює кілька значень енергії, коли контрольована ціль знаходиться в певному положенні. Ці результати вимірювань можуть бути використані для обчислення статистики, такої як середнє, щоб зменшити похибку.

У разі використання параметрів моделі, отриманих при локальному калібруванні кожного давача, калібрування на рівні системи призначене для калібрування вимірювальної моделі кожного давача, щоб максимізувати продуктивність виявлення цілі на кожній ділянці спостереження.

Недоліками цього є:

- необхідність у додаткових ресурсах пам'яті та обчислювальної потужності давачів для обробки вимірянних даних;
- можливість виходу з ладу ГК за рахунок збільшення навантаження, пов'язаного з розрахунками загальної моделі;
- застосовність методу лише для даних, котрі мають нормальний розподіл.

У цілому можна виділити загальні недоліки всіх розглянутих методів калібрування БСМ [11]. По-перше, необхідне попереднє калібрування давачів перед розгортанням БСМ. По-друге, існує ймовірність недостовірності

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

вимірювань після попереднього калібрування давачів. По-третє, енерговитрати на передачу даних між сусідніми вузлами, ГК або ЦВ можуть бути значні, і нарешті, найчастіше ці методи використовуються тільки для даних з нормальним розподілом.

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1 Модель мережі

У цій роботі розглядається БСМ з топологією «кластерне дерево», представлена на рис. 2.1. Група m вузлів $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ в одному кластері передає набір вимірних значень $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ ГК, який у свою чергу посилає цю інформацію на ЦВ. Вважаємо, що вузли в кожному кластері гомогенні (тобто мають один і той же набір сенсорів з однаковими характеристиками) і вимірюють одні і ті ж фізичні величини.

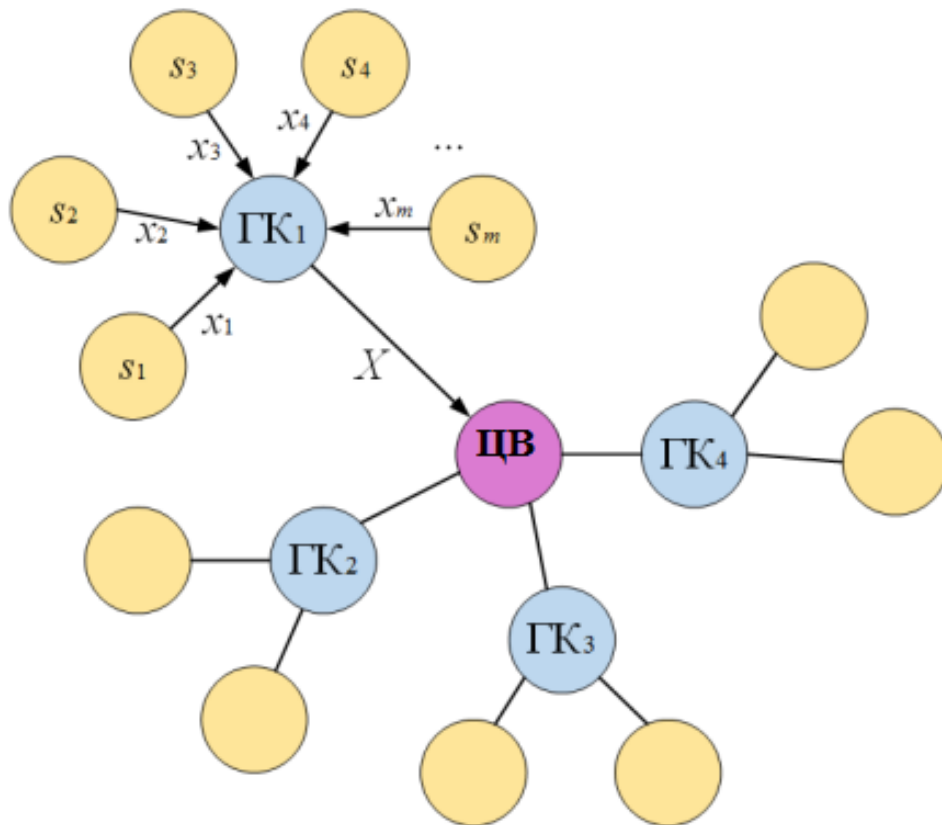


Рисунок 2.1 – Топологія БСМ

						КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Панузик О.Ю.						Лім. Арк. Аркушів
Керівник.		Баран І.О.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.								ТНТУ, каф. КС, гр. СІзс-42

Покази вузлів в одному кластері корельовані між собою просторово і за часом, тобто ступінь кореляції залежить від відстані між вузлами та часу вимірювання. Далі робота БСМ розглядатиметься на прикладі таких величин, як температура та відносна вологість навколишнього повітря.

У роботі буде досліджено тимчасово-керовану сенсорну мережу, в якій вузли періодично опитуються ЦВ. Це дозволяє економити енергію та отримувати інформацію тоді, коли це необхідно.

До алгоритму калібрування сенсорів БСМ, що розробляється, пред'являються такі вимоги:

- калібрування сенсорів має бути автоматичним;
- відсутня необхідність проведення попереднього калібрування сенсорів;
- відсутня необхідність встановлення додаткового обладнання для калібрування;
- мінімальна кількість вузлів має бути до 10 шт;
- калібрування сенсорів не повинно збільшувати загальні енерговитрати мережі.

Виходячи із заданих вимог, було прийнято рішення розробляти алгоритм автоматичного калібрування сенсорів БСМ на основі методу IF&PA.

2.2 Метод комплексування інтервальних даних

2.2.1 Основні поняття

Метод знаходження ранжування (або відношення) консенсусу агрегування переваг відноситься до методів голосування, в якому множина A - це множина кандидатів (альтернатив), а Λ - множина виборців. Те, яким чином визначатиметься ранжування консенсусу, залежить від конкретного правила голосування [12]. У цій роботі використовується правило Кемені [13].

Нехай простір Π є множиною всіх $n!$ лінійних (строгих) відношень порядку \succ на множині A . Кожен лінійний порядок відповідає одній з перестановок

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перших n натуральних чисел N_n . Правило Кемени дозволяє знаходити ранжування консенсусу β як лінійний порядок альтернатив $\beta \in \Pi$ такий, що визначена в термінах числа парних невідповідностей між ранжируваннями відстань Кемени $D(\beta, \Lambda)$ між β і профілем Λ мінімально і виражається формулою (2.1):

$$\beta = \arg \min_{\lambda \in \Pi} D(\lambda, \Lambda). \quad (2.1)$$

Профіль Λ описуватимемо $(n \times n)$ матрицею профілю $P = [p_{ij}]$ за формулою (2.2):

$$p_{ij} = \sum_{k=1}^m d_{ij}^k, \quad (2.2)$$

$$\text{де } d_{ij}^k = \begin{cases} 0, & \text{якщо } a_i^k > a_j^k \\ 1, & \text{якщо } a_i^k \sim a_j^k \\ 2, & \text{якщо } a_i^k < a_j^k \end{cases} \quad (2.3)$$

Одна з властивостей матриці P описується виразом (2.4):

$$\frac{(p_{ij} + p_{ji})}{2} = m \text{ для } i, j = 1, \dots, n, \quad (2.4)$$

тобто значення $p_{ij}/2$ можна трактувати як число переваг альтернативи a_j щодо a_i . Тоді відстань Кемени $D(\lambda, \Lambda)$ визначається сумою елементів верхньої трикутної підматриці матриці P , і відстань $D(\lambda, \Lambda)$ між ранжуванням λ і профілем Λ знаходиться за формулою (2.5):

$$D(\lambda, \Lambda) = \sum_{i < j} p_{ij}. \quad (2.5)$$

Отримане відповідно до (2.5) ранжування консенсусу β називають ранжуванням Кемени. Зауважимо, що порядок елементів a_i в ранжируванні λ

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перебуває у відповідності із перестановкою визначених рядків і стовпців матриці P . Іншими словами, метод полягає в знаходженні такої перестановки рядків і стовпців матриці профілю P , що сума елементів її верхньої трикутної підматриці мінімальна.

Однак число знайдених оптимальних рішень (ранжування консенсусу, що є строгими порядками), особливо при парних n , може значно перевищувати одиницю. Для вирішення цієї проблеми можна застосовувати спеціальне перетворення багатьох оптимальних строгих порядків в єдиний слабкий порядок [14].

Метою комплексування інтервалів є знаходження такої точки x^* на дійсній осі, яка належить до максимальної кількості інтервалів з $\{I_k\}$ і може бути представником усіх цих інтервалів.

На ДАЗ $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ існує успадковане від дійсної осі відношення повного порядку $a_1 < a_2 < \dots < a_n$. Процес переходу від набору інтервалів $\{I_k\}_{k=1}^m$ на дійсній числовій осі до дискретної множини A здійснюється в три етапи.

Етап 1. Формування ДАЗ $[a_1, a_n]$ з вихідних інтервалів $\{I_k\}_{k=1}^m$.

Етап 2. Розбиття ДАЗ на $n - 1$ рівних підінтервалів завдовжки h , де

$$h = \frac{a_n - a_1}{n - 1}. \quad (2.6)$$

Довжина h називається нормою розбиття. Після розбиття норма визначається формулою

$$h = |a_i - a_{i-1}|, \quad (2.7)$$

де a_i – права межа i -го підінтервалу, $i = 2, \dots, n$.

Етап 3. Подання ДАЗ елементами дискретної множини $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, де $A \subset [a_1, a_n]$, а i -й елемент множини визначається як

$$a_i = a_{i+1} + h, \quad (2.8)$$

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при $i = 2, \dots, n$. Число дискретних значень множини A називається потужністю розбиття ДАЗ.

Таким чином, результатом розбиття ДАЗ є дискретна множина $A_n = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, котра може бути використана для формування ранжування, що представляють вихідні інтервали $\{I_k\}$.

2.2.2 Метод IF&PA

В основі алгоритму калібрування сенсорів БСМ лежить метод IP&PA [12]. Метод Ш&PA допомагає знаходити таку точку x^* на дійсній осі, яка належить до максимальної кількості інтервалів з $\{I_k\}$ і може бути представником усіх цих інтервалів.

Метод включає 4 основні етапи.

Етап 1. Формування діапазону актуальних значень $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$.

На цьому етапі відбувається формування ДАЗ з набору вихідних інтервалів $\{I_k\}$, $k = 1, \dots, m$, розрахунок норми h і розбиття ДАЗ на $n - 1$ рівних підінтервалів довжиною h для одержання множини дискретних значень $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$.

Етап 2. Подання інтервалів інранжування і побудова профілю переваг $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$.

На основі вихідних інтервалів $\{I_k\}$ відповідно формуються інранжування λ_k і профіль переваги Λ , що складається з m інранжувань.

Етап 3. Визначення значення x^* як кращої альтернативи ранжування консенсусу для профілю Λ .

Етап включає застосування рекурсивного алгоритму гілок і границь RECURSALL для пошуку всіх ранжувань консенсусу β за правилом Кемені, згортку знайдених ранжувань в єдине ранжування консенсусу β_{fin} і вибір найкращої альтернативи a_i в отриманому ранжируванні як результат комплексування x^* . За наявності в β_{fin} кількох найкращих альтернатив за результати x^* приймається їх медіана.

Етап 4. Розрахунок невизначеності U значення x^* .

Знаходимо та виключаємо з множини $\{I_k\}$ інтервали, що не містять

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значення x^* . При цьому потужність безлічі узгоджених інтервалів дорівнює m_{con} , а невизначеність U результату комплексування x^* визначається як найменше із двох значень: максимальна нижня межа l_k і мінімальний верхня межа u_k вихідних інтервалів.

Переваги методу:

- зменшення невизначеності вимірювань за рахунок використання властивості надмірності даних у БСМ;
- вирішення проблеми суперечливих даних шляхом знаходження ранжування консенсусу, що є найкращим компромісом вихідних даних;
- хороша працездатність у разі неповних даних.

Недоліком методу IF&PA є його повільна робота, порівняно з алгоритмами, що працюють у реальному часі. Але в даному випадку це не є серйозним недоліком, оскільки для калібрування швидкість знаходження рішення не є критичною.

2.3 Алгоритм автоматичного калібрування сенсорів БСМ

Розроблений алгоритм калібрування сенсорів, який було названо AutoWSN, зображено рис. 2.2.

Спочатку користувач повинен задати такі характеристики калібрування, як кількість вимірювань та інтервал між ними. Потім ЦВ дає ГК команду про початок калібрування, ЦК у свою чергу передають команду вузлам у своєму кластері. Вузли проводять вимірювання фізичних величин і надсилають вимірювальні дані ГК. На ГК дані об'єднуються в набір вимірюваних значень X і далі передаються на ЦВ. Він обчислює скориговане значення x^* та його невизначеність U методом IF&PA для кожного кластера.

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

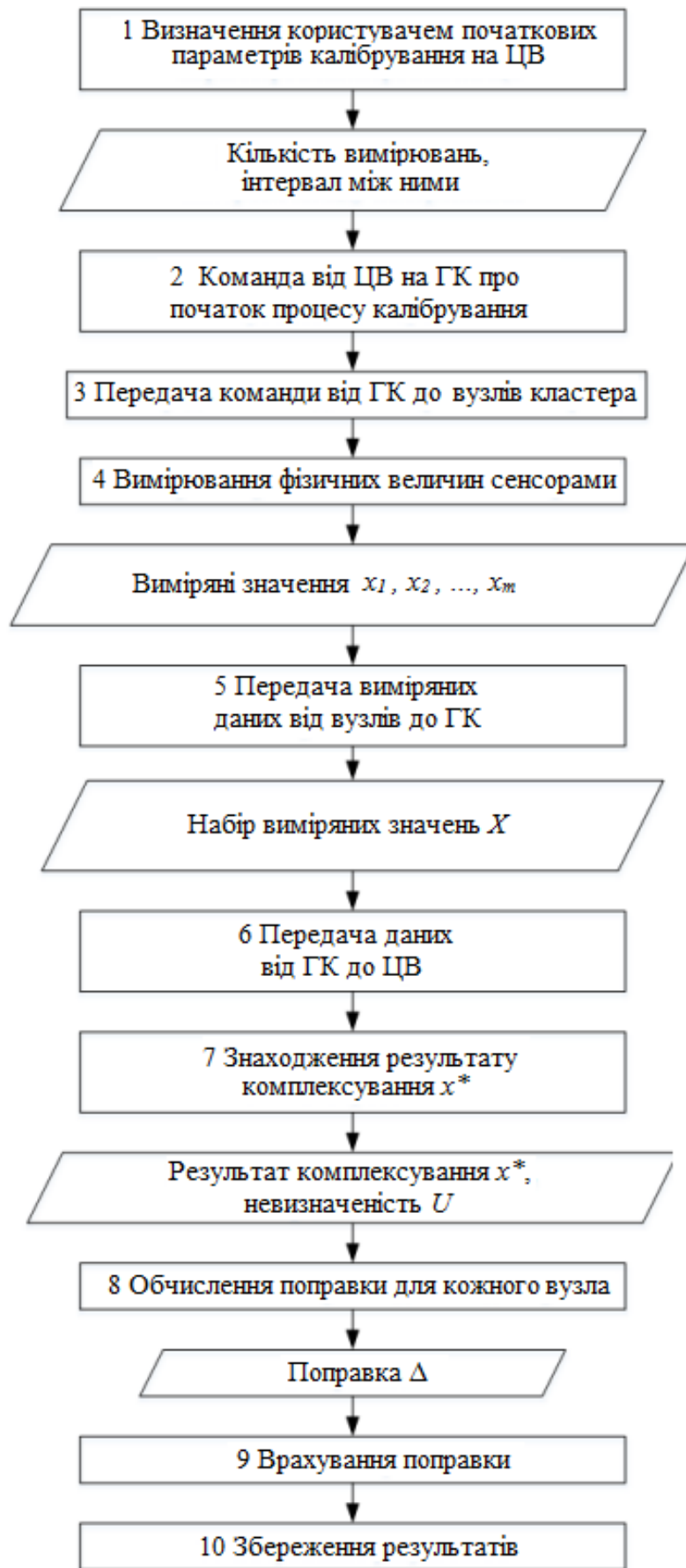


Рисунок 2.2 – Алгоритм калібрування сенсорів БСМ

Далі розраховується поправка Δ_k для кожного вузла за формулою (2.9) в абсолютних одиницях та за формулою (2.10) у відсотках:

$$\Delta_k = |x_k - x^*|, \quad (2.9)$$

$$\Delta_{k\%} = \frac{x_k - x^*}{x_k} 100, \quad (2.10)$$

де Δ_k - поправка, абсолютні одиниці; $\Delta_{k\%}$ - поправка, відносні одиниці; x_k - вимірне значення k -го вузла; x^* - скориговане значення.

Знайдена поправка враховується при подальших експериментах. Результат із врахованою поправкою $x_{\Delta k}$ виражається формулою (2.11):

$$x_{\Delta k} = x_k - \frac{\Delta_k \cdot x_k}{100}. \quad (2.11)$$

Результати калібрування вузлів БСМ та проміжні розрахунки (тобто скориговане значення x^* , його невизначеність U і поправка Δ_k) для кожного вузла зберігаються у файл.

Алгоритм AutoWSN запускається на ЦВ на початку циклу опитування мережі.

Інтервал проведення калібрування сенсорів БСМ залежить від міжповіркового інтервалу давачів, котрі використовуються в даній БСМ. Він може становити півроку, один чи два роки. Даний алгоритм калібрування сенсорів БСМ не має обмежень щодо кількості здійснених експериментів, саме тому калібрування можна проводити настільки часто, наскільки це необхідно. Оскільки вузли БСМ значно схильні до впливу навколишнього середовища, рекомендується проводити калібрування сенсорів з інтервалом і один місяць.

Так як в основу розробленого алгоритму покладено робастний метод, який дозволяє визначити точне значення на підставі неповних, неточних, неузгоджених даних, немає необхідності проведення попереднього калібрування сенсорів. Даний алгоритм може працювати за мінімальної кількості вузлів БСМ

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від 4 шт. Також оскільки алгоритм працює на ЦВ, який підключений до побутової мережі електроживлення та не має обмежень щодо живлення, для вузлів та ГК не буде додаткового обчислювального навантаження та витрат на передачу даних. З огляду на це можна зробити висновок, що даний алгоритм відповідає заданим вимогам.

2.4 ПЗ методу «простого» калібрування

Була розроблена програма для моделювання роботи БСМ і процесу її калібрування методом «простого» калібрування в графічному середовищі розробки LabVIEW [15]. У моделі БСМ, що розглядається, кількість вузлів $n = 15$. На рис. 2.3 представлена схема розташування вузлів.

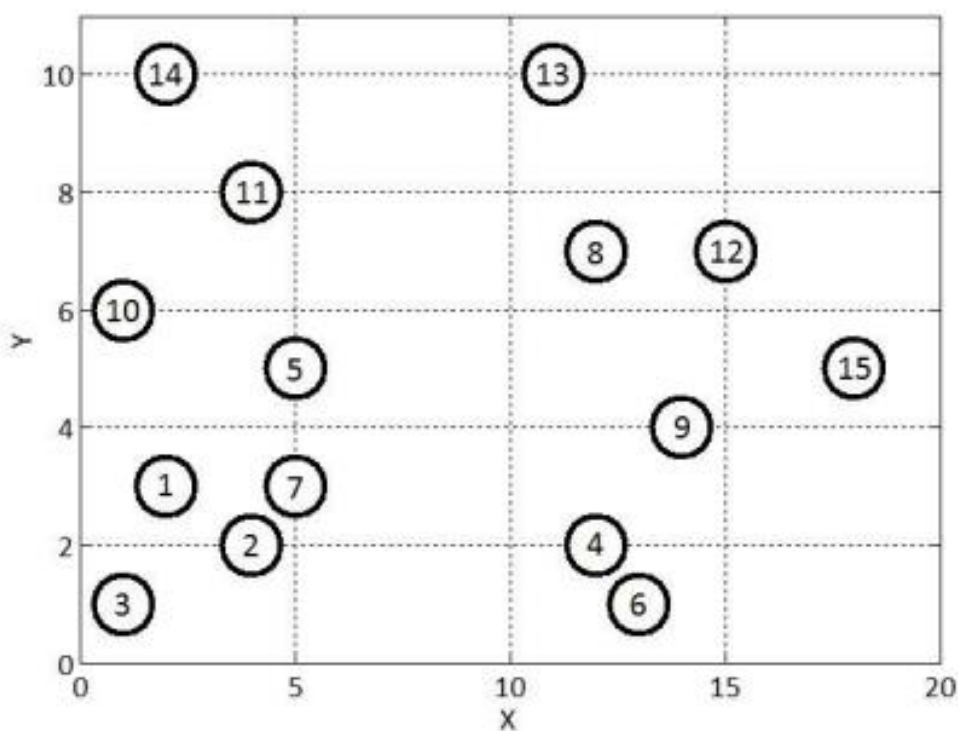


Рисунок 2.3 – Схема розташування вузлів БСМ

Алгоритм програми представлений на рис. 2.4.

Позначення на рис. 2.4: F_i - масив значень параметра, що вимірюється, в перший момент часу всіх вузлів, окрім s_i ; D_i - масив відстаней від s_i вузла до

решти вузлів; M_i - масив інформації про сусідні вузли для s_i вузла.

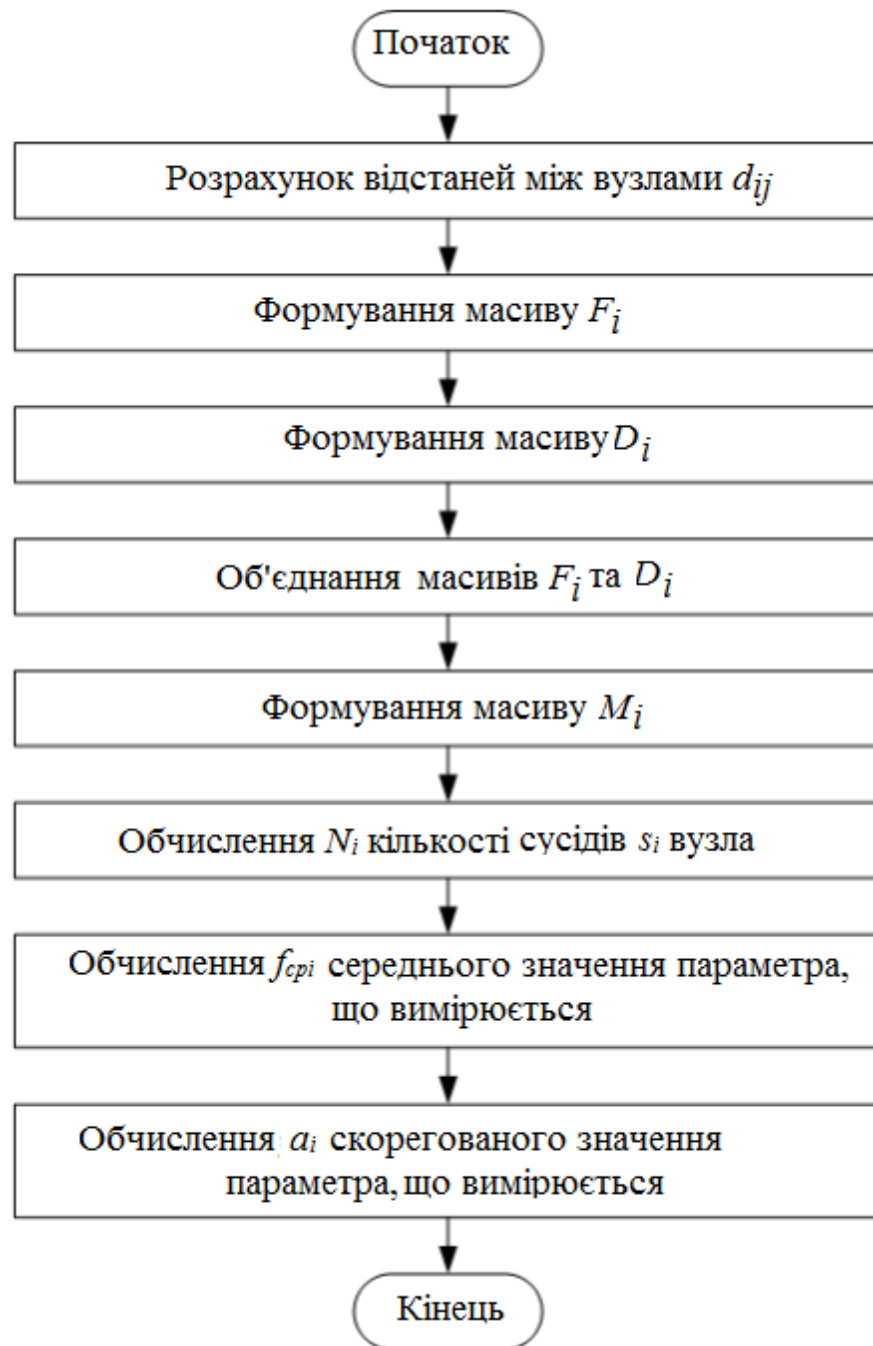


Рисунок 2.4 – Алгоритм програми

Для початку користувачеві необхідно встановити на лицьовій панелі кілька параметрів БСМ, таких як:

- інформацію про місцезнаходження вузлів, тобто координати (x, y) (рис. 2.5);
- кількість експериментів;

- довірче значення c_i (рис. 2.6);
- максимальний діапазон передачі R .

Кількість експериментів

Координати вузлів

x1 <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="3"/>	x2 <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="2"/>	x3 <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="1"/>
x4 <input type="text" value="12"/> <input type="text" value="2"/>	x5 <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="5"/>	x6 <input type="text" value="13"/> <input type="text" value="1"/>
x7 <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="3"/>	x8 <input type="text" value="12"/> <input type="text" value="7"/>	x9 <input type="text" value="14"/> <input type="text" value="4"/>
x10 <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="6"/>	x11 <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="8"/>	x12 <input type="text" value="15"/> <input type="text" value="7"/>
x13 <input type="text" value="11"/> <input type="text" value="10"/>	x14 <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="10"/>	x15 <input type="text" value="18"/> <input type="text" value="5"/>

Рисунок 2.5 – Поле задання координат вузлів

Довірча ймовірність

c1 <input type="text" value="1"/>	c6 <input type="text" value="0,74"/>	c11 <input type="text" value="0,77"/>
c2 <input type="text" value="0,85"/>	c7 <input type="text" value="0,8"/>	c12 <input type="text" value="0,93"/>
c3 <input type="text" value="0,8"/>	c8 <input type="text" value="0,75"/>	c13 <input type="text" value="0,7"/>
c4 <input type="text" value="0,8"/>	c9 <input type="text" value="0,9"/>	c14 <input type="text" value="0,85"/>
c5 <input type="text" value="0,82"/>	c10 <input type="text" value="0,95"/>	c15 <input type="text" value="0,75"/>

Рисунок 2.6 – Поле задання довірчих значень вузлів

Інша частина лицьової панелі містить поля з інформацією про наступні

параметри:

- середніх вимірних значеннях для кожного вузла $f_{срi}$ (рис. 2.7);
- скоригованих значеннях для кожного вузла a_i (рис. 2.8);
- відстані між вузлами d_{ij} ;
- масивах сусідніх вузлів M_i та кількості сусідніх вузлів N_i для кожного вузла (рис. 2.9).

Деяка частина лицьової панелі може виглядати недостатньо інформативною для користувача, зокрема, поле з відстанями між вузлами, проте ці дані важливі для розрахунків.

Середнє вимірне значення

fcp1	fcp6	fcp11
19,9799	19,9908	19,9733
fcp2	fcp7	fcp12
19,9871	19,9865	20,0122
fcp3	fcp8	fcp13
19,9799	19,9908	20,002
fcp4	fcp9	fcp14
19,9908	20,0053	19,9791
fcp5	fcp10	fcp15
19,9826	19,9799	20,0122

Рисунок 2.7 – Індикатори середніх вимірних значень

Скориговані значення

a1	a6	a11
20	20,0711	19,986
a2	a7	a12
19,8796	19,9636	20,0236
a3	a8	a13
19,9447	19,9383	19,9815
a4	a9	a14
19,9974	19,9496	19,984
a5	a10	a15
20,0008	20,0991	20,0972

Рисунок 2.8 – Індикатори скоригованих значень

Ni(m1) Вузол 1

Номер вузла	Відстань до сусіднього вузла	Значення параметра, що вимірюється	Скоректоване значення
2	2,236	19,861	19,880
3	2,236	19,936	19,973
5	3,606	20,005	20,064
7	3,000	19,958	20,001
10	3,162	20,105	19,955
11	5,385	19,990	19,948
14	7,000	19,985	20,003

Рисунок 2.9 – Масив даних про сусідні вузли

На рис. 2.10 показана частина блок-діаграми, що відповідає за формування масивів значень вимірюваного параметра F_i та відстані між вузлами D_i , а також за об'єднання цих масивів в один. Розглянемо цю частину на прикладі першого вузла.

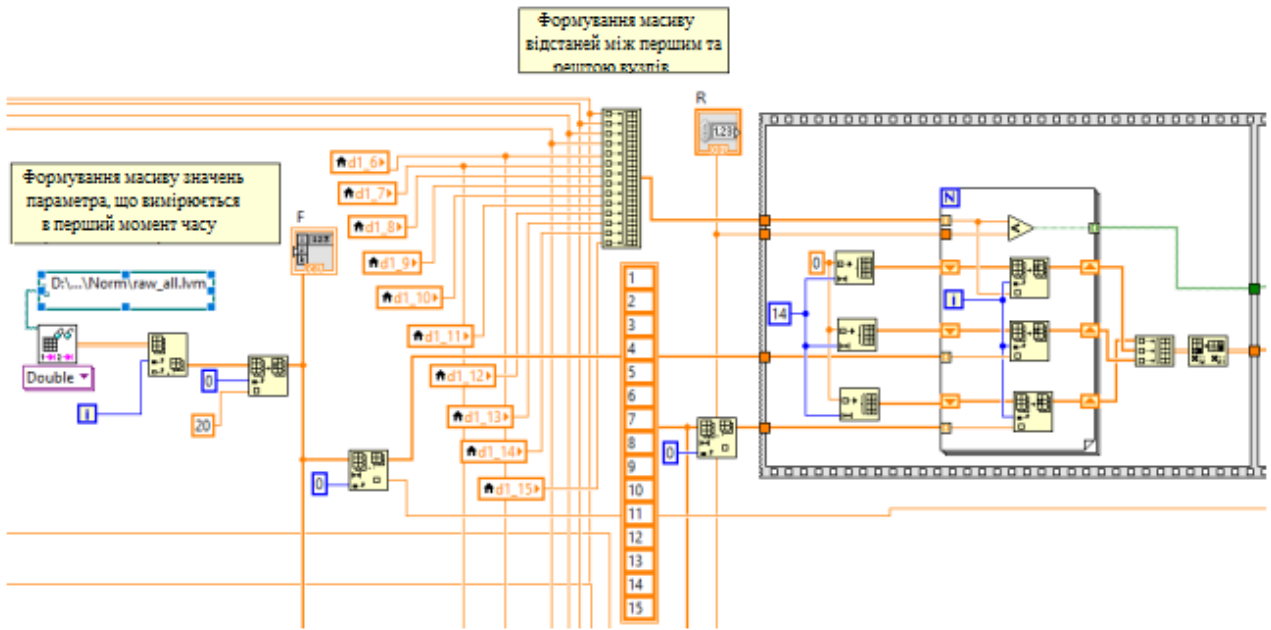


Рисунок 2.10 – Формування масивів F_i та D_i

На вхід блоку для F_1 подаються значення $f_2(t), f_3(t) \dots f_{15}(t)$, тобто значення параметру, що вимірюється з усіх вузлів, окрім першого. На вхід блоку для D_i подаються значення $d_{1_2}, d_{1_3}, \dots, d_{1_{15}}$, відстані від першого до всіх решту вузлів.

Далі в об'єднаному масиві всі значення відстаней, котрі більші за максимальний діапазон передачі R , видаляються, і залишається масив сусідніх вузлів M_i . Схема виконання даної процедури показана на рис. 2.10.

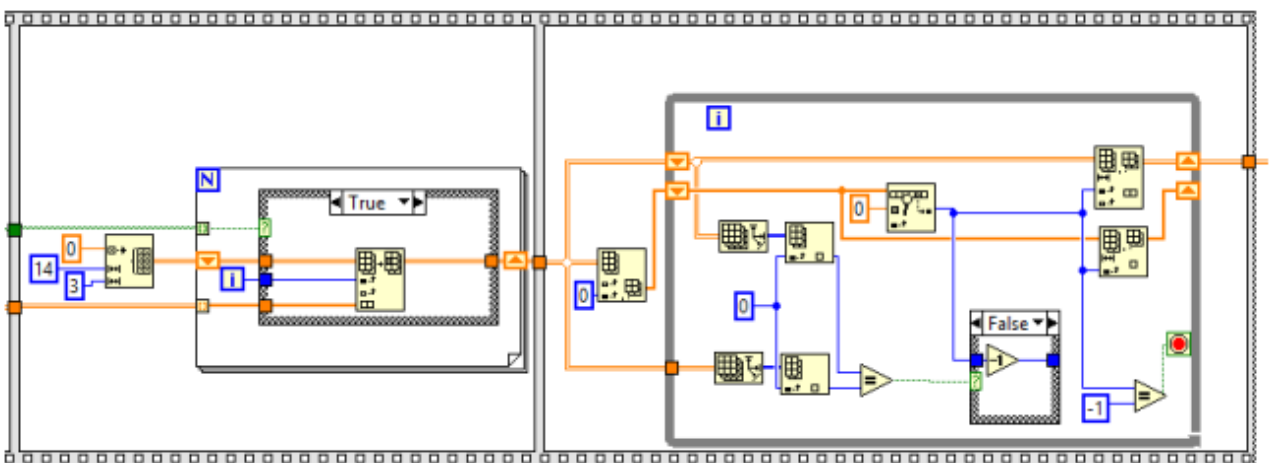


Рисунок 2.11 – Формування масиву M_i

Частина блок діаграми з розрахунком скоригованого значення a_i

представлена рис. 2.12.

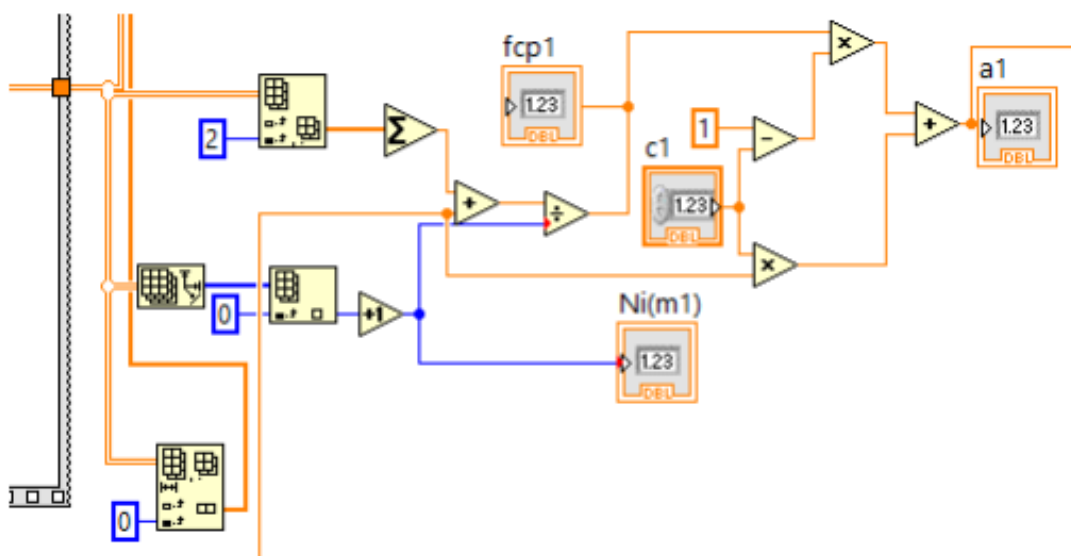


Рисунок 2.12 – Розрахунок скоригованого значення

Викладена вище процедура повторюється для всіх 15 вузлів.

Для тестування створеного ПЗ було проведено 100 експериментів з наступними параметрами: номінальне значення дорівнює 20, похибка сенсора становить 0,5 в абсолютних одиницях. Результати зберігаються у файлі та представлені у додатку.

На рис. 2.13 відображені графіки абсолютної похибки кожного вузла, синя лінія показує значення похибки до коригування, червона лінія - скориговані значення. В даному випадку за справжнє значення вимірюваної величини приймається значення першого вузла 20, оскільки перший вузол відкалібрований.

З графіків видно, що при застосуванні даного методу, може бути збільшення абсолютної похибки деяких вузлів, що є недоліком. Загалом після проведення одного циклу «простого» калібрування БСМ абсолютна похибка зменшується.

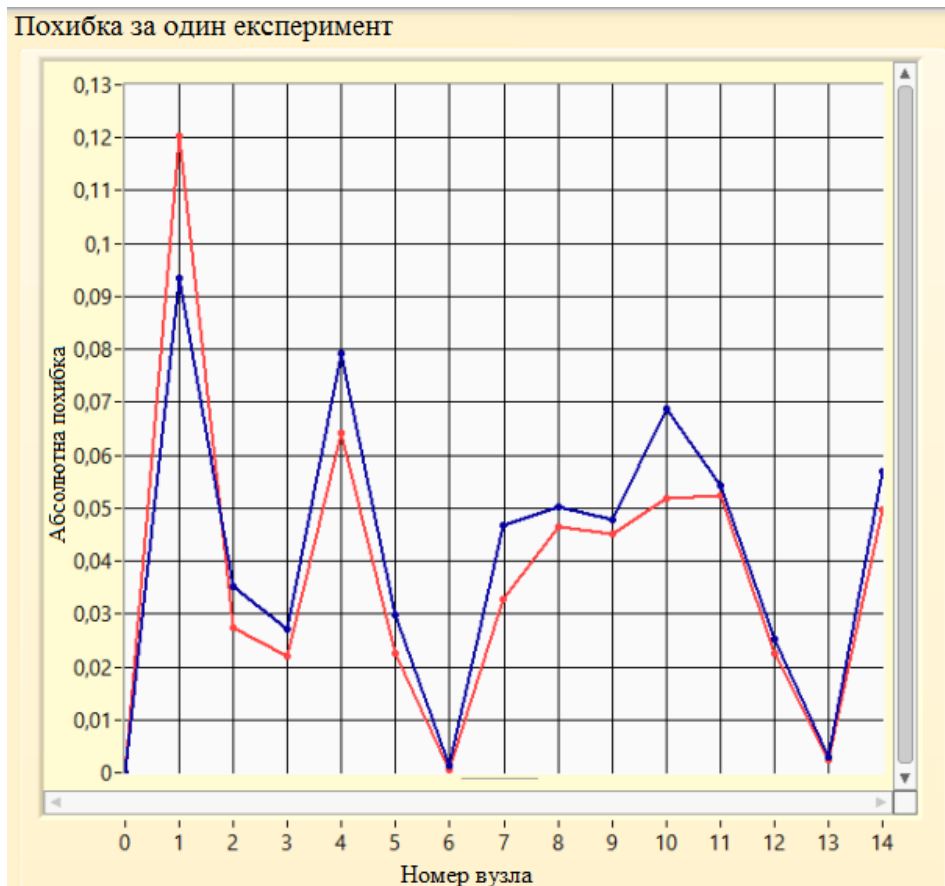


Рисунок 2.13 – Графіки абсолютної похибки

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 ПЗ для автокалібрування за допомогою алгоритму AutoWSN

У кваліфікаційній роботі було написано ПЗ для автокалібрування сенсорів у БСМ методом комплексування інтервальних даних агрегуванням переваг у графічному середовищі розробки LabVIEW [15]. Дана програма відображає результати коригування вимірних значень, а також результати калібрування сенсорів БСМ.

На рис. 3.1 наведено розташування полів лицьової панелі програми.

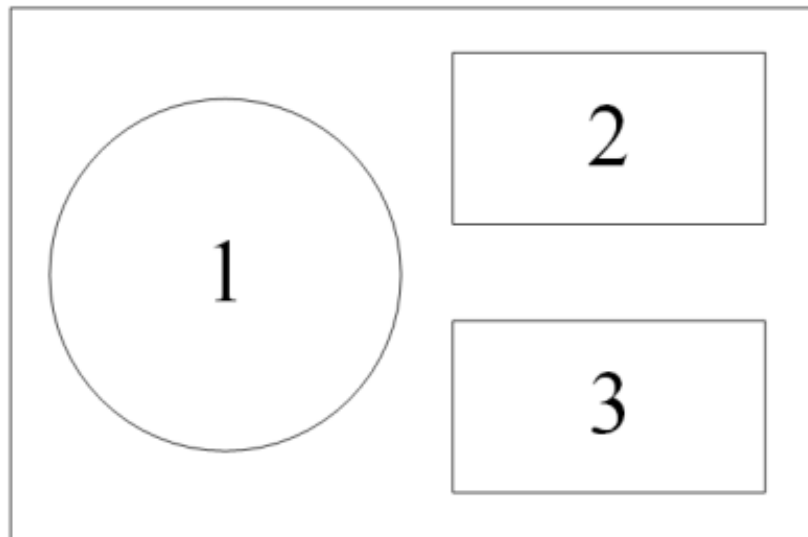


Рисунок 3.1 – Поля лицьової панелі

У першому полі лицьової панелі розташовуються (рис. 3.2):

- індикатори для кожного вузла БСМ, що відображають вимірне значення, залежно від зазначеного номера експерименту;
- індикатор розділу кластера.

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Панузик О.Ю.			ТНТУ, каф. КС, гр. СІзс-42		
Керівник.		Баран І.О.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.							

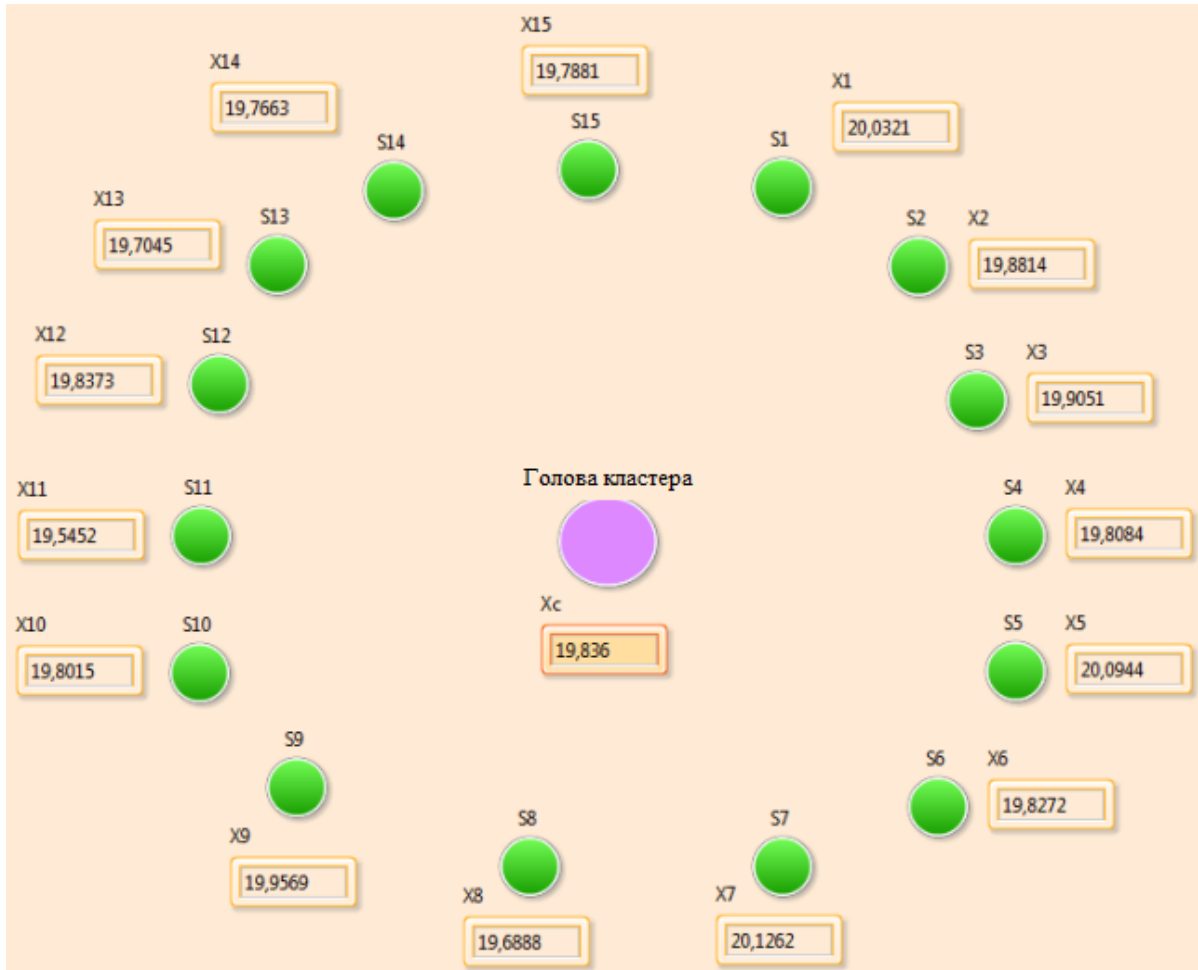


Рисунок 3.2 – Перше поле лицьової панелі

На другому полі лицьової панелі є (рис. 3.3):

- елементи управління такі, як кількість вузлів БСМ, кількість проведених експериментів та номер експерименту;
- таблиця з результатами комплексування вимірних значень, в якій вказано номер експерименту, скориговане значення, різниця між скоригованим значенням та номінальним, а також невизначеність скоригованого значення.

І на третьому полі лицьової панелі (рис. 3.4) наведено таблицю результатів калібрування вузлів для зазначеного експерименту. У цій таблиці відображаються такі дані, як номер вузла, вимірне значення без виправлення, виправлення та вимірне значення з урахуванням виправлення.

Кількість експериментів Кількість вузлів Номер експеримента ■ Stop

Результат корегування

Номер експеримента	Скоректоване значення	Різниця між скоректованим значенн	Невизначеність скоректованого
1	20,001	0,001	0,719
2	19,963	0,037	0,706
3	20,012	0,012	0,947
4	19,944	0,056	0,529
5	19,898	0,102	0,569

Рисунок 3.3 – Друге поле лицьової панелі

Результат калібрування (один експеримент)

Номер вузла	Вимірне значення без поправки	Поправка, %	Значення з поправкою
1	20,032	0,979	19,836
2	19,881	0,228	19,836
3	19,905	0,347	19,836
4	19,808	0,139	19,836
5	20,094	1,286	19,836

Рисунок 3.3 – Третє поле лицьової панелі

Користувачеві на лицьовій панелі необхідно вказати кількість вузлів БСМ, кількість проведених експериментів та номер експерименту. Результати

експериментів генерувалися методом Монте-Карло [16] з допомогою ПЗ IntFusion [12].

На рис. 3.5 представлена частина блок-діаграми програми для одержання поправок вимірних значень.

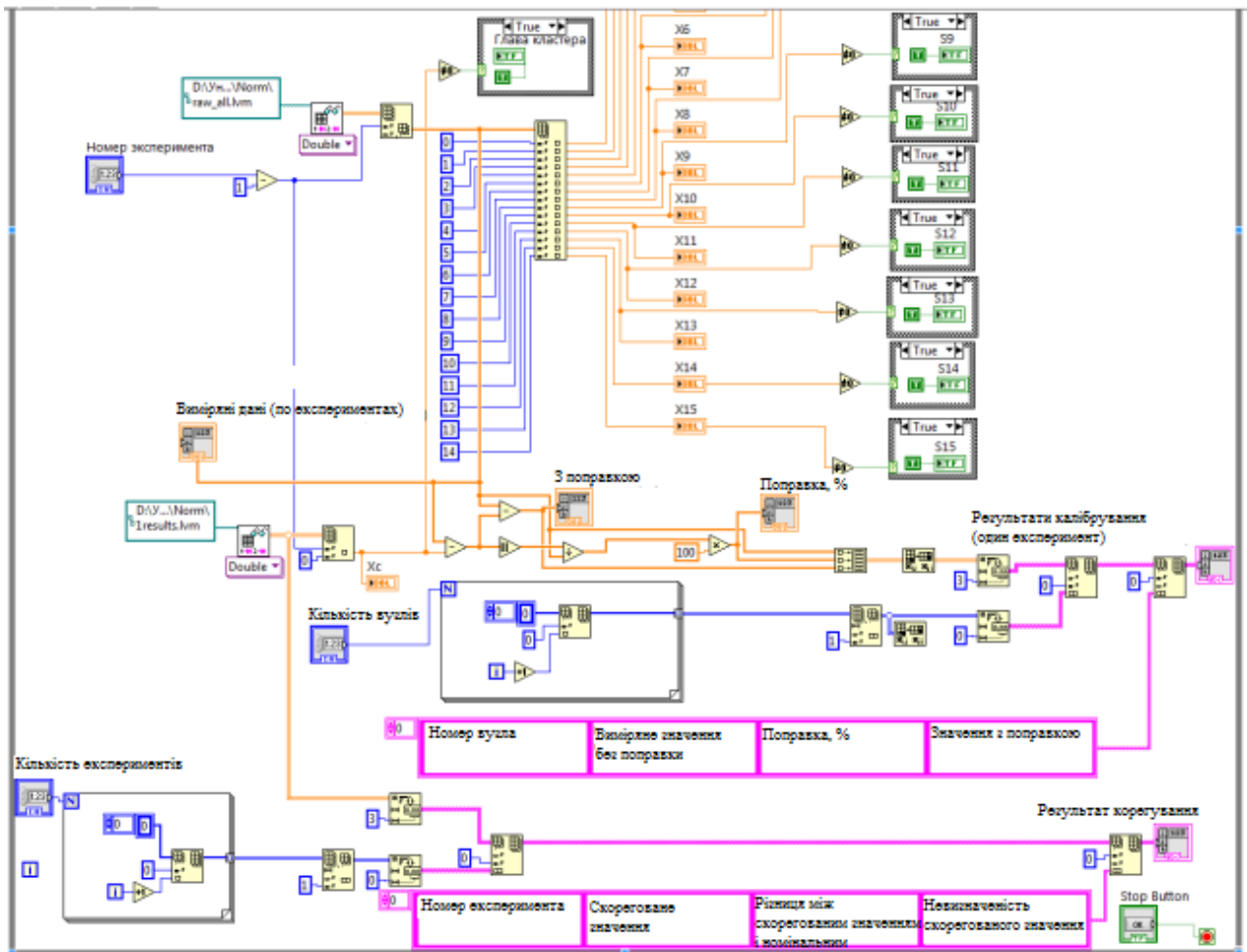


Рисунок 3.5 – Блок-діаграма програми

За результатами калібрування можна судити про придатність до подальшого застосування сенсорів БСМ. Якщо поправка перевищує похибку сенсора протягом трьох циклів калібрування, цей сенсор повинен бути виключений з даної БСМ.

3.2 Експериментальне дослідження алгоритмів автокалібрування

Для того, щоб порівняти ефективність роботи двох методів автокалібрування сенсорів БСМ, проводилися експериментальні дослідження з наступними параметрами:

- БСМ складається із 15 вузлів;
- номінальне значення вимірюваної фізичної величини дорівнює 20 прийнятих абсолютних одиницях;
- похибка сенсора становить 0,5 абсолютних одиницях;
- кількість експериментів – 100.

Відповідно до заданих параметрів генерувалися вимірювальні дані для 15 вузлів. Дані оброблялися за процедурою аналізованих алгоритмів. Для методу «простого» калібрування виміряні значення першого вузла були прийняті рівними 20, тому що один з вузлів БСМ має бути відкалібрований.

В результаті калібрування сенсорів методом «простого» калібрування були отримані скориговані значення для кожного вузла в 100 експериментах. Результати калібрування за алгоритмом AutoWSN наведені включають скориговані значення x^* для 100 експериментів, поправку Δ_k , відхилення скоригованого значення від номінального ξ і невизначеність скоригованого значення U . Для прикладу дані наведені тільки для другого вузла.

Відхилення ξ розраховувалося за формулою (3.1):

$$\xi = X_N - x^*, \quad (3.1)$$

де X_N – номінальне значення.

Оскільки відомо номінальне значення, можна оцінити точність алгоритму за рівнем близькості отриманого скоригованого значення до номінального.

Експерименти методу «простого» калібрування та калібрування методом комплексування інтервальних даних агрегуванням переваг проводилися з одними і тими самими даними.

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

На рис. 3.6 представлені графіки відхилень ξ для двох методів.

З графіку видно, що відхилення скоригованого значення від номінального методу «простого» калібрування більше, ніж у алгоритму AutoWSN. Отже, скориговані значення, отримані алгоритмом AutoWSN, ближче до номінального значення, і можна вважати, що цей метод точніший, ніж метод «простого» калібрування. В середньому алгоритм AutoWSN виграє за точністю в 2,3 рази.

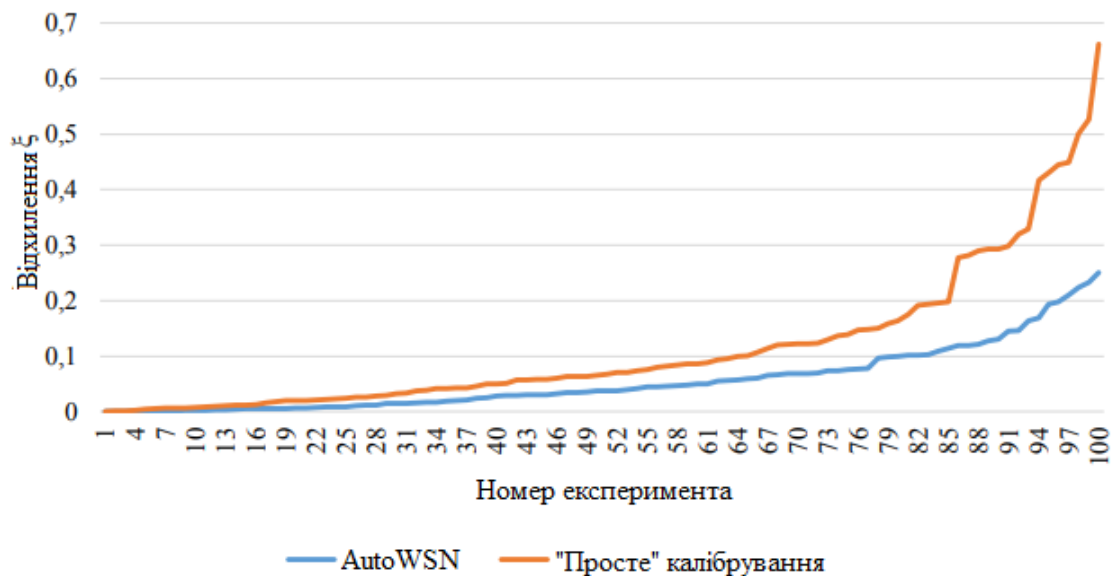


Рисунок 3.6 – Порівняння відхилення ξ для двох методів

На рис. 3.7 представлений графік поправок для всіх вузлів в одному експерименті. Штрихом зазначена похибка давачів, що дорівнює 0,5. За графіком видно, що з трьох вузлів поправка сильно перевищує похибку давача. У цьому випадку необхідно ще раз провести процедуру калібрування, якщо ця ситуація повториться ще кілька разів, то ці давачі необхідно виключити з БСМ і перевірити вручну.

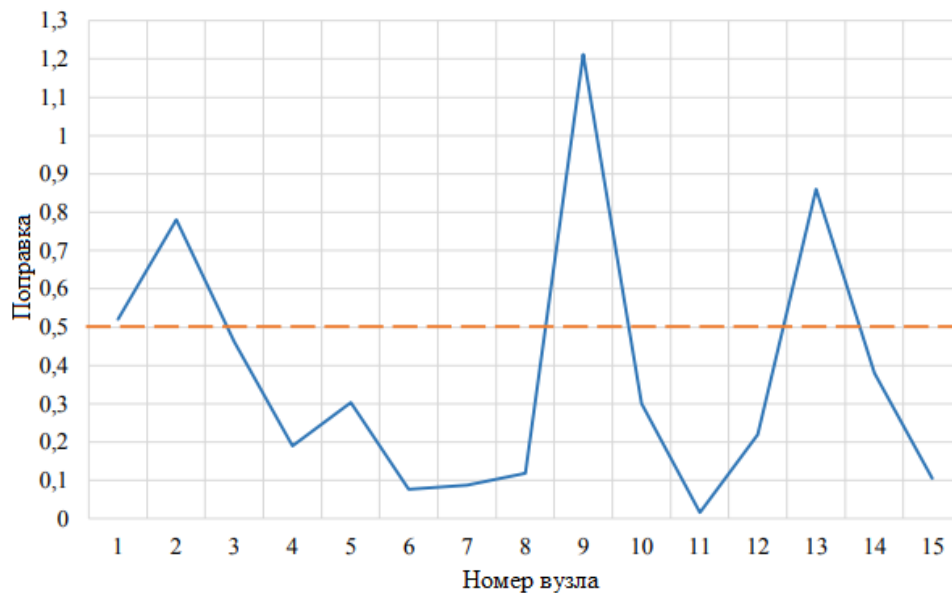


Рисунок 3.7 – Графік поправок в одному експерименті

3.3 Дослідження впливу викидів на результати алгоритму AutoWSN

Щоб вивчити вплив викидів на результати роботи алгоритму AutoWSN, було проведено кілька експериментів. При номінальному значенні 20 вимірюваної фізичної величини значення викиду приймалося рівним 30 абсолютних одиниць.

На рис. 3.8 показані графіки відхилень ξ при викидах на одному, трьох та шести вузлах. Для порівняння синьою лінією показані відхилення ξ без викидів. Як і очікувалося, за наявності викидів значень відхилення зростає, хоч і не залежить від їхньої кількості. Можна зробити висновок, що при збільшенні кількості викидів з 1 до 6 відхилення практично не збільшується, що говорить про стійкість методу та хорошу робастність.

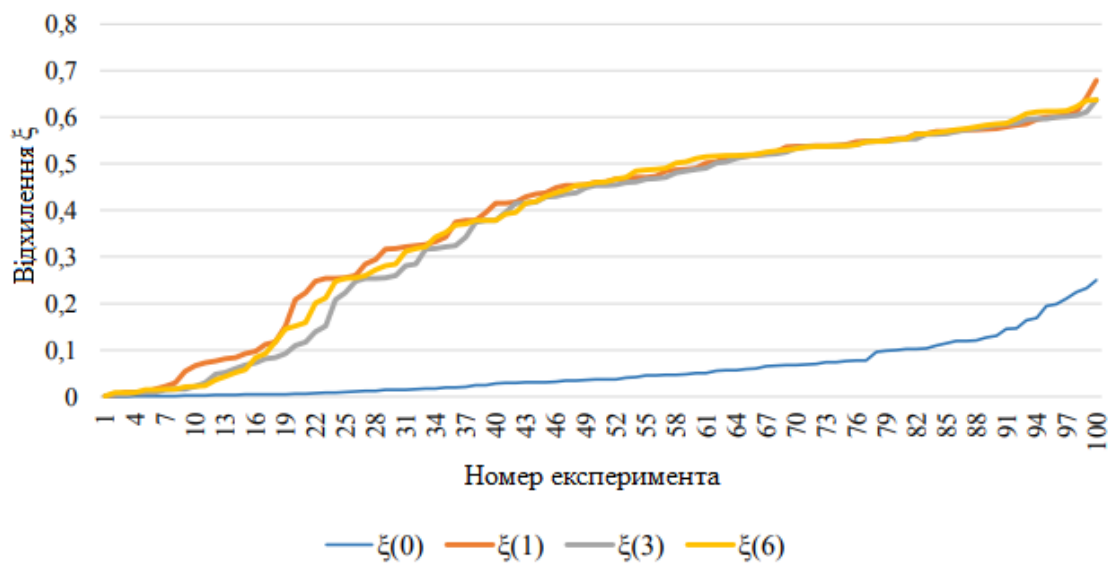


Рисунок 3.8 – Графіки відхилень ξ при викидах значень

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Стихійні лиха та їх класифікація

Стихійні дії сил природи, поки що не повною мірою підвладні людині та щорічно завдають державі і населенню величезних збитків. Стихійні лиха - це такі явища природи, що викликають екстремальні ситуації, порушують нормальну життєдіяльність населення, роботу безлічі об'єктів. Стихійні лиха є трагедією для будь-якої держави. Через стихійні лиха страждає економіка країни, бо при цьому руйнуються виробничі підприємства, знищуються матеріальні цінності, гинуть люди.

Стихійні лиха - небезпечні природні явища, як правило раптового походження, хоча іноді і прогнозовані за допомогою метеорології, але на інтенсивність яких люди впливати не можуть. Їх можна класифікувати: за швидкістю переміщення - землетруси, зсуви, цунамі, снігопади, ожеледі - швидкі; підвищення рівня води в ріках через інтенсивні опади або танення снігу, льоду (повіні), звільнення внутрішньої енергії Землі, виверження вулканів - повільні. Часто виникають потужні, високошвидкісні потоки повітря через швидкий перепад значень атмосферного тиску (урагани, смерчі, циклони). Стихійні лиха речовинного характеру можуть ініціювати виникнення різноманітних полів, які негативно впливають на здоров'я, самопочуття людини. [17].

Стихійні явища часто виникають в комплексі, що значно посилює їх негативний вплив. Небезпечні природні явища визначаються трьома основними групами процесів - ендогенні, екзогенні та гідрометеорологічні. Стихійні лиха, які характерні для України, за структурою можна поділити на прості, що включають один елемент – наприклад, сильний вітер, зсув або землетрус

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		Лім.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Панузик О.Ю.						
Керівник.		Баран І.О.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.								
						ТНТУ, каф. КС, гр. СІзс-42		

та складні. Вони складаються з декількох процесів однієї групи або кількох груп. Найбільші збитки спричиняють повені - 40%, на другому місці - циклони (20%), на третьому - посухи та землетруси (15%). Деякі стихійні лиха (пожежі, обвали, зсуви і навіть землетруси) можуть виникати в результаті дій самих людей, тобто мають антропогенне походження, але наслідки їх завжди є діями сил природи. Для кожного стихійного лиха характерна наявність властивих йому вражаючих чинників, що несприятливо впливають на стан здоров'я, життя людини [18].

Причинами стихійних лих можуть бути:

- швидке переміщення речовини (землетрусу, зсуви);
- вивільнення внутріземної енергії (вулканічна діяльність, землетруси);
- підвищення рівня вод річок, ставків і морів (повені, цунамі);
- вплив надзвичайно сильного вітру (урагани, торнадо, циклони).

Важливо своєчасно провести роботи, спрямовані на локалізацію природного лиха, щоб зменшити зони руйнувань, звести до мінімуму кількість загиблих та постраждалих.

В Україні найчастіше спостерігаються такі надзвичайні ситуації природного характеру:

- небезпечні геологічні явища (зсуви, обвали, осипки, просадки земної поверхні);
- небезпечні метеорологічні явища (зливи, урагани, сильні снігопади, сильний град, ожеледь);
- небезпечні гідрологічні явища (повені, паводки);
- природні пожежі лісових та торф'яних масивів;
- масові інфекції та хвороби людей, тварин, рослин.

В останні роки кількість стихійних лих в Україні та в світі в цілому значно збільшилася. Найчастіше в Україні виникають такі природні катастрофи як землетруси, повені, посухи (на Півдні України), лісові пожежі в літню пору року, снігові замети, зсуви поверхні.

Є серйозні підстави вважати, що масштабність впливу лиха й катастроф на соціальні, економічні, політичні та інших процесів сучасного нашого суспільства

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та їх драматизм вже перевищили такий рівень, який дозволяв ставитися до них як до локальних збоїв у розміреному функціонуванні державних та громадських структур [18].

Отже, перед людиною та громадськістю в ХХІ в. вимальовується нова мета - глобальна безпека. Досягти цього можна, в першу чергу, за допомогою зміни світогляду людини, а також покращення системи профілактичних заходів у боротьбі зі стихійними лихами, а саме: вдосконалення рятувальних служб та рятувальної техніки, проведення попереджувальних заходів та пропагандистської роботи з громадянами щодо правил поведінки та дій під час стихійних лих. Це допоможе в майбутньому зменшити кількість загиблих та постраждалих від природних катастроф, а також зменшить матеріальні збитки, що були завдані стихійним лихом.

Природні лиха з часом нікуди не зникнуть. Будуть виникати землетруси в геологічно активних районах, будуть виникати повені, а штормові припливи стануть, раз у раз затопляти морські узбережжя, не обійдеться і пожеж. Людина безсила запобігти природним процесам, але тільки в наших силах зменшити кількість жертв і матеріальних втрат.

4.2 Соціальне значення охорони праці

Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні росту ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і профзахворювань [19].

Соціальне значення охорони праці проявляється в зростанні продуктивності праці, збереженні трудових ресурсів і збільшенні сукупного національного продукту.

Охорона праці полягає в сприянні росту ефективності виробництва, яке досягається шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і профзахворювань.

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зростання продуктивності праці відбувається в результаті збільшення фонду робочого часу завдяки скороченню внутрішньо-змінних простоїв шляхом ліквідації мікротравм або зниження їх кількості, а також завдяки запобіганню передчасного стомлення шляхом раціоналізації і покращення умов праці та введенню оптимальних режимів праці і відпочинку та інших заходів, які сприяють підвищенню ефективності використання робочого часу.

Важливим питанням є зростання продуктивності праці, яка відбувається в результаті збільшення фонду робочого часу завдяки скороченню внутрішньозмінних простоїв шляхом ліквідації мікротравм або зниження їх кількості, а також завдяки запобіганню передчасного стомлення шляхом раціоналізації і покращення умов праці та введенню оптимальних режимів праці і відпочинку та інших заходів, які сприяють підвищенню ефективності використання робочого часу [19].

Особливої уваги заслуговує те, що збереження трудових ресурсів і підвищення професійної активності працюючих відбувається завдяки покращенню стану здоров'я і подовженню середньої тривалості життя шляхом покращення умов праці, що супроводжується високою трудовою активністю і підвищенням виробничого стажу. Підвищується професійний рівень також завдяки зростанню кваліфікації і майстерності. Відповідно і збільшення сукупного національного продукту відбувається завдяки покращенню вищеперелічених показників та їх складових компонентів [18].

Збереження трудових ресурсів і підвищення професійної активності працюючих відбувається завдяки покращенню стану здоров'я і подовженню середньої тривалості життя шляхом покращення умов праці, що супроводжується високою трудовою активністю і підвищенням виробничого стажу. Підвищується професійний рівень також завдяки зростанню кваліфікації і майстерності.

Збільшення сукупного національного продукту відбувається завдяки покращенню вищеперелічених показників та їх складових компонентів. Крім

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

того, соціальне значення охорони праці проявляється в зростанні продуктивності праці, збереженні трудових ресурсів.

За даними досліджень, комплекс заходів з поліпшення умов праці може забезпечити приріст продуктивності праці на 15-20%. Так, нормалізація освітлення робочих місць збільшує продуктивність праці на 6-13% та скорочує брак на 25%. Рациональна організація робочого місця підвищує продуктивність праці на 21%, раціональне фарбування робочих приміщень – на 25%.

Збільшення ефективного фонду робочого часу може бути досягнуто за рахунок скорочення тимчасової непрацездатності працівників внаслідок хвороб та виробничого травматизму.

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В роботі було розроблено алгоритм автоматичного калібрування сенсорів у БСМ AutoWSN. Було проаналізовано існуючі методи калібрування сенсорів БСМ, сформульовано вимоги до алгоритму та на їх основі було прийнято рішення розробляти алгоритм на основі методу AF&PA.

Також було розроблено ПЗ для методу «простого» калібрування алгоритму AutoWSN. Проводились експериментальні дослідження двох алгоритмів автокалібрування, за результатами яких було зроблено висновок про те, що в середньому метод AutoWSN виграє за точністю у 2,3 рази у методу «простого» калібрування.

Так як в основу розробленого алгоритму покладено робастний метод, який дозволяє визначити точне значення на підставі неповних, неточних, неузгоджених даних, немає необхідності проведення попереднього калібрування сенсорів. Даний алгоритм може працювати за мінімальної кількості вузлів БСМ від 4 шт. Також оскільки алгоритм працює на ЦВ, який підключений до побутової мережі електроживлення і не має обмежень щодо живлення, для вузлів та ГК не буде додаткового обчислювального навантаження та витрат на передачу даних. З огляду на це можна зробити висновок, що даний алгоритм відповідає заданим вимогам.

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. J. Yick, B. Mukherjee, D. Ghosal: Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, volume 52, issue 12, pp. 2292–2330, 2008.
2. Matin, M.A. Overview of Wireless Sensor Network / M.A. Matin, M.M. Islam // *InTechOpen*: 2012.
3. Al-Rakhami M., Almowuena S. *Wireless Sensor Networks Security: State of the Art*. 2018.
4. Takruri, M., Challa, S., Yunis, R.: Data fusion techniques for auto calibration in wireless sensor networks. *12th International Conference on Information Fusion*, No. 5203880, pp. 132-139, 2009.
5. Li R., Wang J., Chen J. Movable platform-based topology detection for a geographic routing wireless sensor network // *Sensors (Switzerland)*. 2020. Vol. 20, № 13.
6. Fadi Kizel, Yael Etzion, Rakefet Shafran-Nathan, Ilan Levy, Barak Fishbain, Alena Bartonova, David M. Broday: Node-to-node field calibration of wireless distributed air pollution sensor network. *Environmental Pollution*, 1-10, 2017.
7. Wang, YZ., Yang, AQ., Chen, XM., Wang, PJ., Wang, Y., Yang, HZ.: A Deep Learning Approach for Blind Drift Calibration of Sensor Networks. *IEEE Sensors Journal*, volume 17, issue 13, pp. 4158-4171, 2017.
8. Abdelgawad, A. Resource-Aware Data Fusion Algorithms for Wireless Sensor Networks / A. Abdelgawad, M. Bayoumi // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. - 2012. - Vol. 118. - P. 17-34.
9. Lau, B., Lyons, M.: *Lazy Calibration for Wireless Sensor Networks*. 2008.
10. Rui Tan, Guoliang Xing, Zhaohui Yuan, Xue Liu, Jianguo Yao.: Systemlevel Calibration for Data Fusion in Wireless Sensor Networks. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*. volume 9, issue 3, 2013.
11. Галелюка І.Б. Моделювання бездротових сенсорних мереж // *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2015. № 14. С. 141-153.
12. Худоногова, Л.И. Комплексирование интервальных измерительных

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

данных методом агрегирования предпочтений: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.11.13. Томск, 2017.

13. Кемени Дж. Кибернетическое моделирование. М.: Сов. радио, 1972. 192 с.

14. Muravyov, S.V.: Dealing with chaotic results of Kemeny ranking determination. Measurement, volume 51, pp. 328-334, 2014.

15. Середовище розробки Lab VIEW. National Instruments. URL: <https://www.ni.com/ru-ru/shop/labview.html> (дата звертання: 25.05.22).

16. Соболев, И.М. Численные методы Монте-Карло. М.: Наука, 1973. 412 с.

17. Стеблюк М.І. Цивільна оборона: Підручник. Знання, 2006. 487 с.

18. Толоч А.О., Крюковська О.А. Безпека життєдіяльності: Навч. посібник. 2011. 215 с.

19. Основи охорони праці: Підручник.; 3-те видання, доповнене та перероблене / За ред. К. Н Ткачука. К.: Основа, 2011. 480 с.

					КС КРБ 123.392.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ ____ ” _____ 2022 р

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КАЛІБРУВАННЯ
СЕНСОРІВ В БЕЗПРОВІДНІЙ СЕНСОРНІЙ МЕРЕЖІ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 9 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІзс-42

_____ к.т.н., доц. Баран І.О.

_____ Панузик О.Ю.

« ____ » _____ 2022 р.

« ____ » _____ 2022 р.

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютеризована система автоматичного калібрування сенсорів в безпроводній сенсорній мережі».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.392.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІзс-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерної інженерії, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Панузик Олександр Юрійович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№ 4/7-290 від 28.04.2022 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 28.04.2022 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 16.06.2022 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ІСО, ГОСТ, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи.

Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи на 90% , наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп'ютеризована система автоматичного калібрування сенсорів призначена для використання в безпроводній тимчасово-керованій сенсорній мережі з топологією «кластерне дерево». Під сенсорами БСМ розуміються давачі фізичних величин, котрі беруть участь у процесі вимірювань і володіють нормованими метрологічними атрибутами.

До складу комп'ютеризованої системи повинні входити як апаратна складова, так і програмна.

Доцільність створення системи полягає у її доступності, що дозволяє використовувати її, а навіть невелика команда розробки дасть змогу покращити якість кінцевого продукту.

2.2 Мета створення системи

Основна мета проектування комп'ютеризованої системи автоматичного калібрування сенсорів в безпроводній сенсорній мережі полягає в створення недорогої системи, котре забезпечить автокалібрування давачів через визначений час.

Для того, щоб досягти поставленої мети роботи, необхідно розв'язати наступні задачі:

- дослідження існуючих методів калібрування сенсорів БСМ;

- розробка ПЗ методу «простого» калібрування;
- розробка алгоритму автоматичного калібрування у БСМ на основі методу комплексування інтервальних даних;
- створення ПЗ для автокалібрування сенсорів;
- експериментальні дослідження алгоритмів автокалібрування.

2.3 Характеристика об'єкту

2.3.1 Основні задачі та функції об'єкту

Комп'ютеризована система автоматичного калібрування сенсорів може використовуватись у тимчасово-керованій БСМ, в якій вузли періодично опитуються центральним вузлом. Це дозволяє економити енергію та отримувати інформацію тоді, коли це необхідно.

При проектуванні складових системи, необхідно проаналізувати предметну область. Найбільш коректні дані щодо автоматичного калібрування в БСМ можна отримати на основі методу комплексування інтервальних даних та методу «простого» калібрування.

Потрібно дослідити існуючі методів калібрування сенсорів, розробити алгоритм автокалібрування в БСМ на основі методу комплексування інтервальних даних, розробити ПЗ «простого» калібрування та створеного алгоритму автоматичного калібрування, виконати експериментальні дослідження алгоритмів автокалібрування. Розроблений алгоритм може працювати за мінімальної кількості вузлів мережі від 4 шт.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Комп'ютеризована система автоматичного калібрування сенсорів в безпроводній сенсорній мережі повинна забезпечувати простоту функціонування і

доступність передачі даних на персональний комп'ютер для подальшого їх опрацювання. В цілому, у проектованій системі повинні бути забезпечені:

- надійність роботи апаратної частини;
- калібрування сенсорів має бути автоматичним;
- відсутня необхідність проведення попереднього калібрування сенсорів;
- відсутня необхідність встановлення додаткового обладнання для калібрування;
- мінімальна кількість вузлів має бути до 10 шт;
- калібрування сенсорів не повинно збільшувати загальні енерговитрати мережі.
- продуктивність роботи ПЗ;
- часова ефективність та ефективність використання ресурсів комп'ютеризованої системи.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

До структури та функціонування комп'ютеризованої системи автоматичного калібрування сенсорів в БСМ входять:

- давачі (сенсори) температури та відносної вологості повітря;
- ПК;
- база даних;
- клієнтська частина, що забезпечує зв'язок між користувачами та базою даних.

В цілому, концептуальна модель комп'ютеризованої системи повинна відображати предметну область, а саме процес калібрування давачів сенсорної мережі. Клієнтська частина програмного забезпечення відповідає за можливості обліку даних та забезпечення їх захисту.

Функціональні вимоги, що висуваються до комп'ютеризованої системи, виглядають наступним чином:

- можливість зчитування та запису даних;
- можливість вводу, редагування та знищення даних;
- можливість запобігання неавторизованому доступу (логічного);

- можливість керування правами доступу до інформаційних ресурсів;
- розподіл прав доступу;
- масштабованість програмної та апаратної складових системи.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Взаємодія базується на топології «кластерне дерево». Група вузлів в одному кластері передає набір вимірних значень головному кластеру, який у свою чергу посилає цю інформацію на центральний вузол. Вважаємо, що вузли в кожному кластері гомогенні (тобто мають один і той же набір сенсорів з однаковими характеристиками) і вимірюють одні і ті ж фізичні величини. Протокол передачі інформації, який при цьому використовується – TCP/IP. Загалом, структура та архітектурне рішення при проектуванні комп'ютеризованої системи відповідає архітектурі «клієнт-сервер».

3.1.3 Вимоги по діагностуванню системи

Діагностика комп'ютеризованої системи автоматичного калібрування сенсорів в БСМ відбувається у відповідності до затвердженого розкладу профілактичних заходів.

3.1.4 Перспективи розвитку системи

Перспективами розвитку комп'ютеризованої системи автоматичного калібрування сенсорів в БСМ є вирішення завдання створення окремого програмного забезпечення для тонкої роботи з сенсорами.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Комп'ютеризованої системи автоматичного калібрування сенсорів в БСМ повинна бути захищена на кількох рівнях: логічному, операційної системи та на рівні доступу до бази даних. Логічний рівень захисту повинен забезпечувати надійність щодо доступу до системи через пароль та розмежування прав доступу.

На рівні операційної системи повинен бути організований доступ на основі визначених прав доступу до використання спеціалізованого програмного забезпечення.

Доступ до інформації, що зберігається у базі даних, повинен бути авторизованим на рівні системи керування базами даних. Лише користувачі з наділеним правом доступу та адміністратори мають можливість вносити зміни у базу даних в межах їхньої компетенції.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Функціональні вимоги та задачі, які повинна реалізовувати комп'ютеризованої системи автоматичного калібрування сенсорів в БСМ полягають в наступному:

- забезпечення економії енергії;
- забезпечення зв'язку клієнтської частини з базою даних;
- надання точних та адекватних результатів на запит користувачів;
- забезпечення часової ефективності роботи системи;
- забезпечення контролю над доступом до інформації;
- забезпечення зручності використання програмного продукту.

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

- процесор – 2,2 ГГц або більш потужний з кількістю логічних ядер >8;
- RAM – 16 ГБ або більше;
- об'єм дискового простору – 1 Тб.

3.1.8 Вимоги до програмного забезпечення

Мова програмування C(C++); графічне середовище розробки LabVIEW.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;

– графічного матеріалу:

- 1 Методи калібрування БСМ.
- 2 Алгоритм автоматичного калібрування сенсорів БСМ.
- 3 Алгоритм роботи програми, заснований на методі «простого» калібрування.
- 4 Блок-діаграма програми для одержання поправок вимірних значень.
- 5 Графіки результатів експериментів.

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися міни та доповнення в процесі розробки.

5 Техніко-економічні показники

Планована собівартість комп'ютеризованої системи автоматичного калібрування сенсорів в безпроводній сенсорній мережі повинна становити не більше 80 000 грн.

*Примітка: собівартість системи може змінюватись під час розрахунку в процесі розробки.

6 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання	01.05-06.05.2022
2	Аналіз технічного завдання	07.05-10.05.2022
3	Аналіз існуючих рішень організації комп'ютеризованої системи автоматичного калібрування сенсорів в безпроводній сенсорній мережі	11.05-15.05.2022
4	Проектування схеми комп'ютеризованої системи	16.05-19.05.2022
5	Обґрунтування вибору апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи	
6	Проектування та реалізація програмного забезпечення комп'ютерної системи	20.05-24.05.2022
8	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	26.05-02.06.2022
9	Оформлення кваліфікаційної роботи	03.06-07.06.2022
11	Попередній захист кваліфікаційної роботи	06.06-10.06.2022
11	Захист кваліфікаційної роботи	16.06.2022

7 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.