

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА  
МОГИЛИ

**Крапівіна Ганна Сергіївна**

УДК 004.67

**Дослідження методів багатокритерійного вибору технології бездротової  
передачі даних в IoT мережах**

124 – Системний аналіз

Автореферат  
магістерської наукової роботи на здобуття освітньої кваліфікації  
«Магістр системного аналізу»

Миколаїв – 2019

Магістерська наукова робота є рукопис.

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

Науковий керівник:

д.т.н., професор,  
професор кафедри ІС  
Ю. П. Кондратенко

Рецензент:

к.ф.-м.н., доцент,  
в.о. завідувача кафедри КІ  
ЧНУ імені Петра Могили  
О. В. Дворник

Захист відбудеться «27» лютого 2019 р. о 9<sup>30</sup> год. на засіданні екзаменаційної комісії (ауд. 2-403) у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

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

Автореферат представлений «25» лютого 2019 р.

Секретар

екзаменаційної комісії,

к.пед.н., доцент

Н. М. Боллюбаш

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

### **Актуальність теми.**

Тема роботи є актуальною, оскільки на даний час існує проблема раціонального вибору технології бездротової передачі даних з урахуванням критеріїв (факторів), які впливають на результат оцінювання.

**Метою магістерської наукової роботи** є підвищення ефективності прийняття рішень при різних вхідних даних технології бездротової передачі даних та умовах функціонування IoT мереж.

**Об'єкт досліджень** процес багатокритерійного вибору технології бездротової передачі даних.

**Предмет досліджень** – методи багатокритерійного вибору та прийняття рішень.

Завдання, які необхідно вирішити в межах даної наукової роботи:

1. Аналіз існуючих методів, підходів та технологій для вирішення задач з багатокритерійним прийняттям рішень.
2. Аналіз існуючих досліджень, пов'язаних з багатокритерійною оптимізацією.
3. Постановка задачі вибору бездротової технології передачі даних.
4. Порівняльний аналіз обраних методів багатокритерійного прийняття рішень для вирішення даної проблеми.
5. Розробка інформаційної системи для вибору технології бездротової передачі даних в IoT мережах на основі методів багатокритерійного прийняття рішень.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

У роботі розроблено структуру інформаційної системи для вибору технології бездротової передачі даних в IoT мережах на основі методів багатокритерійного прийняття рішень

### **Апробація результатів магістерської наукової роботи.**

Результати даної магістерської наукової роботи пройшли апробацію на XXI Всеукраїнській науково-методичній конференції «Могилянські читання – 2018» у

секції Комп'ютерні науки за темою «Методи багатокритерійного вибору технології бездротової передачі даних в IoT мережах».

**Структура магістерської наукової роботи.** Магістерська наукова робота складається із вступу, трьох розділів фахової частини, методичної частини, розділу з охорони праці та безпеці у надзвичайних ситуаціях, висновків, додатків. Загальний обсяг роботи складає \_\_\_\_ сторінки, \_\_\_\_ рисунків, \_\_\_\_ таблиць та \_\_\_\_ посилань на літературні джерела.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано загальну характеристику досліджуваної теми, обґрунтовано актуальність магістерського дослідження, сформульовано мету, об'єкт, предмет, завдання, подано інформацію про апробацію роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану та проблеми вибору технології бездротової передачі даних в IoT мережах.

В останній час бездротові передачі даних стають все більш популярними. Широке використання бездротових мереж обумовлено тим, що вони можуть використовуватися не тільки на персональних комп'ютерах, а й телефонах, планшетах і ноутбуках, при розумній ціні, зручності та забезпечують достатню для більшості програм швидкість передачі даних. Основною перевагою бездротових мереж є дозвіл реалізовувати мережевий проект у короткий термін і зменшити витрати на створення системи.

Передача даних за допомогою дротових мереж має свої недоліки: прокладання кабелю вимагає відносно великі фінансові витратами; обмеження по швидкості передачі інформації, що обумовлено фізичними особливостями кабелів та їх пропускну здатністю; зміна технічних параметрів ліній через окислення провідників та комутаційних стиків, вплив атмосферних явищ (дощу, морозів, сонця).

Задача вибору технології бездротової передачі даних є безумовно актуальною, оскільки на процес прийняття рішень можуть впливають різнотипні критерії, зокрема, якість і потужність сигналу передачі даних, захищеність технології, енергоефективність і т.д. В більшості випадків вибір технології бездротової передачі даних зводиться до порівняльного аналізу їх можливостей та врахування цінової політики. При цьому розробники IoT систем частіше всього віддають перевагу відомим технологіям бездротової передачі даних, не враховуючи при цьому критерії (фактори), які в майбутньому можуть вплинути на розвиток, підтримку, оновлення, надійність, безпеку та масштабування розроблених IoT систем. Невірною обраною технологія може призвести до різних втрат.

**Альтернативи** – це варіанти прийняття рішень. Під проблемною ситуацією прийнято вважати ту, яка має не менше двох варіантів рішень. Тобто, для створення задачі прийняття рішень необхідно хоча б дві альтернативи. *Незалежні альтернативи* альтернативи, дії з якими не впливають на якість інших альтернатив. *Залежні альтернативи* навпаки, рішення по одній з них впливають на інші. Наприклад, розглядаючи альтернативу з групи необхідно переглянути усю групу. Іншим типом залежності є залежність від альтернатив, що виключаються з розгляду. Наприклад, залежність страв у ресторані, які обирають від тих, які включені або виключені з меню. Також існує залежність від неіснуючих альтернатив. Так, образ ідеальної альтернативи, створеної людиною під час вибору може вплинути на вибір з реальних альтернатив, особливо якщо є надія на реалізацію ідеального варіанта.

Іноді всі альтернативи задані заздалегідь і необхідно лише обрати з них. Особливість таких задач полягає у замкнутій та нерозширеній кількості альтернатив. Але існують задачі, в яких усі альтернативи або їх частина не сформовані перед прийняттям рішення. Часто на основі таких альтернатив у процесі вибору виникають або нові альтернативи або сукупність вимог до існуючих альтернатив. Цей клас задач називають задачі з конструюючими альтернативами.

**Критерій** це ознака, за якою оцінюється альтернативи. Кількість критеріїв зазвичай більше одиниці у різних теоретичних побудовах і різних методах прийняття рішень. Сучасні методи прийняття рішень враховують всі особливості якості альтернатив, що суттєво наближує формальні схеми до реального світу. Тому зараз багатокритеріальний опис стає все більш популярним у використанні. Зазвичай, критерії оцінки не задані на початку аналізу проблеми, вони встановлюються ЛПР та експертами.

Критерії бувають залежні та незалежні. *Залежними* критеріями називають критерії, оцінка альтернативи яких визначає оцінку іншого критерію. Задачі прийняття рішень та методи їх рішення залежать від числа критеріїв. Якщо критеріїв не багато (скажімо два) задача порівняння двох альтернатив досить проста для ЛПР. Якщо критеріїв налічується багато задача стає не простою. У такому

випадку критерії об'єднуються в групи, які можна вважати *незалежними* з'являється ієрархія критеріїв.

Отже, виявлення альтернатив та структура критеріїв є першим важливим кроком задачі прийняття рішень.

### ***Інтернет речей та технології бездротової передачі даних***

**Інтернет речей** (англ. *Internet of Things, IoT*) – концепція мережі, яка включає в себе зв'язані між собою фізичні пристрої, в яких вбудовані давачі та сукупність програм, за допомогою яких можливий обмін інформацією між фізичним світом і комп'ютерними системами, використовуючи стандартні протоколи зв'язку. [ссылка] Мережа також може містити пристрої, що виконують певні дії, вбудовані у фізичні об'єкти і взаємопов'язані дротові чи бездротові мережі. Ці взаємопов'язані пристрої мають можливість зчитувати та приводити в дію, функцію програмування та ідентифікації, а також, завдяки інтелектуальним інтерфейсам людина може не приймати участі.

**Бездротові технології передачі даних** технології для передачі інформації, яка об'єднана одним фактором: відсутність необхідності підключення проводів для передачі інформації на відстань від одного пристрою до іншого. [ссылка] Для передачі даних використовуються інфрачервоне випромінювання, радіохвилі, оптичне або лазерне випромінювання.

У **другому розділі** розглянуто методи та підходи багатокритерійного прийняття рішень.

#### **Прямі методи**

У разі застосування таких методів залежність загальної корисності альтернативи від оцінок за окремими критеріями відома заздалегідь. Найчастіше використовують вид залежності, при якому визначають чисельні показники важливості критеріїв (тобто їх питома вага), множимо на оцінки за критеріями. Цей метод називається методом ***зваженої суми оцінок критеріїв***. З інших прямих методів необхідно назвати метод ***дерева рішень***. Через перегляд всіх варіантів вибору визначають альтернативні варіанти рішення. Для кожного альтернативного варіанту підраховують імовірності здійснення, які множать на сто цінність в грошах.

### Методи порогів непорівнянності

Застосування таких методів передбачає завдання правил порівняння двох альтернатив, при якому одна альтернатива вважається краще іншої. Відповідно до заданого правилом альтернативи підрозділяють (попарно) на порівнянні (одна краща за іншу, або вони еквівалентні) і незрівнянні. Змінюючи відносини порівнянності, отримують різне число пар порівнюваних альтернатив.

### Методи компенсації

При використанні методів компенсації оцінки однієї альтернативи намагаються врівноважити (компенсувати) оцінками іншої альтернативи. Це найбільш простий метод, при якому виписують переваги і недоліки кожної з альтернатив. Потім викреслюють попарно переваги (або недоліки) і вивчають те, що залишилося.

### Аксиоматичні методи

У цьому випадку визначають ряд властивостей, яким повинна задовольняти залежність загальної корисності альтернативи від оцінок за окремими критеріями. Ці властивості перевіряють шляхом отримання інформації від ЛПР. Відповідно з цією інформацією роблять висновок про ту чи іншу форму залежності.

**У третьому розділі** створюється структура інтелектуальної системи багатокритерійного вибору технології бездротової передачі даних.

Задача вибору технології бездротової передачі даних зводиться до задачі багатокритерійного прийняття рішень, що може бути представлена, як матриця рішень.

Експертам пропонується оцінити альтернативні рішення відповідно до зазначених критеріїв за допомогою 10-бальної шкали рейтингів (від 1 до 10), де 10 балів відповідає найбільшому (кращому) значенню альтернативного рішення за критерієм.

Таблиця 1. Матриця рішень для вибору технології бездротової передачі даних

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>6</sub>
Q <sub>1</sub>	6	9	8	9	10	8
Q <sub>2</sub>	8	8	7	9	9	6



Закінчення таблиці 1

	<b>E<sub>1</sub></b>	<b>E<sub>2</sub></b>	<b>E<sub>3</sub></b>	<b>E<sub>4</sub></b>	<b>E<sub>5</sub></b>	<b>E<sub>6</sub></b>
<b>Q<sub>3</sub></b>	7	8	6	8	8	7
<b>Q<sub>4</sub></b>	9	4	5	7	7	9
<b>Q<sub>5</sub></b>	10	9	8	6	10	6
<b>Q<sub>6</sub></b>	8	9	4	8	10	9

Найпростіший і розповсюджений спосіб комбінування вихідних критеріїв заснований на використанні лінійної згортки, яка має вигляд:

$$Q(E_i) = \sum_{j=1}^n \omega_j Q_j(E_i) \Rightarrow \text{Max}; E_i \in E; \omega_j > 0; \sum_{j=1}^n \omega_j = 1;$$

Таблиця 2. Лінійна згортка

	<b>Швидкість</b>	<b>Частотний діапазон</b>	<b>Захищеність</b>	<b>Кількість вузлів</b>	<b>Радіус дії</b>	<b>Енергоефективність</b>	<b>Результат лінійної згортки</b>
<b>ZigBee</b>	6	9	8	9	10	8	18,3
<b>Wi-Fi</b>	8	8	7	9	9	6	16,25
<b>Bluetooth</b>	7	8	6	8	8	7	12,39
<b>Z-Wave</b>	9	4	5	7	7	9	17,43
<b>Wi-MAX</b>	10	9	8	6	10	6	19,67
<b>Classic WaveLAN</b>	8	9	4	8	10	9	18,41

Більш універсальною, з точки зору області застосування є нелінійна згортка, яка має вигляд:

$$Q(E_i) = \min_{i=1..m} \omega_i Q_j(E_i) \Rightarrow \text{Max}; E_i \in E; \omega_i > 0; \sum_{j=1}^n \omega_j = 1$$

Таблиця 3. Максимінна згортка

	Швидкість	Частотний діапазон	Захищеність	Кількість вузлів	Радіус дії	Енергоефективність	Результат максимінної згортки
<b>ZigBee</b>	6	9	8	9	10	8	1,4
<b>Wi-Fi</b>	8	8	7	9	9	6	1,26
<b>Bluetooth</b>	7	8	6	8	8	7	1,12
<b>Z-Wave</b>	9	4	5	7	7	9	0,84
<b>Wi-MAX</b>	10	9	8	6	10	6	1,4
<b>Classic WaveLAN</b>	8	9	4	8	10	9	0,84

### Мультиплікативна згортка

Іншим варіантом скаляризації критеріїв є мультиплікативна згортка:

$$Q(E_i) = \prod_{j=1}^n (Q_j(E_i))^{\omega_j} \Rightarrow \text{Max}; E_i \in E; \omega_i > 0; \sum_{j=1}^n \omega_j = 1$$

Таблиця 4. Мультиплікативна згортка

	Швидкість	Частотний діапазон	Захищеність	Кількість вузлів	Радіус дії	Енергоефективність	Результат мультиплікативної згортки
<b>ZigBee</b>	6	9	8	9	10	8	105,96
<b>Wi-Fi</b>	8	8	7	9	9	6	74,04

Закінчення таблиці 4

	Швидкість	Частотний діапазон	Захищеність	Кількість вузлів	Радіус дії	Енергоефективність	Результат мультиплікативної згортки
<b>Bluetooth</b>	7	8	6	8	8	7	42,75
<b>Z-Wave</b>	9	4	5	7	7	9	97,70
<b>Wi-MAX</b>	10	9	8	6	10	6	126,36
<b>Classic WaveLAN</b>	8	9	4	8	10	9	109,30

### Метод ідеальної точки

Знайдемо координати ідеальної точки як максимальні значення усіх критеріїв.

Вона має наступні координати:

$$Q^* = (Q_1^*, Q_2^*, Q_3^*, Q_4^*, Q_5^*, Q_6^*) = (10, 9, 8, 9, 10, 10)$$

Ідеальна точка не еквівалентна жодному з альтернативних рішень, тому необхідно знайти відстані між альтернативами й ідеальною точкою, використовуючи Евклідову метрику. Альтернатива, яка має найменшу відстань, буде оптимальною.

Відстані між векторами для всіх альтернатив й ідеального вектора наведені в таблиці 5 на основі метрик Евкліда, Хеммінга та Чебишова.

Таблиця 5. Порівняння відстаней між векторами для всіх альтернатив й ідеального вектора, заснованого на метриках Евкліда, Хеммінга та Чебишова

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>6</sub>
<b>Евклідова відстань</b>	4,69	6,86	9,70	5,92	3,74	6,86
<b>Хемінгова відстань</b>	8	13	22	13	6	15
<b>Чебишова відстань</b>	4	6	6	4	3	4

Мінімальна відстань дорівнює 3.74, 6, 3. Всі показники відносяться до альтернативи  $E_5$ .

Отже, підводячи підсумки за методами згортання та методом ідеальної точки з різними метриками, маємо такі оптимальні альтернативи:  $E_5, E_1, E_5, E_5, E_5, E_5$

Таким чином, альтернатива  $E_5$  (WiMax) є оптимальним рішенням для даного завдання в мережі IoT.

**У четвертому розділі** під назвою Методична частина розроблено лекцію з теми «Агенти як пристрої на базі IoT та їх взаємодія» та лабораторну роботу з теми «Багатокритерійна оптимізація методом ідеальної точки».

**У п'ятому розділі** під назвою Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях, створено безпечні та здорові умови праці на робочих місцях у виробничих приміщеннях. Опрацьовано питання умов праці, гігієни праці і виробничої санітарії, техніки безпеки, пожежної безпеки.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській науковій роботі (МНР) досягнуто мету поставлену на початку виконання роботи. Та виконано всі завдання.

У процесі виконання магістерської наукової роботи досліджено методи багатокритерійного вибору технології бездротової передачі даних в IoT мережах.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан, розглянуто особливості та проблеми вибору технології бездротової передачі даних в IoT мережах. Проведено дослідження для пошуку існуючих систем багатокритерійного оцінювання. Поставлено перед собою мету роботи, визначено предмет та об'єкт дослідження, подано інформацію про апробацію роботи.

У другому розділі було розглянуто існуючі методи та підходи для реалізації задачі. Наведенні формули критеріїв та здійснений пошук методів для вибору найоптимальнішого методу для якісного вибору бездротової технології.

У третьому розділі обрано методи, за якими і буде здійснюватись обрахунок. Це методи згортання (лінійна, максимінна та мультиплікативна згортки) та метод ідеальної точки з метриками (Евкліда, Хемінга, Чебишова). Також цей розділ присвячений розробці структури інформаційної системи для вибору технології бездротової передачі даних в IoT мережах на основі методів багатокритерійного прийняття рішень.

У четвертому розділі під назвою Методична частина розроблено лекцію з теми «Агенти як пристрої на базі IoT та їх взаємодія» та лабораторну роботу з теми «Багатокритерійна оптимізація методом ідеальної точки».

Останнім розділом є розділ під назвою Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях, у якому створено безпечні та здорові умови праці на робочих місцях у виробничих приміщеннях. Опрацьовано питання умов праці, гігієни праці і виробничої санітарії, техніки безпеки, пожежної безпеки.

## АНОТАЦІЯ

**Крапівіна Ганна Сергіївна. Дослідження методів багатокритерійного вибору технології бездротової передачі даних в IoT мережах.** – На правах рукопису.

Магістерська наукова робота на здобуття освітньої кваліфікації «Магістр системного аналізу». – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, 2019.

**Об'єкт дослідження:** процес багатокритерійного вибору технології бездротової передачі даних.

**Предмет дослідження:** методи багатокритерійного вибору та прийняття рішень.

**Мета роботи:** підвищення ефективності прийняття рішень при різних вхідних даних технології бездротової передачі даних та умовах функціонування IoT мереж.

У процесі виконання магістерської наукової роботи досліджено методи багатокритерійного вибору технології бездротової передачі даних в IoT мережах, розроблено структуру інформаційної системи для вибору технології бездротової передачі даних в IoT мережах на основі методів багатокритерійного прийняття рішень.

Проаналізовано сучасний стан, розглянуто особливості та проблеми вибору технології бездротової передачі даних в IoT мережах. Проведено дослідження для пошуку існуючих систем багатокритерійного оцінювання. Розглянуто існуючі методи та підходи для реалізації задачі. Наведенні формули критеріїв та здійснений пошук методів для вибору найоптимальнішого методу для якісного вибору бездротової технології.

*Ключові слова:* IoT, бездротові технології передачі даних, багатокритерійна оптимізація, прийняття рішень

## ABSTRACT

**Hanna Krapivina. Investigation of methods of multicriteria selection of wireless data transmission technology in IoT networks.** On the rights of the manuscript.

Master's scientific work on obtaining an educational qualification "Master of System Analysis". Black Sea National University named after Petro Mohyla, Nikolaev, 2019.

**Object of research:** the process of multicriteria selection of wireless data technology.

**Subject of research:** methods of multicriteria selection and decision-making.

The purpose of the work: to increase the efficiency of decision-making with different incoming data wireless data technology and the conditions of operation of IoT networks.

During the implementation of the master's scientific work the methods of multi-criteria choice of wireless data transmission technology in IoT networks were investigated, the structure of the information system for the choice of wireless data transmission technology in IoT networks was developed on the basis of multicriteria decision making methods.

The present state is analyzed, features and problems of the choice of wireless data transmission technology in IoT networks are considered. The research was conducted to find existing systems of multi-criteria evaluation. Existing methods and approaches for realization of the problem are considered. Referring to the formula of the criteria and activated searching of methods for choosing the most optimal method for qualitative selection of wireless technology.