



## ПОШУК МАРШРУТУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У БЕЗПРОВІДНІЙ СЕНСОРНІЙ МЕРЕЖІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

Я. Пиріг <sup>[ORCID: 0009-0001-2104-8439]</sup>

*Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна*

Відповідальний за рукопис: Ярослав Пиріг (e-mail: yaroslavpyrig@gmail.com)

*(Подано 08 червня 2024)*

Робота присвячена застосуванню генетичного алгоритму для визначення оптимального маршруту у безпроводній сенсорній мережі. Наведено класифікацію стратегій маршрутизації даних на основі: способу визначення маршрутів, структури мережі, мережевих операцій, організатора комунікацій. Генетичний алгоритм віднесено до багатошляхової маршрутизації, оскільки його використання дозволяє отримати множину маршрутів. Відповідно, коли передача даних по найкращому маршруту неможлива, доступною є інформація із множини маршрутів, що дозволяє отримати альтернативні рішення у випадку виходу з ладу основного. Наведено основні етапи роботи генетичного алгоритму: відбір, схрещування та мутація, при цьому значну увагу приділено налаштуванню його параметрів, зокрема розміру популяції, кількості поколінь, імовірності схрещування та імовірності мутації. Для визначення маршруту у безпроводній сенсорній мережі використано наступну сукупність генетичних операторів: турнірний оператор відбору, впорядкований оператор схрещування та оператор мутації перемішування, та сформовано функцію для оцінки пристосованості кожної особини (маршруту). Для перевірки працездатності представленого генетичного алгоритму розроблено програмний продукт на мові програмування Python із використанням бібліотеки DEAP. Змодельовано мережу із 25 вузлів, розміщених випадковим чином на ділянці розміром 100 на 100, при цьому кожен із них має радіус дії 30 метрів. Для врахування неможливості передачі даних між вузлами із більшим радіусом дії за заданий використано штраф на відстань 1000 метрів, що спонукає генетичний алгоритм шукати більш короткі маршрути. Представлено матрицю вузлів розглянутої мережі, що містить інформацію про топологію та взаємозв'язки між вузлами. На основі результатів імітаційного моделювання показано, що найкоротший маршрут між двома розглянутими вузлами встановлено при кількості поколінь 150 та розміру популяції 300. Також отримані результати демонструють лінійне зростання часу пошуку маршруту при збільшенні кількості поколінь та розміру популяції.

**Ключові слова:** *генетичний алгоритм, маршрут, безпроводна сенсорна мережа, генетичний оператор.*

**УДК:** 519.876

### 1. Вступ

У наш час сенсорні мережі (СМ) широко використовуються у багатьох галузях, зокрема медицині, промисловості, сільському господарстві, транспорті тощо. В умовах постійного зростання об'єму даних та кількості мережевих вузлів, ефективне управління трафіком є важливим

завданням, яке безпосередньо впливає на продуктивність роботи СМ [1]. Мережі цього типу є гетерогенними у випадку об'єднання пристроїв, які використовують різні технології зв'язку, обчислювальні можливості тощо.

Вибір оптимального маршруту забезпечує доставку інформації між відправником і одержувачем із дотриманням необхідних вимог до якості обслуговування. Для збору даних в СМ використовуються малопотужні пристрої (сенсорні вузли) з обмеженим радіусом дії, який залежить від типу мережі та її вимог, наприклад місця збору даних (приміщення чи відкрита місцевість) [2,3]. Робота таких пристроїв безпосередньо пов'язана із енергією, величина споживання якої залежить від типу сенсора, технології зв'язку, типу виконуваних операцій щодо даних тощо [4,5].

Варто зауважити, що більшість сенсорних вузлів отримують живлення від батарей, які мають обмежений ресурс. Для формування оптимального маршруту передачі даних у СМ потрібно врахувати різні фактори в залежності від конкретного випадку, наприклад топологію мережі, енергоспоживання, мобільність вузлів тощо. Відповідно для ефективного функціонування СМ потрібне використання підходу, що дозволить здійснювати моніторинг та адаптацію маршрутів при динамічно змінних умовах [6-8].

В останнє десятиліття широкого використання набули генетичні алгоритми (ГА), які використовуються для різних оптимізаційних задач, зокрема і пошуку маршруту у мережах. Концепція цього виду алгоритмів базується на теорії еволюції Дарвіна, суть якої у виживанні найбільш пристосованих видів. Кожне потенційне рішення (особина) у ГА розглядається як хромосома, для оцінки придатності якої використовується цільова функція (фітнес-функція). Завдяки стохастичній природі, яка полягає у використанні генетичних операторів, ГА зберігає найкращі рішення в кожному поколінні і використовує їх для подальшого покращення, що дозволяє підвищувати якість популяції [9-12].

Таким чином, дослідження застосування генетичного алгоритму для пошуку маршрутів у безпроводних сенсорних мережах є актуальним.

## 2. Стратегії маршрутизації даних в сенсорних мережах

Стратегія маршрутизації визначає загальний підхід для вибору маршруту передавання даних на основі певних критеріїв: відстань, затримка, енергоспоживання тощо, в залежності від різноманітних вимог та характеристик СМ. Відповідно є різні класифікації стратегій маршрутизації, які дозволяють забезпечити оптимальне функціонування мережі в різних умовах та для різних додатків [13-16], найбільш поширені із яких представлені на рис. 1.

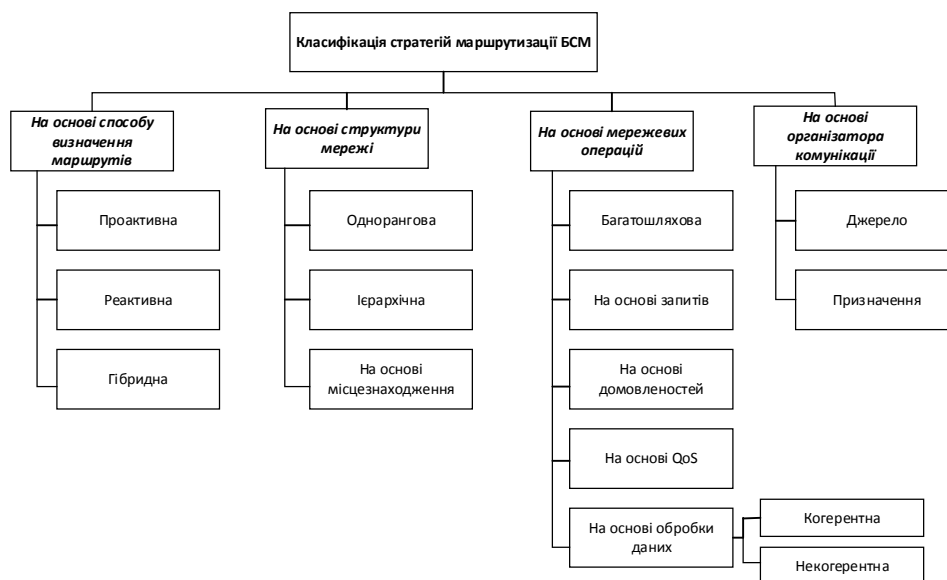


Рис. 1. Класифікація стратегій маршрутизації даних у безпроводних сенсорних мережах (БСМ)

Детально розглянемо багатошляхову маршрутизацію, до якої належить генетичний алгоритм, що є предметом дослідження.

Багатошляхова маршрутизація базується на використанні декількох маршрутів для підвищення ефективності роботи мережі з точки зору надійності і стійкості до відмов, оскільки у випадку відмови одного маршруту, дані будуть передані іншим. Для коректної роботи даної стратегії мережеві вузли повинні здійснювати постійний моніторинг стану мережі і доступності маршрутів, отримуючи інформацію про затримки, перешкоди тощо, на основі якої приймається рішення про вибір оптимального маршруту. У випадку недоступності маршруту чи певної зміни у стані мережі, відбувається динамічне оновлення множини маршрутів.

Основні переваги багатошляхової маршрутизації обумовлюються формуванням декількох маршрутів, до них відносять надійність процесу передачі даних та адаптивність до змін у мережі (наприклад вихід з ладу / додавання певних вузлів / маршрутів, перевантаження тощо).

До недоліків відносять:

- складність управління мережею, оскільки підтримка множини маршрутів потребує більш складних алгоритмів маршрутизації;

- більші вимоги до обчислювальних ресурсів, що обумовлено необхідністю зберігання і підтримки інформації про багатошляхові маршрути (більший розмір таблиці маршрутизації тощо).

Багатошляхова маршрутизація є ефективною стратегією для різних типів мереж, особливо тих, де важлива надійність.

Отже, різноманітність стратегій маршрутизації відображає різні вимоги та виклики для БСМ, зокрема обмежені ресурси, динамічно змінну топологію, вимоги до якості обслуговування. Вибір певної стратегії важливий для забезпечення ефективної та надійної роботи мережі.

### 3. Основні етапи роботи генетичного алгоритму

В основі функціонування ГА можна виділити 4 основні етапи:

- Початкова популяція, яка представляє набір особин, що є можливими рішеннями розв'язуваної задачі. Мета цього етапу полягає у забезпеченні початкової різноманітності популяції, що дозволить досліджувати широкий діапазон можливих рішень.

Отже, початкова популяція є стартом для еволюційного процесу, під час якого до особин будуть застосовуватись генетичні оператори.

- Відбір, що здійснює вибір особин з поточної популяції для формування наступного покоління. На цьому етапі кожній особині присвоюється оцінка, яка відображає її якість. Після того, як всі особини оцінені, ГА використовує певний оператор відбору для вибору кращих з них. Це дозволяє уникнути занадто швидкої збіжності до локальних мінімумів і зберігає різноманіття в популяції, що сприяє збільшенню імовірності знаходження глобально оптимального рішення.

- Схрещування, яке відтворює природний процес генетичної рекомбінації, що сприяє еволюції, підвищуючи шанси на виживання більш пристосованих особин. Метою цього етапу є створення нових особин на основі комбінації більш якісних батьківських особин, що сприяє уникненню застрягання в локальних оптимумах, які можуть виникати внаслідок обмеженого дослідження простору можливих рішень.

- Мутація, яка здійснює випадкове внесення змін у генетичні характеристики потенційних рішень для розвитку різноманітності, що є важливим для забезпечення ефективного пошуку оптимального рішення.

Для налаштування роботи ГА є 4 основні параметри:

- розмір популяції  $N$  – це загальна кількість особин, які формують популяцію. Кожна така особина в популяції представляється хромосомою. Отже, цим параметром задається кількість особин, які будуть досліджуватись ГА одночасно для вирішення задачі.

Вибір розміру популяції залежить від складності розв'язуваної задачі та доступних обчислюваних ресурсів, відповідно його значення обирається експериментальним шляхом. При цьому більша кількість особин у популяції дозволяє краще досліджувати простір пошуку і підвищує імовірність знаходження глобально оптимального розв'язку.

- кількість поколінь  $G$  – це величина, яка визначає кількість ітерацій, протягом яких відбувається еволюція особин популяції. Вибір її значення залежить від складності задачі, обсягу вхідних даних, обчислювальних ресурсів та бажаної точності розв'язку, зокрема більша кількість поколінь дає можливість алгоритму знаходити більш оптимальні розв'язки.

- імовірність схрещування  $p_{cross}$  є величиною в діапазоні від 0.0 до 1.0, яка показує як часто відбувається обмін генетичним матеріалом між хромосомами в популяції. Якщо імовірність схрещування становить 0.0, то це означає, що нове покоління буде створено копіюванням усіх особин із поточного покоління, крім тих, які виникнуть внаслідок мутації (у випадку її застосування).

- імовірність мутації  $p_{mut}$  є величиною в діапазоні від 0.0 до 1.0, яка визначає кількість хромосом, які повинні мутувати в одному поколінні.

### 3. Сформований генетичний алгоритм

Для формування ефективного ГА із врахуванням специфіки роботи безпроводних сенсорних мереж здійснено вибір генетичних операторів та сформовано функцію для оцінки пристосованості кожної особини (маршруту).

Блок-схема сформованого ГА для розв'язання задачі маршрутизації даних представлена на рис. 1.

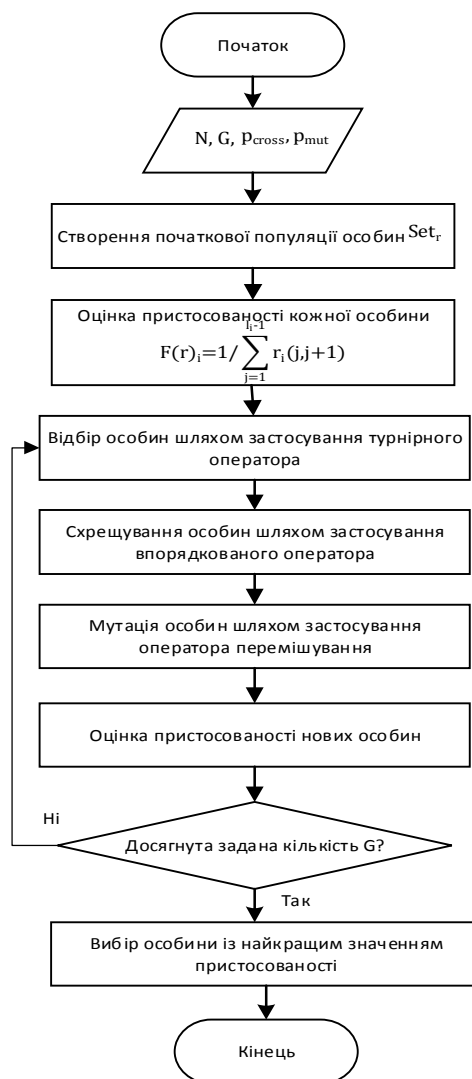


Рис. 1. Блок-схема сформованого ГА

Коротко розглянемо особливості функціонування використаних генетичних операторів. Оператор турнірного відбору полягає у «змаганнях» між собою двох або більше випадково вибраних особин. Кількість таких особин визначає розмір турніру. Переможцем такого «змагання» є індивідум із найкращою пристосованістю, що переходить до наступного покоління (рис. 2).

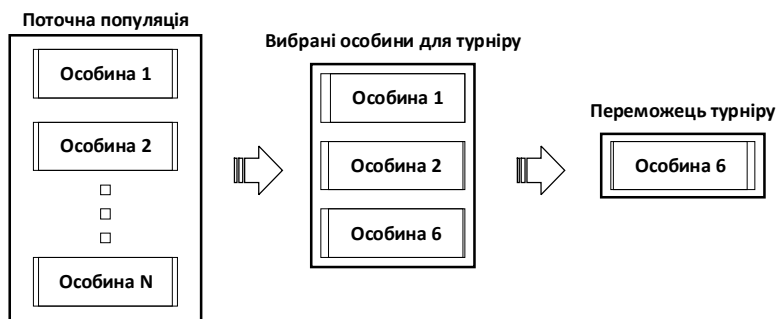


Рис. 2. Приклад роботи турнірного оператора відбору

На практиці, перевага надається невеликому розміру турніру, оскільки це дозволяє підтримувати різноманітність у популяції. Розмір турніру  $k$  є параметром, який може бути налаштований для досягнення оптимального балансу між різноманітністю та удосконаленням існуючих рішень. У більшості робіт  $k$  становить 2 або 3.

Оператор впорядкованого схрещування характеризується зберіганням порядку генів у батьківських особинах. Це може бути корисно, наприклад, у випадках, коли порядок генів важливий для правильної інтерпретації генетичної інформації, зокрема в задачах, пов'язаних з послідовностями, рядками, тощо.

У батьківських особинах визначається одна чи кілька точок схрещування, які розділяють відповідні генетичні послідовності на частини для обміну. Ці частини обмінюються між батьківськими особинами, а інші частини залишаються незмінними. Таким чином, порядок генів у кожній з генетичних послідовностей залишається впорядкованим. Процес роботи впорядкованого оператора схрещування представлено на рис. 3.

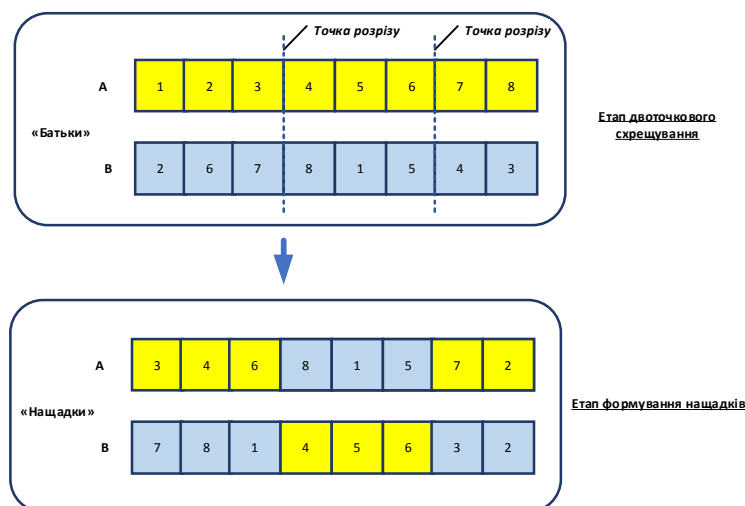


Рис. 3. Процес роботи впорядкованого оператора схрещування

Першим етапом є застосування двоточкового схрещування зі випадково вибраними точками розрізу. Після цього відбувається заповнення генів кожного нащадка шляхом обходу генів батьківських особин в їх первинному порядку, починаючи з наступного після другої точки розрізу. У першому з батьків  $A$  у цій позиції перебуває 7, цього числа ще немає в нащадку, тому додаємо його.

Наступним числом розглянутої батьківської хромосоми є 8, проте дане число уже є в нащадку А, тому переходимо до числа 1, яке також уже є у нащадку. Наступним числом є 2, оскільки його немає у нащадку, то записуємо його. Аналогічно заповнюємо решту вільних генів нащадків. В підсумку отримуємо хромосоми нащадків, що представлені на рис. 3.

Оператор мутації перемішування (перетасування) змінює порядок генів у вибраній послідовності випадковим чином. Процес роботи цього оператора представлено на рис. 4.

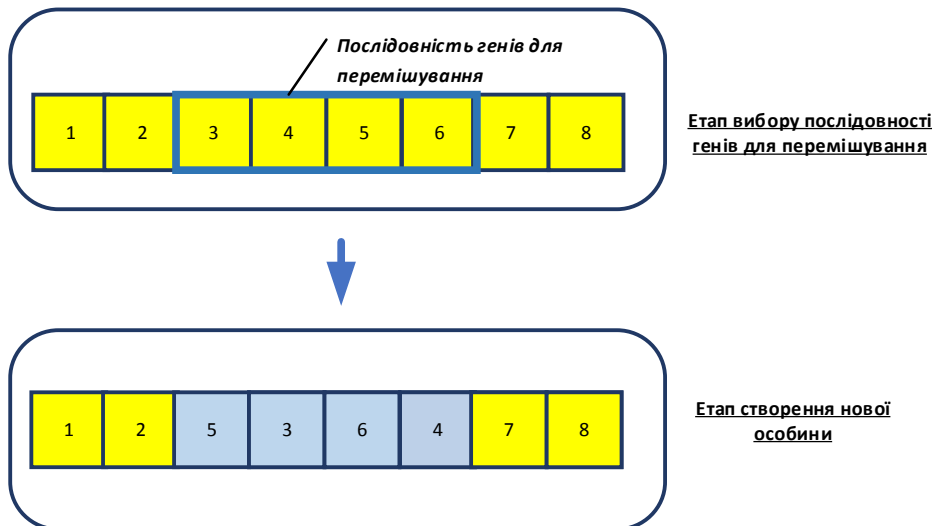


Рис. 4. Процес роботи оператора перемішування

Пристосованість особини обернено пропорційна вазі маршруту.

Варто зауважити, що вагою може бути будь-яка величина, наприклад відстань, енергетичний запас вузлів, відношення сигнал/шум тощо.

Підсумовуючи вищенаведене, ГА можна віднести до стратегії багатошляхової маршрутизації, оскільки його використання дозволяє отримати множину маршрутів. Відповідно, коли передача даних по найкращому маршруту неможлива, доступною є інформація із множини маршрутів, що дозволяє отримати альтернативні рішення, зокрема при виході з ладу основного.

#### 4. Результати імітаційного моделювання

Для перевірки працездатності представленого ГА здійснено моделювання шляхом застосування розробленого програмного продукту на мові програмування Python із використанням бібліотеки DEAP. При цьому було використано такі значення:  $N=300; 400; 500; 600$ ;  $G=50 \div 600$  із кроком 50;  $p_{\text{cross}}=0.8$ ;  $p_{\text{mut}}=0.2$ . Значення  $p_{\text{cross}}$  та  $p_{\text{mut}}$  вибрано на основі аналізу відповідних параметрів у роботах [17,18]. Розмір популяції та кількість поколінь вибрано експериментально.

Варто зауважити, що параметри ГА потрібно налаштовувати із урахуванням конкретних потреб застосування сенсорної мережі, наприклад, для мережі моніторингу даних у важкодоступних умовах можуть бути встановлені параметри, що сприяють мінімізації енергоспоживання та підвищенню надійності. Підбір параметрів є важливим аспектом для забезпечення ефективної маршрутизації даних відповідно до поточних вимог.

Для моделювання використано 25 вузлів, розміщених випадковим чином в умовах вільного простору на ділянці, розміром  $100 \times 100$  м (рис. 5). Радіус дії кожного вузла – 30 м, якщо вузол віддалений від іншого вузла на більшу відстань, то передача даних неможлива.

У зв'язку з цим для такого випадку введено штраф на відстань – 1000 м, що спонукає ГА шукати більш короткі маршрути.

На рис. 6 представлено матрицю вузлів розглянутої мережі, що містить інформацію про топологію та взаємозв'язки між вузлами.

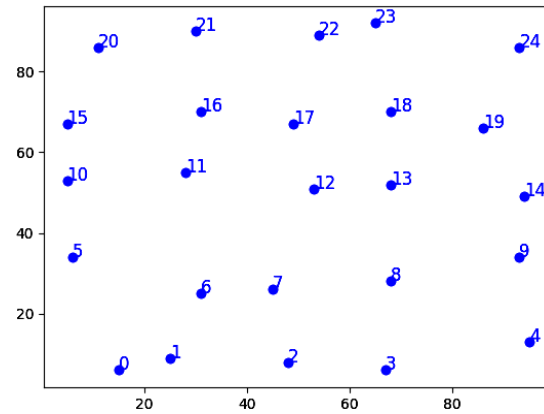


Рис. 5. Топологія досліджуваної мережі

Distance Matrix																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0	10	1000	1000	1000	29	24	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2	10	0	23	1000	1000	1000	17	26	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
3	1000	23	0	19	1000	1000	24	18	28	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
4	1000	1000	19	0	28	1000	1000	29	22	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
5	1000	1000	1000	28	0	1000	1000	1000	30	21	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
6	29	1000	1000	1000	1000	0	26	1000	1000	1000	19	30	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
7	24	17	24	1000	1000	26	0	14	1000	1000	1000	30	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
8	1000	26	18	29	1000	1000	14	0	23	1000	1000	1000	26	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
9	1000	1000	28	22	30	1000	1000	23	0	25	1000	1000	27	24	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
10	1000	1000	1000	1000	21	1000	1000	1000	25	0	1000	1000	1000	30	15	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
11	1000	1000	1000	1000	1000	19	1000	1000	1000	1000	0	23	1000	1000	1000	14	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
12	1000	1000	1000	1000	1000	30	30	1000	1000	1000	23	0	25	1000	1000	1000	25	15	24	1000	1000	1000	1000	1000	1000
13	1000	1000	1000	1000	1000	1000	26	27	1000	1000	25	0	15	1000	1000	29	16	24	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
14	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	24	30	1000	1000	15	0	26	1000	1000	24	18	22	1000	1000	1000	1000	1000
15	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	15	1000	1000	1000	26	0	1000	1000	1000	1000	18	1000	1000	1000	1000	1000
16	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	14	25	1000	1000	1000	0	26	1000	1000	1000	19	1000	1000	1000	1000
17	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	15	29	1000	1000	26	0	18	1000	1000	25	20	29	1000	1000
18	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	24	16	24	1000	1000	18	0	19	1000	1000	29	22	29	1000
19	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	24	18	1000	1000	1000	19	0	18	1000	1000	23	22	29
20	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	22	18	1000	1000	1000	18	0	1000	1000	1000	1000	21
21	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	19	25	1000	1000	1000	0	19	1000	1000	1000
22	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	20	29	1000	1000	19	0	24	1000	1000
23	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	29	22	23	1000	1000	24	0	11	1000
24	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	29	22	23	1000	1000	1000	11	0	28
25	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	29	22	23	1000	1000	1000	28	0	0

Рис. 6. Матриця вузлів для сенсорної мережі із 25 вузлів

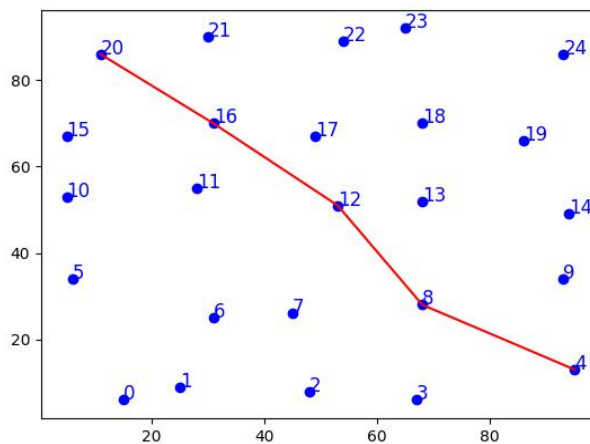


Рис. 7. Отриманий маршрут найменшої довжини між 4 і 20 вузлом

Таблиця 1

Отримані результати пошуку маршруту (відстань / час) між 4 та 20 вузлом при  $k=3$ 

Кількість поколінь	Розмір популяції			
	300	400	500	600
50	1000 / 7.674	1000 / 9.769	1000 / 11.716	1000 / 14.106
100	1000 / 13.775	1000 / 17.990	121 / 22.007	1000 / 26.025
150	111 / 18.477	111 / 25.339	121 / 30.317	111 / 36.875
200	111 / 24.222	111 / 32.643	116 / 40.696	111 / 48.393
250	111 / 30.230	111 / 41.328	116 / 52.776	111 / 61.160
300	111 / 37.335	111 / 48.937	116 / 60.752	111 / 72.612
350	111 / 42.361	111 / 56.537	116 / 70.739	111 / 85.025
400	111 / 49.483	111 / 65.444	116 / 80.583	111 / 97.175
450	111 / 55.017	111 / 73.323	116 / 91.222	111 / 110.051
500	111 / 62.742	111 / 81.001	116 / 100.910	111 / 121.410
550	111 / 67.932	111 / 88.989	116 / 111.296	111 / 134.318
600	111 / 72.875	111 / 100.076	116 / 121.602	111 / 145.762

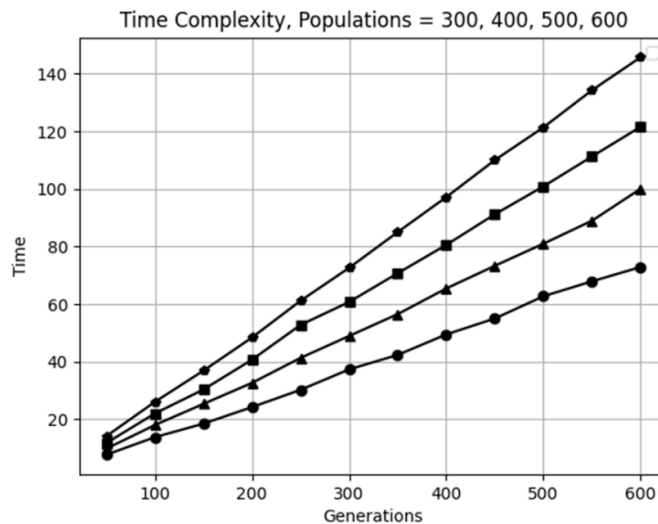


Рис.8. Часова складність ГА

На основі застосування ГА здійснено визначення маршруту для передачі даних від 4 до 20 вузла (рис. 7). Отримані результати представлено у таблиці 1.

Графічно представлено оцінку часової складності ГА при пошуку маршруту між розглянутими вузлами (рис. 8). Відповідний математичний апарат наведено у [19]. Як бачимо, при збільшенні кількості поколінь часова складність алгоритму зростає лінійно. На основі даних, представлених у таблиці 1, найкоротший шлях між 4 та 20 вузлом є [4;8;12;16;20], при цьому відстань становить 111 м, а час пошуку такого маршруту – 18.477 с. Із зростанням кількості поколінь та розміру популяції час пошуку маршруту збільшується лінійно. Для даного випадку оптимальним варіантом є комбінація невеликої кількості поколінь (150) та середнього розміру популяції (300), що дозволило досягти оптимальних результатів.

## Висновки

У роботі розглянуто стратегії маршрутизації даних для безпроводних сенсорних мереж. Наведено сформований генетичний алгоритм для пошуку маршруту між мережевими вузлами. Розроблено програмний продукт на мові програмування Python із використанням бібліотеки DEAP для перевірки працездатності представленого алгоритму. Створено мережу із 25 вузлів, кожен із



яких характеризується радіусом дії 30 м. Представлено матрицю вузлів розглянутої мережі, що містить інформацію про топологію та взаємозв'язки між вузлами. На основі результатів імітаційного моделювання показано, що найкоротший шлях між 4 та 20 вузлом встановлено при кількості поколінь 150 та розміру популяції 300. Продемонстровано, що час пошуку шляху при використанні генетичного алгоритму лінійно зростає із збільшенням кількості поколінь та чисельності популяції.

### Список використаних літературних джерел

- [1] Chen, G., & Hu, H.-X. (2022). *Finding the Optimal Network Topology for the Distributed Multi-Short-Paths Routing Algorithm – A Genetic Algorithm-Based Approach*. 2022 *Int. Conference on Intelligent Systems and Computational Intelligence, China*, pp. 35-38. doi: 10.1109/ICISCI53188.2022.9941373.
- [2] Chai, Y. & Zeng, X.J. (2019). *An effective routing with delay minimization for multi-hop wireless mesh network*, *IEEE Global Communications Conference*. pp. 1-6, doi: 10.1109/GLOBECOM38437.2019.9013776.
- [3] Praveen, J. S., & Kumanan. T. (2024). *Link Loss Identification and Congestion-Aware Routing in Mobile Wireless Sensor Network*, 2024 *2nd International Conference on Device Intelligence, Computing and Communication Technologies, India*, pp. 585-589, doi: 10.1109/DICCT61038.2024.10532948.
- [4] Gripsy, J.V., & Jayanthiladevi, A. (2023). *Energy Optimization and Dynamic Adaptive Secure Routing for MANET and Sensor Network in IoT*, 2023 *7th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, Erode, India, pp. 1283-1290, doi: 10.1109/ICCMC56507.2023.10083519.
- [5] Ahuvala, S., Reddy, G., Al-Jawahry, H.M., Ramadan, G.M., & Pareek, P.K. (2023). *Improved Sail Fish Optimizer for Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Network*, 2023 *Int. Conference on Integrated Intelligence and Communication Systems, India*, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICIICS59993.2023.10421391.
- [6] Joshi, R. D., & Banu S. (2023). *Brief Survey on Wireless Sensor Network Routing*, 2023 *7th International Conference on Computation System and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS)*, Bangalore, India, pp. 1-8, doi: 10.1109/CSITSS60515.2023.10334097.
- [7] Bairagi, P.P., Dutta, M., & Babulal, K.S. (2022). *Location based Routing Protocols and its Performances in Wireless Sensor Networks: An Investigation*, 2022 *3rd International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems, India*, pp. 583-590, doi: 10.1109/ICESC54411.2022.9885717.
- [8] Anitha, T., & Sridhar, S. (2023). *Novel Improved Communication Steadiness Routing for Wireless Sensor Network's Performance Analysis compared with Network Boundary Maintenance Routing*, 2023 *International Conference on Artificial Intelligence and Knowledge Discovery in Concurrent Engineering (ICECONF)*, Chennai, India, pp. 1-8, doi: 10.1109/ICECONF57129.2023.10083655.
- [9] Mishra, J., Bagga, J., Choubey, S., & Gupta, I.K. (2017). *Energy optimized routing for wireless sensor network using elitist genetic algorithm*, 2017 *8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies, India*, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICCCNT.2017.8204110.
- [10] Pyrih, Y., Kaidan, M., Tchaikovskiy, I., & Pleskanka, M. (2019). *Research of Genetic Algorithms for Increasing the Efficiency of Data Routing* 2019 *3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, pp. 157-160, doi: 10.1109/AICT.2019.8847814.
- [11] Rares, M. (2015). *Adaptive mutation in genetic algorithms for shortest path routing problem*, 2015 *7th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, Bucharest, Romania, pp. 69-74, doi: 10.1109/ECAI.2015.7301163.
- [12] Пуріг, Я., Климаш, М., Пуріг, Ю., & Лаврів, О. (2023). *Генетичний алгоритм як засіб розв'язання оптимізаційних задач. Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія, №3(2), с. 95-107.*
- [13] Bai, Y. et al. (2022). *A Deep Reinforcement Learning-Based Geographic Packet Routing Optimization*, in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 108785-108796, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3213649.
- [14] Wang, D., & Li, B. (2015). *Analysis of a local routing in scale-free networks*, 27th *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Qingdao, China, pp. 1936-1939, doi: 10.1109/CCDC.2015.7162236.
- [15] Min, J., Kim, W., Paek, J., & Govindan, R. (2024). *Effective Routing and Scheduling Strategies for Fault-Tolerant Time-Sensitive Networking*, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 11, no. 6, pp. 11008-11020, doi: 10.1109/JIOT.2023.3328626.
- [16] Rani, S., Beniwal, R., & Saini, K. (2023). *Performance Evaluation on Various Routing Strategies in IoT*, 2023 *9th International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC)*, NOIDA, India, pp. 139-144, doi: 10.1109/ICSC60394.2023.10441445.

- [17] Sun, W. (2019). *Data link network resource allocation method based on genetic algorithm*, 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC): proceedings. Chengdu, China, P. 1875-1880.
- [18] Gao, M. (2020). *Opposite and Chaos Searching Genetic Algorithm Based for UAV Path Planning*, 2020 IEEE 6th International Conference on Computer and Communications, China, P. 2364-2369.
- [19] Пиріг, Я. (2024). *Оцінка обчислювальної складності генетичного алгоритму. Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія, №4(1), с. 52-60.*

## SEARCH FOR A DATA TRANSMISSION ROUTE IN A WIRELESS SENSOR NETWORK USING A GENETIC ALGORITHM

Yaroslav Pyrih

*Lviv Polytechnic National University, S. Bandery Str., 12, 79013, Lviv, Ukraine*

The article is devoted to the application of a genetic algorithm for determining the optimal route in a wireless sensor network. The paper presents a classification of data routing strategies based on: the method of determining routes, network structure, network operations, and communication organiser. The genetic algorithm is classified as a multi-path routing strategy, since its use allows obtaining a set of routes. Accordingly, when data transmission via the best route is not possible, information from a set of routes is available, which allows obtaining alternative solutions in case of failure of the main route. The main stages of the genetic algorithm are presented: selection, crossing and mutation, with considerable attention paid to setting its parameters, in particular, population size, number of generations, crossover probability and mutation probability. To determine the route in a wireless sensor network, the following set of genetic operators is used: a tournament selection operator, an ordered crossover operator, and a mixing mutation operator, and a function is formed to assess the fitness of each individual (route). To test the performance of the presented genetic algorithm, a software product in the Python programming language was developed using the DEAP library. A network of 25 nodes was modelled, randomly placed on a 100 by 100 area, with each node having a range of 30 metres. To take into account the impossibility of data transmission between nodes with a greater range than the specified one, a distance penalty of 1000 metres is used, which encourages the genetic algorithm to search for shorter routes. The matrix of nodes of the considered network is presented, which contains information about the topology and relationships between nodes. Based on the results of simulation modelling, it is shown that the shortest route between the two considered nodes is established at a number of generations of 150 and a population size of 300. The results also demonstrate a linear increase in the route search time with an increase in the number of generations and population size.

**Keywords:** *genetic algorithm, route, wireless sensor network, genetic operator.*

**UDC:** 519.876