

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
КАФЕДРА ІНФОРМАТИКИ ТА ПРОГРАМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Курсова робота з освітнього компоненту  
«Технології паралельних обчислень. Курсова робота»

Тема:

Еволюційний (генетичний) алгоритм пошуку оптимального значення

**Керівник:**

ст. викл. Дифучин Антон Юрійович

«Допущено до захисту»

\_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

Захищено з оцінкою

\_\_\_\_\_

Члени комісії:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Виконавець:**

Дейнега Владислав

Миколайович

студент групи ІП-13

залікова книжка № ІП-1310

\_\_\_\_\_

«14» червня 2024 р.

Інна СТЕЦЕНКО

Антон ДИФУЧИН

Київ – 2024

## ЗАВДАННЯ

1. Виконати огляд існуючих реалізацій алгоритму, послідовних та паралельних, з відповідними посиланнями на джерела інформації (статті, книги, електронні ресурси). Зробити висновок про актуальність дослідження.
2. Виконати розробку послідовного алгоритму у відповідності до варіанту завдання та обраного програмного забезпечення для реалізації. Опис алгоритму забезпечити у вигляді псевдокоду. Провести тестування алгоритму та зробити висновок про коректність розробленого алгоритму. Дослідити швидкодію алгоритму при зростанні складності обчислень та зробити висновки про необхідність паралельної реалізації алгоритму.
3. Виконати розробку паралельного алгоритму у відповідності до обраного завдання та обраного програмного забезпечення для реалізації. Опис алгоритму забезпечити у вигляді псевдокоду. Забезпечити ініціалізацію даних при будь-якому великому заданому параметрі кількості даних.
4. Виконати тестування алгоритму, що доводить коректність результатів обчислень. Тестування алгоритму обов'язково проводити на великій кількості даних. Коректність перевіряти порівнянням з результатами послідовного алгоритму.
5. Виконати дослідження швидкодії алгоритму при зростанні кількості даних для обчислень.
6. Виконати експериментальне дослідження прискорення розробленого алгоритму при зростанні кількості даних для обчислень. Реалізація алгоритму вважається успішною, якщо прискорення не менше 1,2.
7. Дослідити вплив параметрів паралельного алгоритму на отримуване прискорення. Один з таких параметрів – це кількість підзадач, на які поділена задача при розпаралелюванні її виконання.
8. Зробити висновки про переваги паралельної реалізації обчислень для алгоритму, що розглядається у курсовій роботі, та програмних засобів, які використовувались.

## **АНОТАЦІЯ**

Структура та обсяг роботи. Пояснювальна записка курсової роботи складається з 5 розділів, містить 7 рисунків, 2 таблиці, 3 джерела.

Дослідження та реалізація паралельного алгоритму еволюційний (генетичний) алгоритм пошуку оптимального значення мовою Python. Порівняння ефективності паралельної реалізації алгоритму з послідовною.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЕВОЛЮЦІЙНИЙ АЛГОРИТМ, ПАРАЛЕЛЬНІ ОБЧИСЛЕННЯ, ЗАДАЧА РЮКАЗАКА

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1 ОПИС АЛГОРИТМУ ТА ЙОГО ВІДОМИХ ПАРАЛЕЛЬНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ.....	6
1.1 Опис алгоритму .....	6
1.2 Готові рішення.....	6
2 РОЗРОБКА ПОСЛІДОВНОГО АЛГОРИТМУ ТА АНАЛІЗ ЙОГО ШВИДКОДІЇ.....	9
3 ВИБІР ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ТА ЙОГО КОРОТКИЙ ОПИС .....	12
4 РОЗРОБКА ПАРАЛЕЛЬНОГО АЛГОРИТМУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБРАНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: ПРОЄКТУВАННЯ, РЕАЛІЗАЦІЯ, ТЕСТУВАННЯ.....	13
5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ АЛГОРИТМУ .....	17
ВИСНОВКИ.....	19
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	20
ДОДАТКИ.....	21
Додаток А. Лістинг коду .....	21
Додаток Б. Схема виконання паралельних процесів.....	35
Додаток В. Приклади виконання програми .....	36

## ВСТУП

В теперішній час використання паралельних обчислень стає все більш актуальним та поширеним. Виконання складних алгоритмів та обрахунків вимагає велику кількість часу та ресурсів. Вирішенням цієї проблеми є паралельні технології.

Генетичний алгоритм є одним з найпоширеніших алгоритмів оптимізації, який використовує принципи природного відбору для знаходження наближених рішень складних задач. Головною ідеєю є імітація процесу еволюції поколінь. З кожним новим поколінням алгоритм прагне до поліпшення якості рішень, поступово наближаючись до оптимального або достатньо хорошого рішення. Генетичні алгоритми широко застосовуються в різних областях, включаючи машинне навчання, управління, економіку, та інженерію, завдяки їх здатності ефективно знаходити рішення в складних і великомасштабних просторах пошуку. Але алгоритм має великий недолік, для пошуку оптимального рішення потрібно велика кількість часу на еволюцію поколінь.

В даній курсовій роботі буде розроблений, реалізований та досліджений генетичний алгоритм та його паралельна версія з використанням мови програмування Python.

# **1 ОПИС АЛГОРИТМУ ТА ЙОГО ВІДОМИХ ПАРАЛЕЛЬНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ**

## **1.1 Опис алгоритму**

Генетичний алгоритм[1] - це метод евристичного пошуку, натхненний біологічними процесами еволюції. Він використовується для вирішення складних задач оптимізації, де знайти оптимальне або близьке до оптимального рішення традиційними методами може бути складно або неможливо.

Головні етапи алгоритму такі:

- Створення первинної популяції. Алгоритм створює первинний набір хромосом, тобто набір параметрів для пошуку оптимального рішення.
- Відбір батьків. В ході «еволюції» відбувається відбір батьків для майбутніх нащадків. Є багато варіацій відбору, від випадкового, до змагання групи хромосом.
- Схрещування батьків. Після відбору відбувається схрещування відібраних хромосом, для створення нової хромосоми з генами двох батьків.

Цей цикл повторюється до тих пір, поки не буде знайдено оптимальне або близьке до оптимального рішення.

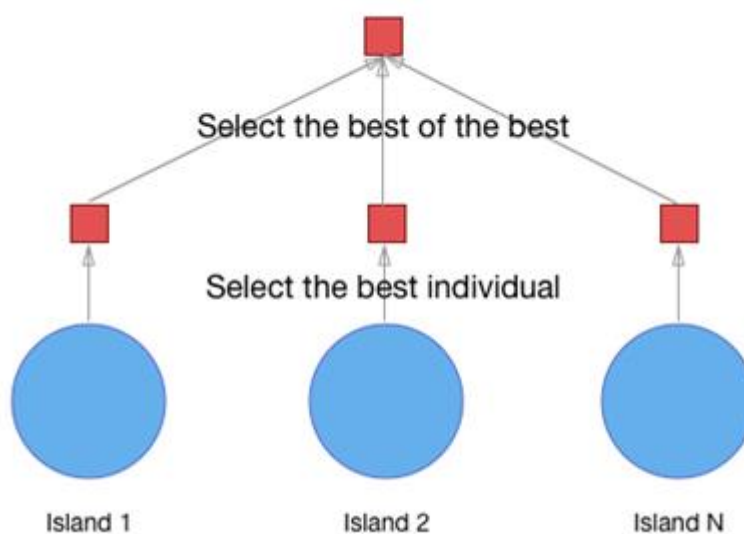
Генетичний алгоритм використовується в багатьох сферах, наприклад, пошук оптимальних маршрутів. В сфері фінансів алгоритм може допомогти розробити бізнес стратегію саме завдяки можливості гнучко застосовуватись до різноманітних задач.

## **1.2 Готові рішення**

Паралельна реалізація генетичного алгоритму дозволяє значно зменшити час пошуку оптимального рішення. Особливо корисно це під час вирішення складних задач, які вимагають великої кількості обчислень.

Існує два найбільш поширених підходи до паралельної реалізації генетичного алгоритму.

Перший метод, це розподіл популяції[2], або ж острівний метод. Головною ідеєю цього методу є розподіл популяції на декілька частин, які будуть обчислювати в різних потоках. Кожна частина еволюціонує незалежно протягом кількох поколінь. Після деякої кількості ітерацій, потоки обмінюються найкращими хромосомами, що дозволяє зберегти генетичне різноманіття та уникнути локальних мінімумів. Після обміну популяції знову розподіляються на потоки, і процес продовжується. Ці кроки повторюються допоки не буде знайдене оптимальне рішення.



1.1 – Схема паралельного алгоритму острівного методу[3]

Другий метод, це розподіл обчислень, де різні стадії генетичного алгоритму виконуються в окремих потоках. Наприклад виконання відбору, схрещування або мутації в окремих потоках. Це дозволяє більш ефективно використовувати багатоядерні процесори, оскільки кожна з цих операцій може бути досить вимогливою до ресурсів. Окремі етапи генетичного алгоритму можуть виконуватися одночасно, без необхідності чекати завершення попередніх етапів, що допомагає зменшити загальний час обчислень.

Таким чином, обидва підходи – розподіл популяції та розподіл обчислень дозволяють суттєво прискорити виконання генетичних алгоритмів, роблячи їх більш придатними для розв'язання складних задач, особливо для задач, які

вимагають великої кількості розрахунків. Існують багато варіантів паралельного алгоритму, а тут були наведені лише дві головні.



## 2 РОЗРОБКА ПОСЛІДОВНОГО АЛГОРИТМУ ТА АНАЛІЗ ЙОГО ШВИДКОДІЇ

### 2.1 Розробка

Задачею для вирішення, було обрано модифіковану задачу рюкзака. Модифікація представляє собою додаткові параметри, які враховуються під час підрахунку пристосованості. Першим додатковим критерієм є популярність, тобто наскільки предмет потрібен. Другий параметр це жанр предмету, саме різноманітність жанрів враховується окрім ціни (ваги) предмета та його популярності.

Реальним прикладом, де може використовуватись такий алгоритм, це комплектація клубу настільних ігор. Алгоритм допоможе врахувати популярність та різноманіття настільних ігор, з обмеженням в бюджеті.

### 2.2 Псевдокод

Псевдокод основної частини алгоритму

Function genetic\_algorithm

Initialize temp\_population with top chromosomes from current population

For i in range(elitism, population\_size):

    parent1 = wheel\_selection(current\_population)

    parent2 = wheel\_selection(current\_population)

    child = crossover(parent1, parent2)

    child = mutate(child)

    Append child to temp\_population

result\_population = Create new population from temp\_population

Evaluate fitness of result\_population

Update current population with result\_population

Return result\_population

Псевдокод мутації

Function mutate(Chromosome chromosome):

    If random < mutation\_rate:

        For 3 times:

```

mutation_point = random_int(0, length(chromosome.genes) - 1)
If chromosome.genes[mutation_point] == "1":
    chromosome.genes[mutation_point] = "0"
Else:
    chromosome.genes[mutation_point] = "1"
Return chromosome

```

#### Псевдокод схрещування

```

Function crossover(Chromosome parent1, Chromosome parent2):
    child = Initialize empty chromosome
    For i in range(size of parent1):
        rand = random_int(0, abs(int(parent1.fitness + parent2.fitness)))
        If rand <= parent1.fitness:
            Append parent1.genes[i] to child
        Else:
            Append parent2.genes[i] to child
    Return child

```

#### Псевдокод відбору

```

Function wheel_selection(Population P):
    total_fitness = Sum(abs(fitness) for each chromosome in P)
    For each chromosome in P:
        rand = random_uniform(0, total_fitness)
        current_sum = 0
        For each chromosome in P:
            current_sum += abs(chromosome.fitness)
            If current_sum >= rand:
                Return chromosome

```

### 2.3 Аналіз швидкодії

Базовий алгоритм був протестований при різних значеннях величини популяції. В таблиці 2.1 можна побачити результат тестування, а саме таблицю залежності часу виконання від розміру популяції в мілісекундах:

Кількість хромосом	Час виконання
100	13,55
500	100,54
1000	270,80
2500	1318,27
5000	4655,11
7500	9378,95
10000	15501,36

### **3 ВИБІР ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ТА ЙОГО КОРОТКИЙ ОПИС**

Для реалізації паралельного генетичного алгоритму була обрана мова програмування Python. Python є високорівневою мовою програмування, яка має чіткій та зрозумілій синтаксис.

Переваги використання Python для паралельних алгоритмів:

- Бібліотека multiprocessing: дозволяє створювати окремі процеси, які можуть виконувати завдання паралельно, що допомагає обійти обмеження GIL у Python.
- Також Python має багато бібліотек які відкривають можливості до написання функціонального, ефективного та зрозумілого коду.
- Python працює на різних операційних системах без потреби вносити зміни в код, що робить його ідеальним для кросплатформенних розробок.

Недоліки використання Python для паралельних алгоритмів:

- GIL є однією з основних проблем багатопотоковості в Python. Він дозволяє лише одному потоку виконуватись у будь-який момент часу, що може бути вузьким місцем для CPU-bound задач. На щастя, існує бібліотека multiprocessing, яка дозволяє обійти це обмеження.
- Хоча Python є інтерпретованою мовою і має дещо нижчу продуктивність порівняно з компільованими мовами.
- Використання окремих процесів для паралелізму призводить до високих витрат на пам'ять, бо кожен процес має власний простір пам'ять.

У висновку, Python є чудовим вибором для реалізації паралельних генетичних алгоритмів завдяки своїй простоті використання, багатому набору бібліотек та можливості працювати на різних платформах. Незважаючи на певні обмеження, такі як GIL та продуктивність, правильне використання бібліотек, таких як multiprocessing, дозволяє ефективно вирішувати задачі оптимізації.

## 4 РОЗРОБКА ПАРАЛЕЛЬНОГО АЛГОРИТМУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБРАНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: ПРОЄКТУВАННЯ, РЕАЛІЗАЦІЯ, ТЕСТУВАННЯ

### 4.1 Проектування алгоритму

Перед реалізацією паралельного алгоритму було досліджені можливі шляхи використання паралельних технологій. З можливих варіантів було виявлено два:

Паралельно виконувати обрахунок пристосованості для кожної особини. При складній формулі обрахунку пристосованості це може дати значне прискорення. Але використана формула для обрахунку занадто проста і не дасть достатнього прискорення.

Паралельно виконувати генерації нащадків. В цей процес входить відбір батьків, схрещування та мутація. Разом ці дії займають багато часу, особливо схрещування батьків. Також цей процес є незалежним, через що не буде витрачатись час та ресурси на синхронізацію. Тому було обрано паралельно виконувати створення нащадків. Схема взаємодії потоків наведено в Додатку В.

Для реалізації паралельного алгоритму було використано бібліотеку multiprocessing, а саме multiprocessing.Pool. Однією з основних переваг multiprocessing є те, що вона дозволяє обійти Global Interpreter Lock (GIL), який є обмеженням в стандартній реалізації Python (CPython). GIL унеможливорює одночасне виконання багатьох потоків Python коду через блокування доступу до структур даних на рівні інтерпретатора. Дана бібліотека дозволяє обійти обмеження GIL, та виконувати задачі асинхронно.

Псевдокод алгоритму

```
function genetic_algorithm(process_count)
    temp_population = []
    temp_population[0 to elitism - 1] =
population.get_best_chromosome(elitism)

    pool_args = [(self, 0,)]
```

```
with multiprocessing.Pool(process_count) as pool:
```

```
    offsprings = pool.map(ParallelGenetic.offspring_task, pool_args)
```

```
temp_population[elitism to end] = offsprings
```

```
result = Population(population.populationSize, population.maxBudget, 0,  
population.data)
```

```
result.chromosomes = temp_population
```

```
population = result
```

```
population.fitness_all()
```

```
return result
```

```
function offspring_task(args)
```

```
    self, tmp= args
```

```
    parent1 = wheel_selection()
```

```
    parent2 = wheel_selection()
```

```
    child = crossover(parent1, parent2)
```

```
    child = mutate(child)
```

```
    return child
```

#### 4.2 Реалізація

Для реалізації паралельного алгоритму, створення нащадків було відокремлене в окремий статичний метод

```
def offspring_task(args):
```

```
    self, population_data = args
```

```

parent1 = self.wheel_selection()
parent2 = self.wheel_selection()

child = self.crossover(parent1, parent2)
child = self.mutate(child)

return child

```

Далі створюється пул потоків, в який передається створений метод та потрібні аргументи

with multiprocessing.Pool(process\_count) as pool:

```

    offsprings = pool.map(ParallelGenetic.offspring_task, pool_args)

```

### 4.3 Тестування

На рисунках 4.1-4.2 ми можемо побачити результати виконання алгоритму.

Більше результатів надані в додатку В

```

Result
Fitness 69.5514
Popularity 98
Cost 13899
Genres 8
Gene3: 5 1110 Economic
Gene4: 9 920 Puzzle
Gene9: 9 1350 Strategy
Gene11: 6 620 Sci-Fi
Gene12: 9 1800 Time Travel
Gene13: 4 519 Puzzle
Gene20: 6 780 Detective
Gene28: 9 1325 Strategy
Gene29: 8 1205 Strategy
Gene34: 8 1010 Classic
Gene39: 6 805 Detective
Gene42: 9 915 Puzzle
Gene44: 4 670 Family
Gene46: 6 870 Classic

Parallel genetic algorithm executed in 762.27 milliseconds

```

Рисунок 4.1 – результат виконання

```
Result
Fitness 72.5526
Popularity 84
Cost 12887
Genres 9
Gene1: 6 799 Detective
Gene3: 5 1110 Economic
Gene4: 9 920 Puzzle
Gene6: 4 650 Family
Gene8: 6 860 Classic
Gene14: 7 1518 Cooperative
Gene20: 6 780 Detective
Gene23: 9 940 Puzzle
Gene25: 4 680 Family
Gene29: 8 1205 Strategy
Gene34: 8 1010 Classic
Gene36: 5 725 Card
Gene38: 7 1690 Adventure

Parallel genetic algorithm executed in 478.89 milliseconds
```

Рисунок 4.2 -результат виконання

Ми можемо побачити що алгоритм надає рішення наближене до оптимально, з можливістю відхилення за максимальний бюджет, оскільки іноді це може бути кращим рішенням.



## 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ АЛГОРИТМУ

Експериментальне дослідження проводилось на системі з такими характеристиками:

Процесор: AMD Ryzen 5 1600 Six-Core Processor(6 ядер, 12 логічних процесорів)

Оперативна пам'ять: 16 ГБ

Операційна система: Windows 10

Результати замірів часу виконання та прискорення представлені у таблиці

5.1

Таблиця 5.1. – Заміри та прискорення

Кількість хромосом	Час послідовного алгоритму, мікросекунд	Час паралельного алгоритму, мікросекунд	Прискорення
100	14	360	0,04
500	106	362	0,29
1000	296	365	0,81
2500	1409	375	3,75
5000	5033	391	12,85
7500	11514	407	28,26
10000	22864	422	54,16

На рисунку 5.1 відображена зрівняння часу виконання паралельного та класичного алгоритмів

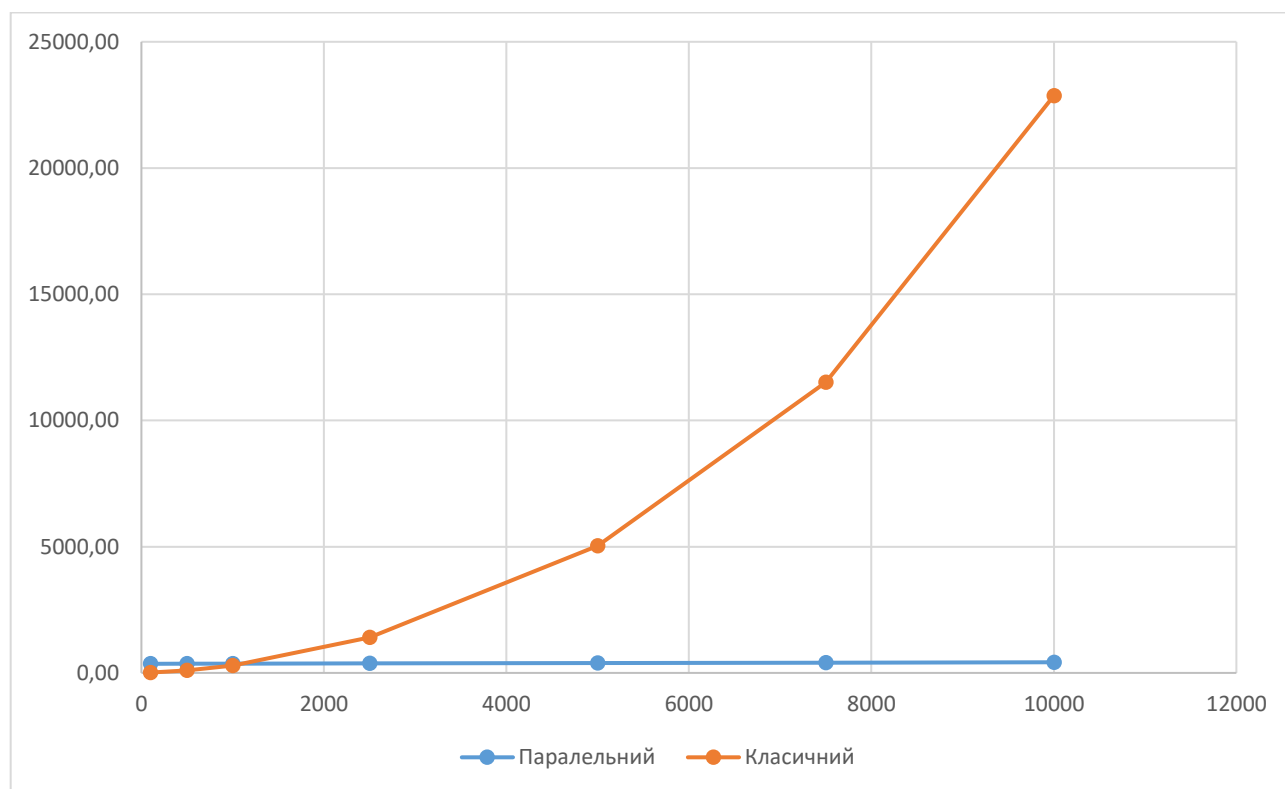


Рисунок 5.1. – Графік зрівняння паралельного та класичного алгоритмів

В результаті, ми можемо побачити низьку ефективність паралельного алгоритму на малих кількостях даних. Але зі збільшенням кількості хромосом алгоритм дуже добре себе показує, на противагу класичному алгоритму.

## ВИСНОВКИ

Під час виконання даної курсової роботи, було розроблено та досліджено паралельну реалізацію генетичного алгоритму для вирішення модифікованої задачі рюкзака. Головне завдання дослідження це порівняння паралельного та послідовного алгоритмів на ефективність.

Тестування проводилось для таких параметрів:

Кількість хромосом була від 100 до 10000

Кількість предметів 50

Відсоток мутації дорівнював 0.1

Елітизм дорівнював 5% від розміру популяції

За результатами експериментів було виявлена ефективність паралельного алгоритму на розмірах популяції більше 1000 та прискорення яке досягало до 50

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Brital A. Genetic algorithm explained:. Medium. URL: <https://medium.com/@AnasBrital98/genetic-algorithm-explained-76dfbc5de85d> (date of access: 14.06.2024).
2. Cantú-Paz E. Efficient parallel genetic algorithms: theory and practice. Sciencedirect. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045782599003850> (date of access: 14.06.2024).
3. Poddar S. Parallel genetic algorithm. Medium. URL: <https://medium.com/swlh/parallel-genetic-algorithm-3d3314c8373c> (date of access: 14.06.2024).

## ДОДАТКИ

### Додаток А. Лістинг коду

Клас Main

```

from Gene import Gene
from ClassicGenetic import ClassicGenetic
from ParallelGenetic import ParallelGenetic
from Population import Population
from Chromosome import Chromosome
import time

if __name__ == '__main__':
    purchases = []
    with open("./data/chromosomes.txt", 'r') as file:
        for line in file:
            data = line.strip().split(',')
            purchase = Gene(int(data[0]), int(data[1]), data[2])
            purchases.append(purchase)

    chromosome_count = [100, 100, 500, 1000, 2500, 5000, 7500, 10000]
    process_cout = [2, 4, 6, 8, 10, 12]
    for i in range(len(chromosome_count)):
        print("-----")
        print(f"Chromosome count: {chromosome_count[i]}")
        print("-----")
        population = Population(chromosome_count[i], 10000, 1, purchases)
        population.fitness_all()

    i = 0
    stop_iter = 0
    max_fitness = 0

```

```

timeList = []
while stop_iter < 20:
    classicAlgorithm = ClassicGenetic(population, 0.3,
int(chromosome_count[i]*0.05))

    start_time = time.time()

    classicAlgorithm.genetic_algorithm()

    end_time = time.time()

    total_time_in_seconds = end_time - start_time
    total_time_in_milliseconds = total_time_in_seconds * 1000
    timeList.append(total_time_in_milliseconds)
    stop_iter += 1

print("Result")
max_chrom = classicAlgorithm.get_max_fitness()
max_chrom.print_test()
print()
mean_time = sum(timeList) / len(timeList)
print(f"Classic genetic algorithm executed in {mean_time:.2f}
milliseconds")
for j in range(timeList.__len__()):
    print(f"Time {j+1}: {timeList[j]:.2f} milliseconds")

print()

i = 0

```

```

stop_iter = 0
max_fitness = 0
timeList = []
while stop_iter < 10:
    parallelGenetic = ParallelGenetic(population, 0.3, int(2500*0.05))

    start_time = time.time()

    parallelGenetic.genetic_algorithm(6)

    end_time = time.time()

    total_time_in_seconds = end_time - start_time
    total_time_in_milliseconds = total_time_in_seconds * 1000
    timeList.append(total_time_in_milliseconds)
    stop_iter += 1

print("Result")
max_chrom = parallelGenetic.get_max_fitness()
max_chrom.print_test()
print()
mean_time = sum(timeList) / len(timeList)
print(f"Parallel genetic algorithm executed in {mean_time:.2f}
milliseconds")
for j in range(timeList.__len__()):
    print(f"Time {j+1}: {timeList[j]:.2f} milliseconds")

Клас Gene
class Gene:
    def __init__(self, cost, popularity, genre):
        self.cost = cost

```

```

self.genre = genre
self.popularity = popularity

```

```

def print_gene(self):
    print(self.popularity + ', ' + str(self.cost))

```

```

def get_popularity(self):
    return self.popularity

```

```

def get_genre(self):
    return self.genre

```

```

def get_cost(self):
    return self.cost

```

Клас ClassicGenetic

```

import random

```

```

from Chromosome import Chromosome

```

```

from Population import Population

```

```

class ClassicGenetic:

```

```

    def __init__(self, population, mutation_rate, elitism):
        self.population = population
        self.mutationRate = mutation_rate
        self.elitism = elitism

```

```

    def print(self):
        self.population.print()

```

```

    def get_max_fitness(self):

```



```
return self.population.calc_max_fitness()
```

```
def wheel_selection(self):
```

```
    total_fitness = sum(abs(chromosome.fitness) for chromosome in
self.population.chromosomes)
```

```
    for _ in range(len(self.population.chromosomes)):
```

```
        rand = random.uniform(0, total_fitness)
```

```
        current_sum = 0
```

```
        for chromosome in self.population.chromosomes:
```

```
            current_sum += abs(chromosome.fitness)
```

```
            if current_sum >= rand:
```

```
                return chromosome
```

```
def crossover(self, parent1, parent2):
```

```
    child = Chromosome(self.population.chromosomeSize,
self.population.data)
```

```
    temp = []
```

```
    for i in range(parent1.get_size()):
```

```
        rand = random.randint(0, abs(int(parent1.get_fitness() +
parent2.get_fitness())))
```

```
        if rand <= parent1.get_fitness():
```

```
            temp.append(parent1.get_genes()[i])
```

```
        else:
```

```
            temp.append(parent2.get_genes()[i])
```

```
    child.chromosomes = temp
```

```
    return child
```

```

def mutate(self, chromosome):
    if random.random() < self.mutationRate:
        for i in range(3):
            mutation_point = random.randint(0, len(chromosome.genes) - 1)
            chromosome.genes[mutation_point] = "0" if
chromosome.genes[mutation_point] == "1" else "1"
            return chromosome
        else:
            return chromosome

def genetic_algorithm(self):
    temp_population = []
    temp_population[:self.elitism] =
self.population.get_best_chromosome(self.elitism)
    for i in range(self.elitism, self.population.populationSize):
        parent1 = self.wheel_selection()
        parent2 = self.wheel_selection()

        child = self.crossover(parent1, parent2)

        child = self.mutate(child)

        temp_population.append(child)

    result = Population(self.population.populationSize,
self.population.maxBudget, 0, self.population.data)
    result.chromosomes = temp_population

    self.population = result
    self.population.fitness_all()

```

```
    return result
```

Класс Chromosome

```
import numpy as np
```

```
from collections import Counter
```

```
class Chromosome:
```

```
    def __init__(self, size, data):
```

```
        self.genes = []
```

```
        self.size = size
```

```
        self.fitness = 0
```

```
        self.data = data
```

```
        self.total_popularity = 0
```

```
        self.total_cost = 0
```

```
        self.unique_genres = 0
```

```
        self.genes = np.random.randint(2, size=self.size)
```

```
        unique_genres = set()
```

```
        for gene in data:
```

```
            unique_genres.add(gene.get_genre())
```

```
        self.genre_count = len(unique_genres)
```

```
        self.popularity_count = sum(abs(gene.popularity) for gene in self.data)
```

```
    def get_fitness(self):
```

```
        return self.fitness
```

```
    def get_genes(self):
```

```
        return self.genes
```

```

def get_size(self):
    return self.size

def calc_fitness(self, max_budget):
    self.fitness = 0
    total_cost = 0
    total_count = 0
    total_popularity = 0
    genre_list = []

    for i in range(self.size):
        if self.genes[i] == 1:
            total_count += 1
            total_popularity += self.data[i].get_popularity()
            total_cost += self.data[i].get_cost()
            genre_list.append(self.data[i].get_genre())

    unique_genres = len(set(genre_list))
    A = 1
    B = 2
    self.fitness = total_popularity * A + unique_genres * B
    if total_cost > max_budget:
        if total_cost >= max_budget*2:
            self.fitness = 0
        else:
            percentage_excess = (total_cost - max_budget) / max_budget * 100
            self.fitness -= self.fitness * (percentage_excess / 100)

    #test
    self.total_popularity = total_popularity

```

```

self.total_cost = total_cost
self.unique_genres = unique_genres
#end test

```

```

return self.fitness

```

```

def print_chromosome(self):

```

```

    for i in range(self.size):

```

```

        print("Gene" + str(i) + ": " + str(self.data[i].get_popularity()) + " " +
str(self.data[i].get_cost()) + " " + self.data[i].get_genre())

```

```

def print_test(self):

```

```

    print("Fitness " + str(self.fitness))

```

```

    print("Popularity " + str(self.total_popularity))

```

```

    print("Cost " + str(self.total_cost))

```

```

    print("Genres " + str(self.unique_genres))

```

```

    for i in range(self.size):

```

```

        if self.genes[i] == 1:

```

```

            print("Gene" + str(i) + ": " + str(self.data[i].get_popularity()) + " " +
str(self.data[i].get_cost()) + " " + self.data[i].get_genre())

```

```

        print()

```

Клас ParallelGenetic

```

import random

```

```

import multiprocessing

```

```

from Chromosome import Chromosome

```

```

from Population import Population

```

```

class ParallelGenetic:

```

```

    def __init__(self, population, mutation_rate, elitism):

```

```

        self.population = population

```

```

self.mutationRate = mutation_rate
self.elitism = elitism

def print(self):
    self.population.print()

def get_max_fitness(self):
    return self.population.calc_max_fitness()

def wheel_selection(self):
    total_fitness = sum(abs(chromosome.fitness) for chromosome in
self.population.chromosomes)
    for _ in range(len(self.population.chromosomes)):
        rand = random.uniform(0, total_fitness)
        current_sum = 0
        for chromosome in self.population.chromosomes:
            current_sum += abs(chromosome.fitness)
            if current_sum >= rand:
                return chromosome

def crossover(self, parent1, parent2):
    child = Chromosome(self.population.chromosomeSize,
self.population.data)
    temp = []

    for i in range(parent1.get_size()):
        rand = random.randint(0, abs(int(parent1.get_fitness() +
parent2.get_fitness()))
        if rand <= parent1.get_fitness():
            temp.append(parent1.get_genes()[i])

```

```

        else:
            temp.append(parent2.get_genes()[i])

    child.chromosomes = temp

    return child

def mutate(self, chromosome):
    if random.random() < self.mutationRate:
        for i in range(3):
            mutation_point = random.randint(0, len(chromosome.genes) - 1)
            chromosome.genes[mutation_point] = "0" if
chromosome.genes[mutation_point] == "1" else "1"
            return chromosome
        else:
            return chromosome

    @staticmethod
    def offspring_task(args):
        self, population_data = args
        parent1 = self.wheel_selection()
        parent2 = self.wheel_selection()

        child = self.crossover(parent1, parent2)
        child = self.mutate(child)

        return child

    def genetic_algorithm(self, process_count):
        temp_population = []

```

```

        temp_population[:self.elitism] =
self.population.get_best_chromosome(self.elitism)

        pool_args = [(self, 0,)]

        with multiprocessing.Pool(process_count) as pool:
            offsprings = pool.map(ParallelGenetic.offspring_task, pool_args)

        temp_population[self.elitism:] = offsprings

        result = Population(self.population.populationSize,
self.population.maxBudget, 0, self.population.data)
        result.chromosomes = temp_population

        self.population = result
        self.population.fitness_all()

    return result
Клас Population
from Chromosome import Chromosome

class Population:
    def __init__(self, population_size, max_budget, generate, data):
        self.populationSize = population_size
        self.chromosomeSize = len(data)
        self.maxBudget = max_budget
        self.chromosomes = []
        self.data = data

    if generate == 1:

```



```

    for i in range(population_size):
        chromosome = Chromosome(self.chromosomeSize, data)
        self.chromosomes.append(chromosome)

def fitness_all(self):
    for chromosome in self.chromosomes:
        chromosome.calc_fitness(self.maxBudget)

def print(self):
    for i in range(self.populationSize):
        print("Chromosome %d" % i)
        self.chromosomes[i].print_chromosome()
        print()

def print_fitness(self):
    for i in range(self.populationSize):
        print(self.chromosomes[i].get_fitness(), end=" ")

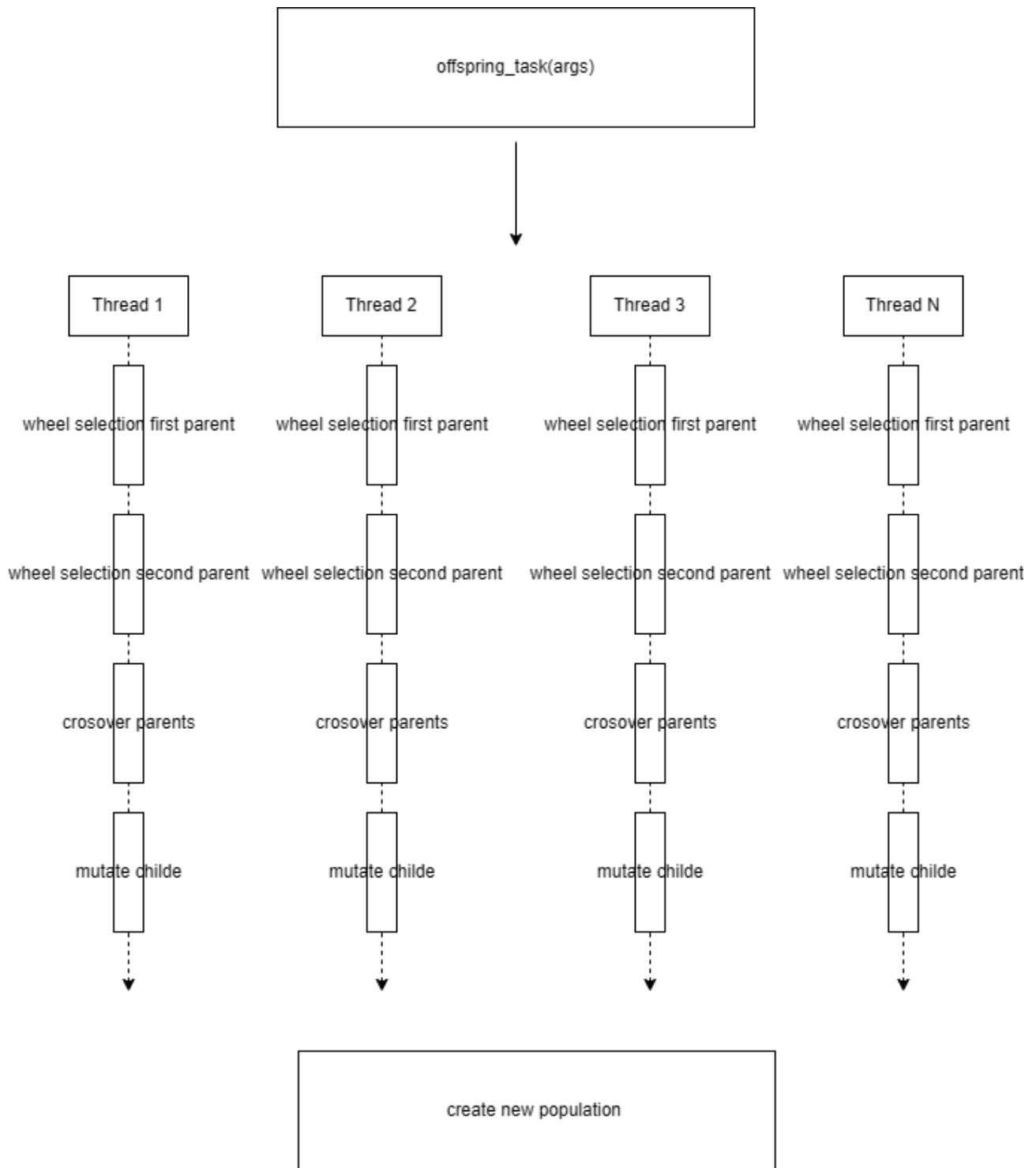
def info(self):
    print("Population size: %d" % self.populationSize)
    print("Max budget: %d" % self.maxBudget)
    print("Chromosome size: %d" % self.chromosomeSize)
    for i in range(self.populationSize):
        print("Chromosome %d" % i)
        print(str(self.chromosomes[i].fitness))

def calc_max_fitness(self):
    max_fitness = self.chromosomes[0].fitness
    temp = self.chromosomes[0]
    for chromosome in self.chromosomes:

```

```
    if chromosome.fitness > max_fitness:  
        max_fitness = chromosome.fitness  
        temp = chromosome  
return temp
```

```
def get_best_chromosome(self, elitism):  
    self.chromosomes.sort(key=lambda chromosome: chromosome.fitness,  
reverse=True)  
    return self.chromosomes[:elitism]
```

**Додаток Б. Схема виконання паралельних процесів**

## Додаток В. Приклади виконання програми

На рисунках 1 - наведено приклади виконання алгоритму

```
Result
Fitness 73.3465
Popularity 65
Cost 11371
Genres 10
Gene5: 7 2000 Mystic
Gene7: 8 1555 Science Fiction
Gene8: 6 860 Classic
Gene10: 8 1199 Strategy
Gene11: 6 620 Sci-Fi
Gene17: 5 750 Card
Gene20: 6 780 Detective
Gene33: 7 1542 Cooperative
Gene40: 8 1395 Fantasy
Gene44: 4 670 Family

Parallel genetic algorithm executed in 439.20 milliseconds
```

Рисунок 1

```
Result
Fitness 60.8832
Popularity 78
Cost 13658
Genres 9
Gene1: 6 799 Detective
Gene2: 8 1380 Fantasy
Gene4: 9 920 Puzzle
Gene5: 7 2000 Mystic
Gene6: 4 650 Family
Gene10: 8 1199 Strategy
Gene16: 9 2200 Role-playing
Gene36: 5 725 Card
Gene37: 6 1205 Military
Gene40: 8 1395 Fantasy
Gene48: 8 1185 Strategy

Parallel genetic algorithm executed in 449.67 milliseconds
```

Рисунок 2

```
Result
Fitness 68.9894
Popularity 83
Cost 13302
Genres 10
Gene1: 6 799 Detective
Gene9: 9 1350 Strategy
Gene11: 6 620 Sci-Fi
Gene14: 7 1518 Cooperative
Gene17: 5 750 Card
Gene22: 5 1145 Economic
Gene23: 9 940 Puzzle
Gene25: 4 680 Family
Gene26: 8 1590 Science Fiction
Gene39: 6 805 Detective
Gene44: 4 670 Family
Gene45: 8 1565 Science Fiction
Gene46: 6 870 Classic

Parallel genetic algorithm executed in 450.05 milliseconds
```

Рисунок 3