

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Комп'ютерних наук _____

Кафедра _____ Системотехніки _____

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

_____ *другий (магістерський)* _____

(рівень вищої освіти)

_____ *ГЮИК.506120.001 ПЗ* _____

(позначення документа)

_____ *Дослідження та розробка методів маршрутизації транспортних засобів* _____

_____ *в системі мережевого рітейлу* _____

(тема)

Виконав:

Студент 2 курсу, групи _____ *СПРМ-20-1* _____

Спеціальність _____ *122 Комп'ютерні науки* _____

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми _____ *освітньо-професійна* _____

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ *Системне проектування* _____

(повна назва освітньої програми)

_____ *Бронза Є.С.* _____

(прізвище, ініціали)

Керівник _____ *доц. Імангулова З.А.* _____

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри системотехніки _____

(підпис)

_____ *проф. Гребеннік І.В.* _____

(прізвище, ініціали)

2021 р.

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

16 грудня 2021р.

Бронза Євген Семенович

(дата, підпис, прізвище студенту)

Кваліфікаційна робота не містить відомостей заборонених до відкритого опублікування.

Керівник кваліфікаційної роботи

доц. Імангулова З.А.

Атестаційна робота виконана у відповідності до стандартів, що діють в Україні.

Керівник кваліфікаційної роботи

доц. Імангулова З.А.

Попередній захист проведено __ грудня 2021 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

доц. Імангулова З.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Комп'ютерних наук _____

Кафедра _____ Системотехніки _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 122 – Комп'ютерні науки _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Системне проектування _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Бронза Є.С. _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Дослідження та розробка методів маршрутизації транспортних засобів в системі мережевого рітейлу _____

затверджена наказом університету від _____ 08 _____ 11 _____ 2021 р. № _____ 1664 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 20 ____ р.

3. Вихідні дані до роботи: Функція: Дослідження та розробка методів маршрутизації транспортних засобів системі мережевого рітейлу. Форма діалогу: набір програмних засобів. Перелік використовуваних програмних засобів: ОС Microsoft Windows 10, середовище розробки Visual Studio, текстовий редактор Notepad++, CASE-застосунок: draw.io _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: 4.1 Вступ, 4.2 Огляд та аналіз проблеми, що розглядається, 4.2.1 Огляд інформаційних систем, 4.2.2 Огляд предметної області, 4.2.3 Аналіз предметної області, 4.3 Огляд методів та технологій, які застосовуються для розв'язання задач транспортної логістики, 4.3.1 Інформаційні системи у предметній області, 4.3.2 Методи кластеризації даних, 4.3.2.1 Метод кластеризації k-середніх, 4.3.2.2 Покращена версія метода кластеризації k-середніх, 4.3.2.3 Метод нечіткої кластеризації C-середніх, 4.3.3 Методи пошуку шляху на графі, 4.3.3.1 Мурашиний алгоритм, 4.3.3.2 Генетичний алгоритм, 4.4 Постановка задачі дослідження, 4.4.1 Уточнення предметної області, 4.4.2 Обмеження предметної області, 4.4.3 Етапи проведення досліджень, 4.4.3.1 Підготовчі етапи, 4.4.3.2 Основні етапи, 4.4.4 Постановка задачі дослідження та її формалізація, 4.5 Розробка архітектури та компонентів системи, 4.5.1 Архітектура системи, 4.5.2 Опис компонентів системи, 4.5.2.1 Основні компоненти, 4.5.2.2 Допоміжні компоненти, 4.5.3. Методи вирішення задач кластеризації, 4.5.3.1 Метод k-means, 4.5.3.2 Метод k-means++, 4.5.3.3 Метод нечіткої кластеризації C-середніх, 4.5.4. _____

Методи вирішення задачі побудови маршрутів, 4.5.4.1 Мурашиний алгоритм, 4.5.4.2 Генетичний алгоритм, 4.6 Дослідження методів маршрутизації, 4.6.1 Маршрутизація у регіоні з 10 точками, 4.6.1.1 Побудова маршрутів за допомогою мурашиного алгоритму, 4.6.1.2 Побудова маршрутів за допомогою генетичного алгоритму, 4.6.1.3 Дослідження результатів, 4.6.2 Маршрутизація у регіоні з 20 точками, 4.6.2.1 Мурашиний алгоритм, 4.6.2.2 Генетичний алгоритм, 4.6.2.3 Дослідження результатів

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій: 5.1 Блок-схема мурашиного алгоритму (1 Аркуш А4). 5.2 Блок-схема генетичного алгоритму (1 Аркуш А4).

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування Розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	доцент Імангулова З.А.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	14.09.2021	виконано
2	Аналіз завдання, літератури та аналогів з теми кваліфікаційної роботи	14.09 – 26.09.2021	виконано
3	Огляд методів та технологій, що застосовуються в досліджуваній області	27.09 – 10.10.2021	виконано
4	Формалізація задачі дослідження	11.10 – 21.10.2021	виконано
5	Розробка архітектури та компонентів системи	22.10 – 31.10.2021	виконано
6	Розробка програмних засобів	01.11 – 21.11.2021	виконано
7	Дослідження та оцінка зв'язок методів та алгоритмів	22.11 – 05.12.2021	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	06.12 – 12.12.2021	виконано
9	Оформлення графічної частини та презентаційних матеріалів	13.12 – 16.12.2021	виконано
10	Представлення роботи на рецензування	16.12.2021	виконано
11	Представлення роботи в ДЕК	18.12.2021	виконано

Дата видачі завдання _____ 20__ р.

Студент _____ (підпис) _____ Бронза Є.С. _____ (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ (підпис) _____ доцент Імангулова З.А. _____ (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Робота містить: 96 сторінок, 22 рисунка, 10 таблиць, 3 додатки, 28 джерел. Графічна частина дипломної роботи містить 2 плакати.

TMS, СИСТЕМА МЕРЕЖЕВОГО РІТЕЙЛУ, VEHICLE ROUTING PROBLEM, ЗАДАЧА КОМІВОЯЖЕРА, КЛАСТЕРИЗАЦІЯ, K-MEANS, K-MEANS++, FCM

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження та розробка методів маршрутизації транспортних засобів в системі мережевого ритейлу.

Об'єктом дослідження є побудова маршрутів доставки товарів зі складу до точок продажу у роздрібній системі мережевого ритейлу.

Предметом дослідження є методи та алгоритми побудови маршрутів між складом та торговими точками мережі.

Галузь застосування – використання у складі систем управління транспортом.

Досягнення мети кваліфікаційної роботи базується на комплексному використанні загальновідомих методів кластерного аналізу даних та алгоритмів побудови маршрутів.

Результатом кваліфікаційної роботи є порівняльний аналіз сукупності методів кластеризації та алгоритмів побудови маршрутів на множині торгових точок однієї торгівельної мережі з одним складом.

ABSTRACT

Thesis contains: 96 pages, 22 images, 10 tables, 3 applications, 28 sources. Graphic part of the thesis contains 2 posters.

TMS, NETWORK RETAIL SYSTEM, VEHICLE ROUTING PROBLEM, TRAVELLING SALESMAN PROBLEM, CLUSTER ANALYSIS, K-MEANS, K-MEANS++, FCM

The purpose of the qualification work is to investigate and development of vehicle routing methods for network retail system.

The object of the study are routes planing for delivery of goods from the warehouse to the points of sale in the network retail system.

The subject of the research is the methods and algorithms of routes planing between the warehouse and points of sale of the network.

Field of application – component of transport management systems.

Achieving the goal of qualification work is based on the integrated use of well-known methods of cluster data analysis and algorithms of routes planing.

The result of the qualification work is a comparative analysis of a set of cluster analysis methods and algorithms of routes planing at a set of points of sale in the network retail system with one warehouse.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ, ЩО РОЗГЛЯДАЄТЬСЯ	11
1.1 Огляд інформаційних систем.....	11
1.2 Огляд предметної області.....	13
1.3 Аналіз предметної області	14
2 ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ.....	20
2.1 Інформаційні системи у предметній області.....	20
2.2 Методи кластеризації даних	22
2.2.1 Метод кластеризації k-середніх.....	26
2.2.2 Покращена версія метода кластеризації k-середніх.....	27
2.2.3 Метод нечіткої кластеризації C-середніх.....	27
2.3 Методи пошуку шляху на графі	28
2.3.1 Мурашиний алгоритм.....	31
2.3.2 Генетичний алгоритм	33
3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	36
3.1 Уточнення предметної області	36
3.2 Обмеження предметної області.....	36
3.3 Етапи проведення досліджень	37
3.3.1 Підготовчі етапи.....	38
3.3.2 Основні етапи	38
3.4 Постановка задачі дослідження та її формалізація	39
4 РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ТА КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ.....	44
4.1 Архітектура системи.....	44
4.2 Опис компонентів системи	44
4.2.1 Основні компоненти.....	44

	7
4.2.2 Допоміжні компоненти	45
4.3. Методи вирішення задач кластеризації	46
4.3.1 Метод k-means	47
4.3.2 Метод k-means++	49
4.3.3 Метод Fuzzy C-Means	49
4.4. Методи вирішення задачі побудови маршрутів	50
4.4.1 Мурашиний алгоритм.....	51
4.4.2 Генетичний алгоритм	53
5 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ.....	55
5.1 Маршрутизація у регіоні з 10 точками	55
5.1.1 Побудова маршрутів за допомогою мурашиного алгоритму.....	60
5.1.2 Побудова маршрутів за допомогою генетичного алгоритму.....	66
5.1.3 Дослідження результатів.....	70
5.2 Маршрутизація у регіоні з 20 точками	73
5.2.1 Мурашиний алгоритм.....	79
5.2.2 Генетичний алгоритм	83
5.2.3 Дослідження результатів.....	88
ВИСНОВКИ.....	92
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	94
ДОДАТОК А ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ.....	97
ДОДАТОК Б ТЕКСТ ПРОГРАМИ.....	100
ДОДАТОК В ВІДОМІСТЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	142

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ІС – інформаційні система;

Кластеризація – задача групування множини об'єктів на підмножини (кластери) таким чином, щоб об'єкти з одного кластера були більш схожі один на одного, ніж об'єкти з інших кластерів за яким-небудь критерієм;

Мережевий ритейл – мережа одноформатних (рідше різноформатних) магазинів, об'єднаних одним власником, єдиною системою логістики, закупівлі та єдиною товарною політикою;

ПЗ – програмний засіб;

FCM (Fuzzy C-Means) – алгоритм кластеризації нечіткої кластеризації С-середніх;

SaaS (Software as a Service – програмне забезпечення як послуга) – це модель надання ліцензії на програмне забезпечення, за якої передплатникам пропонується готове прикладне програмне забезпечення;

TMS (Transport Management System) – системами управління транспортом.

ВСТУП

Транспортна логістика – один з найважливіших елементів у створенні бізнес-процесів. Доставити сировину, забрати товар зі складу, привезти клієнту і зробити все це з мінімальними ресурсними витратами – це основне завдання транспортної логістики для бізнесу. Іншими словами, транспортна логістика – це частина логістичної науки, спрямована на керування перевезеннями, постачанням та доставкою товарів та компонентів.

Мережа магазинів – це два та більше магазинів однієї торгової марки, які знаходяться у різних районах, містах та країнах, мають спільні склади, каталог товарів та базу даних торгової мережі.

Задача планування маршрутів – одна з основних задач систем управління транспортом.

Дослідження методів маршрутизації є актуальною темою в будь-якій сфері діяльності людини, тому сучасний ринок має велику кількість ПЗ, що задовольняють потребам бізнесу, але на жаль, ці вимоги до швидкості та точності доставки постійно зростають, і багато підприємств приходять до розуміння того, що необхідні спеціальні системи управління для конкурентоспроможності бізнесу виробника, дистриб'ютора, поштового оператора, а також будь-якої компанії, якій потрібні постійні послуги транспортування [1]. Подібні спеціалізовані системи називаються системами управління транспортом – TMS (Transport Management System) та призначені для різного рівня автоматизації процесу транспортної логістики [2].

TMS – це набір інструментів, пов'язаних між собою, який дозволяє постачальникам, перевізникам та замовникам автоматизувати логістичні процеси, скорочувати витрати на перевезення та економити час.

Формування оптимальних маршрутів дає можливість визначати обсяги перевезень вантажів, розраховувати кількість транспортних засобів, які потрібні для доставки замовлень в роздрібну торговельну мережу.

Таким чином, розробка програмного засобу для транспортної логістики є актуальною, а саме для планування маршрутів перевезень товарів зі складу до точок рітейлу.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження та розробка методів маршрутизації транспортних засобів в системі мережевого рітейлу.

Поставлена мета роботи обумовила наступні задачі дослідження:

- аналіз існуючих систем транспортної логістики;
- порівняльний аналіз методів кластеризації;
- порівняльний аналіз методів побудови маршрутів.

Об'єктом дослідження у кваліфікаційній роботі є побудова маршрутів доставки товарів зі складу до точок продажу у роздрібній системі мережевого рітейлу.

Предметом дослідження у кваліфікаційній роботі є методи та алгоритми побудови маршрутів між складом та торговими точками мережі.

Результатом роботи є порівняльний аналіз сукупності методів кластеризації та алгоритмів побудови маршрутів на множині торгових точок однієї торгівельної мережі з одним складом.

Частини роботи апробовані на конференціях II International Scientific and Theoretical Conference «The current state of development of world science: characteristics and features» (Lisbon, Portuguese Republic, 2021) та XIII International Scientific and Practical Conference «Perspectives of development of science and practice » (Prague, Czech Republic, 2021).

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ, ЩО РОЗГЛЯДАЄТЬСЯ

1.1 Огляд інформаційних систем

Інформаційні системи (ІС) мають вирішальне значення для керування ефективністю процесів. Інформаційні системи допомагають у визначенні, вимірюванні та моніторингу показників продуктивності та порівнянні їх з цільовими та контрольними показниками.

ІС є основою будь-якого сучасного бізнесу. Інформаційні системи забезпечують комунікацію, продаж та маркетинг, керування ланцюжками поставок, прийняття рішень, керування співробітниками, поліпшення процесів та багато іншого. На початку свого розвитку ІС розглядалися як інструмент для підвищення ефективності, зараз вони є джерелом конкурентної переваги.

Інформаційна система – це взаємопов'язана сукупність інформаційних, технічних, програмних, математичних, організаційних, правових, ергономічних, лінгвістичних, технологічних та інших засобів, а також персоналу, призначена для збору, обробки, зберігання та видачі економічної інформації та прийняття управлінських рішень.

Створення інформаційної системи, що задовольняє інформаційні потреби всіх співробітників, служб і підрозділів організації, може бути складним і навіть неможливим завданням, іноді навіть недоцільним. У цьому випадку в організації зазвичай функціонують кілька різних систем, що вирішують окремі групи завдань: керування виробництвом, фінансово-господарську діяльність, електронний документообіг тощо.

ІС можна класифікувати за такими ознаками:

- за ступенем автоматизації;
- за функціональним призначенням;
- за сферою призначення;
- за архітектурою.

У залежності від ступеня автоматизації виділяють наступні види інформаційних систем:

- автоматизовані ІС – частина функції керування та/або опрацювання даних здійснюються у автоматичному режимі, при цьому частина дій виконується людиною;
- автоматичні ІС – усі функції керування й опрацювання даних здійснюються засобами ІС. Участь людини непотрібна.

У залежності від функціонального призначення виділяють наступні види систем:

- керувальні (ERP, SRM);
- проєктувальні (САП);
- наукового пошуку (експертні системи, тощо);
- діагностичні, моделювальні;
- системи підготовки прийняття рішення (СППР).

ІС утворюються для задоволення інформаційних потреб в межах конкретної предметної галузі, тому кожній предметній галузі (сфері призначення) відповідає свій тип ІС. Приклади, ІС за сферою призначення:

- корпоративна ІС – призначена для виконання функцій керування на підприємстві;
- медична ІС – призначена для використання в лікувальному або лікувально-профілактичному закладі;
- транспортна ІС – призначена для використання у сфері транспортної логістики;
- тощо.

У залежності від технічної реалізації виділяють наступні види архітектур інформаційних систем:

- а) настільні або локальні ІС, у яких всі компоненти (БД, СУБД, клієнтські програми) знаходяться на одному комп'ютері;
- б) розподілені ІС, в яких компоненти знаходяться на кількох комп'ютерах:

1) файл-серверні ІС (ІС з архітектурою «файл-сервер») – база даних знаходиться на файловому сервері, а СУБД та клієнтські програми знаходяться на робочих станціях;

2) клієнт-серверні ІС (ІС з архітектурою «клієнт-сервер») – база даних та СУБД знаходяться на сервері, а на робочих станціях знаходяться лише клієнтські програми. Клієнт-серверні ІС можуть класифікуватися за кількістю ланок (компонентів), що взаємодіють між собою:

- дволанкові – найпростіша варіація клієнт-серверних ІС, де БД і СУБД знаходяться на сервері бази даних, а на робочих станціях знаходяться клієнтські програми. Клієнтські програми звертаються до СУБД безпосередньо;
- триланкові – клієнтські додатки не звертаються до СУБД безпосередньо, а взаємодіють із веб-сервером, який обробляє їх запити.;
- багатоланкові – присутні більше однієї проміжної ланки – веб-сервера або сервера.

1.2 Огляд предметної області

Тема і завдання, що розглядаються в цій роботі, належать до теми транспортної логістики. Транспортна логістика – один із найважливіших елементів у створенні бізнес-процесів. Доставити сировину, забрати товар зі складу, привезти клієнту і зробити все це з мінімальними ресурсними витратами – це основне завдання транспортної логістики для бізнесу. Іншими словами, транспортна логістика – це частина логістичної науки, спрямована на керування перевезеннями, постачанням та доставкою товарів та компонентів.

Транспортна логістика це сфера, яка відповідає за організацію доставки певних товарів від моменту завантаження у транспортний засіб, до моменту його розвантаження, з урахуванням завантаження товарів у потрібній кількості

та якості у вказані час та терміни, та його доставки у вказані час та терміни за оптимальною ціною з урахуванням вимог до перевезення цього типу вантажу.

1.3 Аналіз предметної області

Виділимо цілі, функції та завдання транспортної логістики.

Метою є транспортування будь-якого вантажу з початкової точки у кінцеву точку з оптимальним співвідношенням ціни і якості. Слід вибирати найбільш відповідні види транспорту, маршрути, швидкість перевезення, а також враховувати вимоги та особливості перевезення вантажів, і зводити до мінімуму їх псування.

Функції транспортної логістики:

- планування та організація доставки вантажу;
- оформлення необхідних документів та юридичний супровід перевезення;
- навантаження та розвантаження товару;
- інформаційний супровід;
- оптимізація процесу з метою покращення якості транспортування та мінімізації витрат.

При необхідності до списку функцій можуть бути включені додаткові послуги, наприклад митні послуги або страхування.

Завдання транспортної логістики. Виходячи з мети та функцій, можна визначити основні завдання, які вирішує цей розділ логістики:

- аналіз пунктів доставки, властивостей вантажу та побудова попереднього маршруту;
- вибір відповідного виду транспорту;
- вибір перевізника та логістичних партнерів;
- побудова маршруту з усіма ключовими точками;
- контроль вантажу під час транспортування;
- оптимізація показників перевезення.

Розберемо кожне із завдань транспортної логістики докладніше.

Аналіз пунктів доставки та властивостей вантажу. На першому етапі визначається попередній маршрут, яким відбуватиметься транспортування. У цьому враховується географія території. Також відразу необхідно враховувати властивості вантажу, його вагу, обсяг, умови зберігання та перевезення.

На цьому етапі визначається необхідність використання кількох видів транспорту, спеціалізованого обладнання або проміжного зберігання вантажу.

Вибір транспорту. Тип транспорту залежить від типу місцевості, маршруту, а також умов та частоти транспортування. У логістиці транспорт ділиться серед переміщення:

- наземний транспорт: автомобілі та залізниця;
- водний транспорт: морські та річкові судна;
- повітряний транспорт.

Вибір потрібного виду транспорту здійснюється з умов перевезення (терміни, умови зберігання) і властивостей вантажу. У кожного з видів транспорту є свої плюси та мінуси. Але найчастіше вибір транспортних або транспортних засобів для перевезення вантажів обмежений регіонами, в яких знаходяться кінцеві точки.

Залежно від обраного чи вибраних транспортних засобів визначаються тарифи.

Тарифи – це ціна, яку виставляє перевізник за транспортування. До нього входять безпосередньо витрати на перевезення та надбавка, з якої складається прибуток. Тарифи можуть бути:

- відрядні;
- ставки на тонно/годинник;
- за часом використання транспорту;
- за кілометраж;
- за виїзд.

Вибір перевізника та логістичної компанії. Логістична компанія не завжди здійснює перевезення своїм транспортом. Часто вони звертаються до

підрядників: перевізників (здійснюють лише перевезення вантажу) або експедиторів (надають також додаткові послуги: оформлення документів). При виборі транспортної компанії важливо звернути увагу на:

- досвід роботи. Крім того, що довга робота компанії говорить про її надійність та авторитет, вона також означає, що всі логістичні процеси налагоджені та оптимізовані, що дозволяє знизити ризики при транспортуванні;
- працівники. Професійні співробітники знають, як чинити в непередбачених ситуаціях, і проконтролюють процес транспортування до кінця;
- спеціалізація. Краще вибирати компанію, яка має досвід роботи з типом вантажу, так як у кожній галузі існують свої нюанси перевезення, про які ви можете не знати.

Побудова маршруту. На цьому етапі опрацьовується кілька докладних варіантів маршруту, із зазначенням транспорту, точок тимчасового зберігання та, якщо потрібно, навантаження на інший вид транспорту. При цьому враховуються можливі ризики, витрати та затримки. Різні варіанти маршруту відрізняються за вартістю, термінами та витратами. Як правило, перевага надається маршруту з мінімальними витратами.

Контроль вантажу під час транспортування. Щоб уникнути непередбачених ситуацій під час транспортування, використовуються спеціальні технології (TMS – системи управління транспортом). Вони контролюють весь процес перевезення, у тому числі відстежують місцезнаходження вантажу та стан транспортного засобу.

Оптимізація транспортної логістики. Для найбільшої ефективності перевезень – зменшення собівартості, збільшення обсягів та швидкості транспортування – необхідна постійна оптимізація маршрутів та видів транспорту. Для цього потрібно відстежувати всі ці характеристики та прагнути їх покращувати.

У транспортній логістиці важливе місце займають час та фінанси, тому послуга вантажоперевезення має бути вигідною обом сторонам. Досягається зазвичай це наступним чином:

- запобігання псуванню та втраті продукції;
- скорочення запасів, що знаходяться на складі та в дорозі;
- збільшення відстані та обсягу вантажу. Перевозити одну партію на 500 км буде набагато дешевше ніж три на 250 кілометрів. Великий обсяг вантажу, у свою чергу, знижує витрати на транспортування 1 одиниці, але також може вимагати використання залізничного та водного транспорту.

Розглянемо докладніше види транспортної логістики. Логістика транспортних операцій ділиться на внутрішню (всередині компанії та між її філіями) та зовнішню (доставка від виробника клієнту). При цьому перевезення поділяються на:

- унімодальні. Здійснюються одним транспортом;
- мультимодальні. Декілька видів транспорту, які контролюються одним організатором;
- інтермодальні. Декілька видів транспорту, які курирують різні організатори;
- змішані. Перевезення, що здійснюються одним видом транспорту, але потребують використання крос-докінгу. Крос-докінг – тимчасове зберігання на маршруті, наскрізне складування, тобто без довготривалого зберігання;
- комбіновані. Те саме, що й змішані, але здійснюються двома і більш видами транспорту.

Також транспортна логістика ділиться за підходами на традиційний та логістичний.

При традиційному підході учасники перевезення взаємодіють послідовно, під час передачі вантажу на наступну ланку. При цьому на кожному етапі встановлюються свої тарифи.

При логістичному підході усім процесом перевезення керує один оператор з єдиним тарифом.

У транспортній логістиці можна виділити кілька типів компаній:

- транспортна компанія (перевізник);
- експедиційна компанія (експедиція);
- компанія-власник вантажу (клієнт).

Транспортна компанія має парк машин. Залежно від величини компанії кількість машин у парку може змінюватись від менше ніж десятка до сотень. Самі типи машин в автопарку також можуть бути різними:

– фургони – це види вантажних автомобілів, що відрізняються закритим кузовом або кузовом з тентом. Фургони у свою чергу можуть ділитися на:

- а) контейнери;
- б) вкриті тентом;
- в) рефрижератори.

– бортові – це тип вантажівок, які мають загальну конструкцію з відкритим вантажним відсіком;

– платформи для негабаритних вантажів – у таких вантажних автомобілів частини вантажу можуть випирати за межі машини під час перевезення.

Експедиційні компанії не мають свого транспорту для перевезень товарів і вантажів. Експедиційні компанії виступають сполучною ланкою між транспортними компаніями та клієнтами.

Клієнтська компанія відіграє ключову роль у всій схемі транспортної логістики. Клієнт може вибрати конкретного перевізника та працювати з ним на пряму, або найняти експедиційну компанію, яка підбере відповідного перевізника за критеріями вантажу, термінами та ціною.

Загальну схему взаємозв'язку елементів ланцюжка транспортної логістики можна наступним чином, див. рис. 1.1.

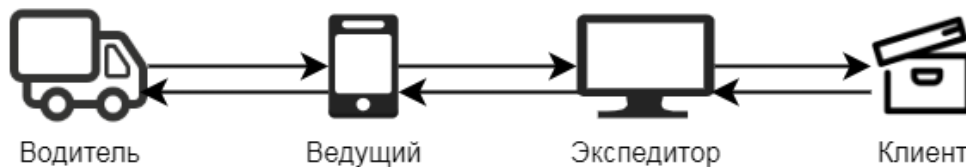


Рисунок 1.1 – Схема взаємозв'язку елементів ланцюжка транспортної логістики

Розглянемо докладніше елементи ланцюжка транспортної логістики, що наведена на рисунку 1.

Водій, приїжджає до точки навантаження, забирає вантаж і везе його до точки розвантаження.

Ведучий спілкується з водієм, направляє його, каже куди їхати та який вантаж забрати; контролює роботу водія. Якщо у водія виникають будь-які питання чи проблеми, він звертається до ведучого.

Експедитор керує процесом перевезення загалом, відстежує прибуття, відбуття та становище машин через спеціалізовані системи навігації. Експедитор також відстежує стан вантажу через експедитора, контролює документи перевезення; на пряму з водієм спілкування не відбувається.

Експедитор також спілкується з клієнтом, регулює з ним питання про замовлення. При цьому експедитор контролює ведучого з водієм, щоб вирішувати можливі проблеми та виконати зобов'язання перед клієнтом.

Автоматизація транспортної логістики. Для компаній, яким потрібні постійні послуги транспортування, а також для перевізників, неминучий процес автоматизації транспортної логістики для мінімізації витрат та розвитку бізнесу. Для цього використовуються спеціальні TMS (Transport Management System) – системи управління транспортом. Вони дозволяють не тільки оптимізувати весь процес, але і в автоматичному режимі підбирати маршрут та транспорт, залежно від типу вантажу, стежити за ним протягом усього перевезення та вносити коригування у маршрут.

2 ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ

2.1 Інформаційні системи у предметній області

Вимоги до швидкості та точності доставки постійно зростають, і багато підприємств приходять до розуміння того, що необхідні спеціальні системи управління для конкурентоспроможності бізнесу виробника, дистриб'ютора, поштового оператора, а також будь-якої компанії, якій потрібні постійні послуги транспортування [1]. Подібні спеціалізовані системи називаються система управління транспортом – TMS (Transport Management System) та призначені для різного рівня автоматизації процесу транспортної логістики [2].

TMS – це набір інструментів, пов'язаних між собою, який дозволяє постачальникам, перевізникам та замовникам автоматизувати логістичні процеси, скорочувати витрати на перевезення та економити час.

TMS дозволяє компанії та допомагає:

- спростити процеси, зробити їх прозорішими;
- відстежувати вантажі, навіть у режимі реального часу;
- збирати дані про всі вантажоперевезення в одному місці.

Також у TMS можуть бути присутніми елементи систем документообігу та аналітичні модулі, що дозволяють складати документи або комплекти документів для перевезення та звіти, на основі аналізу даних, а також допомагають виявити помилки та невідповідності.

TMS дозволяють не тільки оптимізувати весь процес, але і в автоматичному режимі підбирати маршрут та транспорт, залежно від типу вантажу, стежити за ним протягом усього перевезення та вносити коригування у маршрут.

Перелік функціональних можливостей, якими характеризуються сучасні системи управління транспортом на основі аналізу представлених на ринку

TMS [4-6] таких, як «ABM Rinkai» [7], «Ant Logistics» [8], «Qguar TMS »[9], «ITOGO.TMS», «Logist.ua», «AXELOT TMS X4» и «Artlogic» [10]:

- автоматичне планування маршрутів;
- облік умов доставки:
 - а) габарити та тип транспортного засобу;
 - б) тип товару, вага, габарити;
 - в) тимчасові вікна у роботі точок доставки;
 - г) категорії доріг, обмеження швидкості;
 - д) наявність обов'язкових точок доставки;
 - е) проїзд у певній геозоні;
 - ж) показники вантажів;
 - з) час завантаження/вивантаження;
 - и) оформлення документів.
- визначення оптимального порядку завантаження/розвантаження;
- повідомлення про час прибуття на точку доставки;
- онлайн контроль руху транспортного засобу;
- реєстрація відхилень руху за маршрутом (кілометраж, час, своєчасність доставки);
- легке перепланування маршрутів при форс-мажорах;
- обслуговування інтермодальних перевезень;
- обслуговування ADR (European Agreement on Transport of Dangerous, небезпечних вантажів);
- план-фактний аналіз;
- аналіз використання транспорту, тимчасових вікон та витрат часу на точках;
- комплексна аналітика з транспорту та клієнтам, у тому числі за рахунок порівняння плану та факту за маршрутами;
- оцінка транспортних витрат у розрізі автопарку, клієнтів, торгових точок;
- контроль заправок ПММ (паливно-мастильних матеріалів);

- контроль температурного режиму у кузові;
- мобільний застосунок.

З технічної точки зору представлені на ринку TMS є хмарними рішеннями, що надаються клієнтам за схемою SaaS (Software as a Service) – програмне забезпечення як послуга. SaaS це модель надання ліцензії на програмне забезпечення, за якої передплатникам пропонується готове прикладне програмне забезпечення. TMS можуть інтегруватися з різними CRM, ERP, SCM та GNSS (GPS) трекінговими системами. Також системи управління транспортом можуть бути інтегровані в вже існуючі програмні системи. Варто також відзначити, що нехай TMS і надають широкий функціонал можливостей, але впровадження такого рішення в корпоративну систему може вимагати складного попереднього налаштування або навіть доопрацювання для покриття необхідних бізнес-кейсів компанії.

У транспортній логістиці інформація одна із ключових чинників конкурентоспроможності. Конкурентоспроможність забезпечує така TMS, яка здатна забезпечити інформаційну підтримку:

- базових логістичних операцій;
- управлінського контролю, включаючи своєчасне, точне та динамічне надання консолідованої інформації;
- аналізу оперативних та стратегічних рішень.

2.2 Методи кластеризації даних

Кластеризація – задача групування множини об'єктів на підмножини (кластери) таким чином, щоб об'єкти з одного кластера були більш схожі один на одного, ніж об'єкти з інших кластерів за яким-небудь критерієм. Головна відмінність кластеризації від класифікації полягає в тому, що перелік груп чітко не заданий та визначається в процесі роботи алгоритму.

У транспортній логістиці кластеризація може застосовуватися для виділення груп пунктів із загальної кількості, для подальшої побудови маршруту для транспортного засобу всередині цієї групи.

– Застосування кластерного аналізу у загальному вигляді зводиться до наступних етапів:

- вибір вибірки об'єктів для кластеризації.
- визначення множини змінних, якими оцінюватимуться об'єкти у вибірці. За потреби – нормалізація значень змінних.
- обчислення значень міри схожості між об'єктами.
- застосування методу кластерного аналізу до створення груп подібних об'єктів (кластерів).
- подання результатів аналізу.

Після отримання та аналізу результатів можливе коригування обраної метрики та методу кластеризації до отримання оптимального результату.

Розв'язання задачі кластеризації принципово неоднозначне, тому є кілька причин:

- не існує однозначно кращого критерію якості кластеризації. Відомий цілий ряд евристичних критеріїв, а також ряд алгоритмів, які не мають чітко вираженого критерію, але здійснюють досить розумну кластеризацію «за побудовою». Усі вони можуть давати різні результати;
- кількість кластерів, як правило, невідомо заздалегідь і встановлюється відповідно до певного суб'єктивного критерію;
- результат кластеризації істотно залежить від метрики, вибір якої, як правило, також суб'єктивний та визначається експертом.

Можна виділити два типи класифікації методів кластеризації:

а) ієрархічні та не ієрархічні:

- 1) ієрархічні алгоритми будують не одне розбиття вибірки на кластери, що не перетинаються, а систему вкладених розбиття. На виході ми отримуємо дерево кластерів, корінням якого є вся вибірка, а листям – найдрібніші кластери;

2) не ієрархічно алгоритми будують одне розбиття об'єктів на кластери;

б) чіткі та нечіткі:

1) чіткі (непересічні) алгоритми кожному об'єкту вибірки ставлять у відповідність номер кластера, тобто. кожен об'єкт належить лише одному кластеру;

2) нечіткі (пересічні) алгоритми кожному об'єкту ставлять у відповідність набір речових значень, як би ступінь ставлення об'єкта до кластерів, тобто. кожен об'єкт відноситься до кожного кластера з деякою ймовірністю.

Вхідними даними при кластеризації зазвичай є:

– опис ознак об'єктів. Кожен об'єкт описується набором своїх характеристик, які називають ознаками. Ознаки можуть бути числовими чи нечисловими. Перед роботою описи ознак нормалізуються заданий діапазон;

– матриця відстаней між об'єктами. Кожен об'єкт описується відстанями до решти об'єктів навчальної вибірки.

Задача кластеризації по матриці відстаней є більш загальною. З іншого боку, за наявності описів ознак часто вдається будувати ефективніші методи кластеризації.

Матриця відстаней може бути обчислена за матрицею описів ознак об'єктів нескінченним числом способів, залежно від того, як запровадити функцію відстані (метрику) між описами ознак.

Основні метрики відстаней:

– евклідова відстань. Найбільш поширена функція відстані. Являє собою геометричну відстань у багатовимірному просторі

$$\rho(x, x') = \sqrt{\sum_i^n x_i - x'_i{}^2}. \quad (2.1)$$

– квадрат Евклідової відстані. Застосовується надання більшої ваги більш віддаленим друг від друга об'єктам. Ця відстань обчислюється за формулою

$$\rho(x, x') = \sum_i^n x_i - x'_i{}^2. \quad (2.2)$$

– метрика прямокутного міста (манхеттенська метрика). Ця відстань є середньою різницею за координатами (2.3). У більшості випадків ця міра відстані призводить до таких же результатів, як і для звичайної відстані Евкліда. Однак для цього заходу вплив окремих великих різниць (викидів) зменшується (бо вони не зводяться у квадрат).

$$\rho(x, x') = \sum_i^n |x_i - x'_i| \quad (2.3)$$

– відстань Чебишева. Ця відстань може бути корисною, коли потрібно визначити два об'єкти як «різні», якщо вони розрізняються за якоюсь однією координатою. Відстань Чебишева обчислюється за формулою

$$\rho(x, x') = \max(|x_i - x'_i|). \quad (2.4)$$

– ступінна відстань. Застосовується у разі, коли необхідно збільшити або зменшити вагу, що стосується розмірності, для якої відповідні об'єкти сильно відрізняються. Ступінна відстань обчислюється за такою формулою:

$$\rho(x, x') = \sqrt[r]{\sum_i^n x_i - x'_i{}^p}, \quad (2.5)$$

де r и p – параметри, що визначаються користувачем. Параметр p відповідає за поступове зважування різниць за окремими координатами, параметр r відповідає за прогресивне зважування великих відстаней між об'єктами. Якщо

обидва параметри, r та p , дорівнюють 2, то ця відстань збігається з відстанню Евкліда.

Результати кластеризації можуть суттєво відрізнятись під час використання різних метрик.

Для кластеризації даних, існує велика кількість методів, серед яких метод k -середніх (k -means), його покращена версія (k -means++) та метод нечіткої кластеризації C -середніх (Fuzzy C -Means, FCM).

2.2.1 Метод кластеризації k -середніх

Алгоритм розбиває множину елементів простору на відоме число кластерів k . Дія алгоритму така, що він прагне мінімізувати сумарне квадратичне відхилення точок кластерів від цих кластерів [11].

Основна ідея методу полягає в тому, що на кожній ітерації центр мас обчислюється заново для кожного кластера, отриманого на попередньому кроці, потім вектори розбиваються на кластери знову відповідно до того, який з нових центрів виявився ближчим за обраною метрикою.

Алгоритм завершується, коли на якійсь ітерації немає зміни внутрішньокластерної відстані. Це відбувається за кінцеве число ітерацій, так як кількість можливих розбиття кінцевої множини звичайно, а на кожному кроці сумарне квадратичне відхилення V зменшується, тому зациклювання неможливо.

Також, варто зазначити, що у методу кластеризації k -середніх є ряд проблем і недоліків:

- не гарантується досягнення глобального мінімуму сумарного квадратичного відхилення V , а лише одного з локальних мінімумів.

- результат залежить від вибору вихідних центрів кластерів, їхній оптимальний вибір невідомий;

- необхідно заздалегідь знати кількість кластерів.

Докладніше алгоритм описаний у розділі 4.3.1.

2.2.2 Покращена версія методу кластеризації k-середніх

Покращена версія методу кластеризації k-середніх, так само відома як k-means++, базується на версії методу кластеризації k-середніх і розширює його. Дане розширення методу кластеризації спрямовано оптимальний вибір початкових значень центрів кластерів [13].

Алгоритм методу кластеризації k-середніх не описує як знаходити початкові значення центроїдів кластерів, і тому є менш нестабільним, ніж його покращена версія.

Хоча початковий вибір у методі потребує додаткових витрат за часом, після цього методу кластеризації k-середніх дуже швидко сходиться. Таким чином, алгоритм фактично знижує час обчислень [13].

Докладніше алгоритм описаний у розділі 4.3.2.

2.2.3 Метод нечіткої кластеризації C-середніх

Алгоритм кластеризації нечіткої кластеризації C-середніх, також відомий як Fuzzy C-Means (FCM). На відміну від більшості існуючих алгоритмів кластеризації, даний алгоритм є нечітким – кожен з об'єктів не входить однозначно до будь-якого кластеру, а належить усім кластерам з різними ступенями належності. Це дає переваги при розбитті у випадках, коли кластери знаходяться близько один до одного, і велика кількість точок знаходиться на їх межах.

Однак ціною такої нечіткості служать більші обчислювальні витрати, ніж у таких чітких алгоритмів, як Hard C-Means (HCM) і метод кластеризації k-середніх, при збереженні таких недоліків, як необхідність заздалегідь знати число кластерів і відсутність гарантії глобальної оптимальності результату [12].

Докладніше алгоритм описаний у розділі 4.3.3.

2.3 Методи пошуку шляху на графі

Задача комівояжера – задач комбінаторної оптимізації, що полягає у пошуку найвигіднішого маршруту, що проходить через зазначені міста хоча б по одному разу з подальшим поверненням у вихідне місто. Задача комівояжера є одним з основних завдань у галузі транспортної логістики.

Суть завдання зводиться до пошуку оптимального (найкоротшого, найшвидшого або найдешевшого) шляху, що проходить через усі задані проміжні точки (пункти, міста) пункти по одному разу і повертається у вихідну точку. Мірою вигідності маршруту може бути мінімальний час поїздки, мінімальні витрати на дорогу або мінімальна довжина шляху.

Умови завдання повинні містити критерій вигідності маршруту (тобто повинен бути максимально коротким, швидким, дешевим або всі разом), а також вихідні дані у вигляді матриці витрат (відстані, вартості, часу і т. д.) при переміщенні між пунктами, що розглядаються. Особливості завдання в тому, що вона досить просто формулюється і знайти хороші рішення для неї також відносно просто, але водночас пошук дійсно оптимального маршруту для великого набору даних – непростий та ресурсомісткий процес. Для вирішення задачі комівояжера її треба подати як математичну модель. При цьому вихідні умови можна записати у форматі матриці – таблиці, де рядкам відповідають міста відправлення, стовпцям – міста прибуття, а в осередках вказуються відстані (час, вартість) між ними; або у вигляді графа – схеми, що складається з вершин (крапок, гуртків), що символізують міста, та ребер (ліній), що з'єднують їх, довжина яких відповідає відстані між містами.

Види завдання комівояжера за симетричністю ребер графа:

- симетрична – всі пари ребер, що з'єднують одні й самі вершини, мають однакову довжину (тобто. граф, що представляє вихідні дані завдання, є неорієнтованим). Іншими словами, довжина прямого шляху від міста А до міста В та довжина зворотного шляху від міста В до міста А однакові. Те саме справедливо і щодо інших пар міст;

– асиметрична – довжина пар ребер, що сполучають одні й ті самі міста, може відрізнятись (орієнтований граф). Для цього типу завдання комівояжера прямий шлях, наприклад, з міста А до міста В може бути коротшим або довшим за зворотний шлях із міста В до міста А. Таке може бути не тільки в теорії, а й у реальності – у разі доріг з одностороннім рухом.

Крім того, в загальному випадку пошуку найкоротшого шляху, що охоплює набір пунктів, які потрібно відвідати по одному разу, говорять про узагальнене завдання комівояжера.

Типи задачі комівояжера за замкністю маршруту:

– замкнута – знаходження найкоротшого шляху, що проходить через всі вершини по одному разу з подальшим поверненням у точку старту (маршрут виходить замкнутим, закільцьованим);

– незамкнута – знаходження найкоротшого шляху, що проходить через всі вершини по одному разу і без обов'язкового повернення у вихідну точку (маршрут виходить розімкненим).

Задачу комівояжера можна представити у вигляді моделі на графі, тобто, використовуючи вершини та ребра між ними. Таким чином, вершини графа відповідають містам, а ребра (i, j) між вершинами i і j – шляхи сполучення між цими містами. Кожному ребру (i, j) можна поставити у відповідність критерій вигідності маршруту $c_{ij} \geq 0$, який можна розуміти як, наприклад, відстань між містами, час чи вартість поїздки.

Методи розв'язання задачі комівояжера досить різноманітні і розрізняються інструментарієм, що використовується, точністю розв'язання і складністю необхідних обчислень:

– повний перебір – полягає у послідовному розгляді всіх можливих маршрутів та виборі їх оптимального. Метод найпростіший і точний, але неефективний і за великої кількості міст його застосування стає складним з огляду на значні витрати часу та ресурсів на перебір величезної кількості

варіантів вирішення задачі. Для прискорення та підвищення ефективності повного перебору використовуються різні прийоми:

- 1) метод гілок та кордонів;
- 2) паралельні обчислення.

– випадковий перебір – у разі обчислюються в повному обсязі можливі варіанти маршруту, лише деякі обрані у випадковому порядку (наприклад, з допомогою генератора випадкових чисел). З розглянутих варіантів потім вибирається найкращий. Звичайно, найімовірніше отримане рішення не буде оптимальним, але воно так само не буде найгіршим. Даний метод вимагає менших витрат часу та обчислювальних ресурсів, а тому в деяких випадках його застосування виправдане;

– динамічне програмування – ключова ідея полягає у обчисленні та запам'ятовуванні пройденого шляху від вихідного міста до всіх інших, подальшому додаванні до нього відстаней від поточних міст до тих, що залишилися, і так далі. Порівняно з повним перебором, цей метод дозволяє істотно скоротити обсяг обчислень.;

– жадібні алгоритми – засновані на знаходженні локально оптимальних рішень кожному етапі обчислень і припущенні, що знайдене в такий спосіб підсумкове рішення буде глобально оптимальним. Тобто. на кожній ітерації вибирається найкраща ділянка шляху, яка включається до підсумкового маршруту. Метод простий, але його великий недолік у тому, що може виникнути ситуація, коли виявиться, що початкова та кінцева точки маршруту рознесені далеко один від одного та їх доведеться з'єднувати довгим відрізком шляху, що значно знизить ефективність розв'язання. До жадібних алгоритмів відносяться:

- 1) метод найближчого сусіда;
- 2) модифікований метод найближчого сусіда;
- 3) метод найдешевшого включення;
- 4) тощо.

– метод імітації відпалу – один із чисельних методів Монте-Карло;

- метод еластичної мережі – кожен із можливих маршрутів розглядається як відображення кола на площину;
- мурашиний алгоритм – евристичний метод, заснований на моделюванні поведінки мурах, що шукають шляхи від колонії до джерел їжі. Цей метод дозволяє відносно швидко знайти хороше, але не обов'язково оптимальне рішення;
- генетичний алгоритм – ще один евристичний метод, що полягає у випадковому підборі та комбінуванні вихідних параметрів з використанням механізмів, що імітують природний відбір у процесі еволюції (спадкування, мутації, кросинговер). Незважаючи на досить широкі можливості застосування (і не лише у логістиці), цей метод часто стає об'єктом критики;
- метод гілок і кордонів – один із методів дискретної оптимізації, що є розвитком методу повного перебору, але відрізняється від нього відсіванням у процесі обчислення підмножин неефективних рішень.

2.3.1 Мурашиний алгоритм

Мурашині алгоритми є імовірнісною жадібною евристикой, де ймовірності встановлюються, виходячи з інформації про якість рішення, отриману з попередніх рішень. Мурашиний алгоритм моделює багатоагентну систему [16].

Ідея мурашиного алгоритму – моделювання поведінки мурах, пов'язаного з їхньою здатністю швидко знаходити найкоротший шлях від мурашника до джерела їжі та адаптуватися до умов, що змінюються, знаходячи новий найкоротший шлях. При своєму русі мураха мітить шлях феромоном, і ця інформація використовується іншими мурахами для вибору шляху. Це елементарне правило поведінки і визначає здатність мурах знаходити новий шлях, якщо старий виявляється недоступним.

Щоразу проходячи від мурашника до їжі і назад, мурахи залишають у себе доріжку феромонов. Інші мурахи, відчувши такі сліди на землі, будуть інстинктивно прямувати до нього. Оскільки ці мурахи теж залишають за собою

доріжки феромонів, то чим більше мурах проходить певним шляхом, тим привабливішим він стає для їхніх родичів. При цьому чим коротший шлях до джерела їжі, тим менше часу потрібно мурахам на нього – а отже, тим швидше залишені на ньому сліди стають помітними.

Мураха має набір простих правил, які дозволяють йому вибирати шлях у графі.

Кожна мураха зберігає у пам'яті список пройдених ним вузлів. Цей список називають списком заборон або пам'яттю мурахи. Вибираючи вузол для наступного кроку, мураха пам'ятає про вже пройдені вузли і не розглядає їх як можливі для переходу. На кожному кроці список заборон поповнюється новим вузлом, а перед новою ітерацією алгоритму – тобто перед тим, як мурашка знову проходить шлях – вона спустошується.

Крім списку заборон, при виборі вузла для переходу мураха керується «привабливістю» ребер, які він може пройти. Вона залежить:

- від відстані між вузлами (тобто від ваги ребра);
- від слідів феромонів, залишених на ребре мурахами, що пройшли по ньому раніше.

На відміну від ваг ребер, які є константними, сліди феромонів оновлюються на кожній ітерації алгоритму: як і в природі, згодом сліди випаровуються, а мурахи, що проходять, навпаки, посилюють їх.

При моделюванні процесу такої поведінки на деякому графі, ребра якого являють собою можливі шляхи переміщення мурах, протягом певного часу, найбільш збагачений феромоном шлях по ребрах цього графа і буде рішенням задачі, отриманим за допомогою мурашиного алгоритму.

Робота починається з розміщення мурах у вершинах графа (містах), потім починається рух мурах – напрямок визначається імовірнісним методом, на підставі формули

$$P_i = \frac{l_i^q \cdot f_i^p}{\sum_{k=0}^N l_k^q \cdot f_k^p}, \quad (2.6)$$

де P_i – ймовірність переходу по шляху i , l_i – величина, зворотна ваги (довжині) i -го переходу;

f_i – кількість феромону на i -м переході;

q – величина, що визначає «жадібність» алгоритму;

p – величина, що визначає «стадність» алгоритму.

Рішення не є точним і навіть може бути одним з найгірших, однак, через вдало підібрані евристики, ітераційне застосування алгоритму зазвичай дає результат, близький до оптимального.

Докладніше алгоритм описаний у розділі 4.4.1.

2.3.2 Генетичний алгоритм

Генетичний алгоритм – це клас еволюційних алгоритмів пошуку, що використовується для вирішення задач оптимізації та моделювання шляхом випадкового підбору, комбінування та варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, аналогічних до природного відбору в природі. Алгоритм симулює процес природного відбору, коли сильніші особини з популяції переживають слабших і виробляють наступне покоління особин.

Процес природного відбору починається з вибору сильних особин із популяції. Їхнє потомство успадковує характеристики батьків і є частиною наступного покоління особин. Якщо обидва батьки сильні, то їхнє потомство буде сильнішим за батьків.

Це ітеративний процес і завершується, коли знайшли найсильніші особини. Ця ідея застосовується для пошуку. Розглядається набір рішень для проблеми та відбирається набір найкращих з них.

Процес генетичного алгоритму поділяється на 5 етапів [18-19]:

– початкова популяція;

- функція сили особи;
- відбір найсильніших рішень;
- обмін характеристиками між двома особинами;
- мутація;
- нова ітерація зі створенням початкової популяції.

Процес починається з набору особин, що називається популяцією. Кожна особина – це вирішення проблеми, що була визначена. Особина характеризується набором параметрів (змінних), що називають генами. Закодована комбінація генів називається хромосомою. Гени об'єднані в один рядок і формують хромосому – розв'язання задачі.

Функція сили визначає, наскільки сильна окрема особина. Сила визначається як здатність особи конкурувати з іншими особинами по заданій метриці. Функція надає кожній особині рівень сили. Імовірність того, що особина буде обрана для твору наступної популяції, ґрунтується на рівні сили особи.

Ідея відбору полягає в тому, щоб відібрати найсильніших особин та передати їх гени наступному поколінню особин. N пар особин (батьки) відбирається на підставі їхньої сили.

Відмінною особливістю генетичного алгоритму є акцент на використання оператора схрещування, який проводить операцію рекомбінації рішень-кандидатів, роль якої аналогічна ролі схрещування в живій природі. Алгоритм схрещування наступний:

- з популяції вибираються дві особи, які будуть батьками;
- визначається (зазвичай випадковим чином) точка розриву;
- нащадок визначається як конкатенація частин першого та другого батьків.

Нашадок створюється через процес обміну генами батьків до випадково заданої позиції у рядку.

Після обміну генами між батьками потомство додається до нової популяції.

Якась частина генів буде малоймовірною. Щоб підтримувати різноманітність популяції, окремо прописується процес мутації нових особин.

Алгоритм завершує роботу, коли населення зійшлося, тобто не виробляє потомство, яке значно відрізняється від попереднього покоління. Коли алгоритм зійшовся, на виході виходить набір оптимальних розв'язків заданої проблеми.

Докладніше алгоритм описаний у розділі 4.4.2.

3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Уточнення предметної області

Задача дослідження та розробки методів маршрутизації транспортних засобів відноситься до функціональної можливості TMS – планування маршрутів, у тому числі автоматичне.

Маршрутизації транспортних засобів для системи мережевого ритейлу є однією із найпоширеніших задач транспортної логістики.

Мережевий ритейл – це мережа одноформатних (рідше різноформатних) магазинів, об'єднаних одним власником, єдиною системою логістики, закупівлі та єдиною товарною політикою. Використання різних інформаційних систем, у тому числі, пов'язаних з транспортною логістикою – одна з речей, які дозволяють знизити витрати, а значить запропонувати покупцеві ціни на продукцію значно нижчі, ніж у немережєвих торгових точках.

3.2 Обмеження предметної області

Транспортування спортивного одягу та взуття, що знижує жорсткі вимоги до завантаження та перевезення вантажу. Даний вид товарів досить однорідний і перевозитися в коробках і ящиках, що додатково упаковані в плівку.

При перевезенні одягу необхідно дотримуватися наступного переліку вимог:

- вантаж не піддається впливу дощу, не припадає пилом, вихлопних газів і т.п.
- стабільна температура і вологість, щоб уникнути деформації речей;
- чистий салон фургона, відсутність неприємних запахів.

Вимоги до умов перевезення дозволяють визначити необхідний тип машин для перевезення, а отже, і використовувати їх характеристики при побудові маршрутів.

З встановлених обмежень, для транспортування обраних типів товарів підходять вантажні автомобілі із закритим кузовом (фургони). Вантажопідйомність транспортних засобів такого типу знаходиться у межах від 400 кг до 10 тонн; у складі автопотягу вантажопідйомність може зрости до 45 тонн. Проте варто врахувати, що згідно з нормативними документами допускається перевезення одягу автотранспортом вагою в межах 1,5-5 тонн та обсягом до 40 куб.м.

Через тип товарів, що перевозяться, та вимог до їх транспортування, завантаження та компонування машини відбуватиметься у зворотному порядку від розвантаження. Тобто чим більше видалена рітейл точка за розрахованим маршрутом, тим раніше товари для цієї точки будуть завантажені в транспортний засіб.

При транспортуванні вантажів також враховуються час та терміни доставки. Також слід зазначити, що терміни доставки можуть бути не фіксованими, а плаваючими. Плаваючі терміни доставки допускають прибуття вантажу на точку розвантаження в часовому інтервалі від кількох годин до кількох днів.

3.3 Етапи проведення досліджень

Для маршрутизації транспортних засобів для системи мережевого рітейлу необхідно виконання наступних етапів [25]:

- формування планів постачання;
- кластеризація рітейл точок;
- побудова маршрутів;
- перевірка збудованих маршрутів.

3.3.1 Підготовчі етапи

Перш ніж перейти до вивчення та дослідження методів маршрутизації транспортних засобів, тобто етапу побудови маршрутів, нам необхідно виконати кілька підготовчих етапів.

Карта мережі ритейла представлена центральним складом та мережею ритейл точок у містах, розподілених по карті на різному віддаленні від складу. Міста пов'язані між собою мережу доріг. Таким чином, карта розташування складу та мережі ритейл точок може бути представлена у вигляді графа, де вершини – це ритейл точки в містах, а ребра – дороги між містами.

Найчастіше у певних географічних областях може переважати попит певні види товарів, водночас в інших областях попит на ці товари може перебувати лише на рівні нижче середнього. Інформацію про попит на різні види товарів у різних містах та областях (група міст) виходить з історії покупок скоєних у ритейлі точках розташованих у них. Це можуть бути дані, як за весь час, так і залежно від пори року.

З урахуванням історії покупок у містах та областях стандартний план постачань коригується з урахуванням характерних рис для відповідних міст та областей.

Другим не менш важливим етапом перед побудовою маршрутів – це розбиття наявної мережі ритейл точок на так звані регіони. Для отримання регіонів множина кінцевих точок постачання кластеризуються на підмножини за певними критеріями. У даному випадку, географічному [27].

Після отримання кластерів ритейл точок проводиться оцінка отриманих підмножин. Залежно від результатів оцінки може виникнути необхідність у проведенні повторної кластеризації мережі ритейл точок зі зміненими параметрами.

3.3.2 Основні етапи

Після отримання розбитих на регіони ритейл точок починається етап побудови маршрутів усередині отриманих регіонів. Залежно від розмірів

регіонів, кількості рітейл точок у ньому, а також через наявні обмеження за часом, термінами доставки вантажів та вантажопідйомності машин може виникнути потреба в побудові декількох маршрутів для доставки товарів у всі необхідні рітейл точки регіону.

Отримані маршрути перевіряються на відповідність заданим обмеженням. Якщо маршрут не задовольняє поставленим вимогам, то в цьому регіоні будуються кілька маршрутів. Для побудови кількох маршрутів усередині регіону, регіон кластеризується для отримання субрегіонів.

3.4 Постановка задачі дослідження та її формалізація

Задача складається з чотирьох послідовних етапів.

Нехай R – множина рітейл точок, а I – множина товарів.

На першому етапі стандартний план постачань коригується з урахуванням історії покупок [25].

Історію покупок H для всіх рітейл точок у певний період часу можна описати в наступному вигляді:

$$H = h_r \mid r \in R, \quad (3.1)$$

де h_r історія покупок кожного товару для конкретної рітейл точки.

Історію покупок h_r можна описати як множину кількості покупок кожного товару

$$h_r = p_i \mid i \in I, r \in R, \quad (3.2)$$

де p_i кількість товару конкретного виду проданого в конкретній рітейл точці.

Стандартний план постачання s' описується наступним чином:

$$s' = j'_i \mid i \in I, \quad (3.3)$$

де j'_i – кількість товару кожного виду.

Конкретний план постачань для конкретної ритейл точки s_r описується наступним чином:

$$s_r = j_i \mid i \in I, r \in R, \quad (3.4)$$

де j_i – відповідно кількість товару кожного виду.

Кількість товару для конкретної ритейл точки розраховується за формулою:

$$j_i = j'_i \cdot k_a a_i + k_b b_i + k_c c_i, \quad (3.5)$$

де j'_i – кількість товару кожного виду у стандартному плані постачань (3.3);

k_a, k_b, k_c – вагові коефіцієнти;

a_i – коефіцієнт продажів товару даного типу за період, що минув з попереднього постачання (3.6);

b_i – коефіцієнт продажу товару даного типу за аналогічний період минулого року (3.7);

c_i – коефіцієнт продажів товару даного типу за період аналогічний наступному торік (3.8).

Вагові коефіцієнти знаходяться емпіричним методом. Значення коефіцієнтів повинні бути такими, щоб результуюча кількість товарів для конкретної ритейл точки була достатньою не тільки щоб поповнити запаси проданих товарів, але й задовольнити запланований попит.

Значення вагових коефіцієнтів були обрані наступними:

$$\begin{aligned}k_a &= 0,4; \\k_b &= 0,15; \\k_c &= 0,45.\end{aligned}$$

Значення коефіцієнтів продажу товарів a_i, b_i, c_i розраховуються за формулами (3.6), (3.7), (3.8).

$$a_i = \frac{p_i}{j_i'}, \quad (3.6)$$

де p_i – кількість товару конкретного виду проданого за період, що пройшов з попереднього постачання в історії покупок у конкретній рітейл точці (3.2);

j_i' – кількість товару конкретного виду у стандартному плані постачань (3.3).

$$b_i = \frac{p_i}{p_i'}, \quad (3.7)$$

де p_i – кількість товару конкретного виду проданого за період, що пройшов з попереднього постачання в конкретній рітейл точці (3.2);

p_i' – кількість товару конкретного виду проданого за аналогічний період, що пройшов з попереднього постачання минулого року до конкретної рітейл точці (3.2).

$$c_i = \frac{p_i''}{j_i'}, \quad (3.8)$$

де p_i'' – кількість товару конкретного виду проданого за період аналогічний наступному торік у конкретній рітейлі точці (3.2);

j_i' – кількість товару конкретного виду у стандартному плані постачань (3.3).

На виході етапу маємо множину планів постачань (3.9) для кожної конкретної рітейл точки (3.4).

$$S = s_r \mid r \in R, \quad (3.9)$$

На другому етапі, відбувається формування регіонів – множин ритейл точок, об'єднаних загальними ознаками [26].

На вхід подається набір даних ритейл точок R . Кожна ритейл точка характеризується координатами x та y у заданій координатній системі.

На виході маємо множину K кластеризованих ритейл точок r , де $r \in R$.

Для цього етапу використовуються такі методи кластерного аналізу: метод кластеризації k -середніх, метод k -means++ (покращена версія алгоритму кластеризації k -середніх, що дозволяє оптимально вибирати значень початкових центрів кластерів), метод нечіткої кластеризації C -середніх [11-12]. Алгоритми методів розглянуті у розділі 4.3.

На третьому етапі будуються маршрути транспортування всередині регіонів.

На вхід подається регіон k , де Кожен регіон містить множину ритейл точок r , де $r \in R$. На виході маємо маршрут L , що проходить через ритейл точки r заданого регіону k .

Для цього етапу розглядаються такі алгоритми пошуку шляху: мурашиний алгоритм та генетичний алгоритм [18-19]. Алгоритми розглянуті у розділі 4.4.

На останньому етапі виконується перевірка побудованих на попередньому етапі маршрутів. Для кожного з маршрутів L , розраховується, необхідне завантаження M , а також час транспортування T .

Для кожного з маршрутів повинні виконуватись обмеження (3.10) і (3.11).

$$M \leq M_0 \Rightarrow \sum_{r=1}^n m_r \leq M_0, \quad (3.10)$$

де M_0 – максимальна вантажопідйомність транспортного засобу, згідно з його характеристиками, а також обмеженнями щодо перевезення згідно з нормативними документами;

m_r – маса вантажу для конкретної рітейл точки.

$$T \leq T_0 + T_\alpha \Rightarrow t_z + \sum_{r=1}^n (t_r + t_{y_r}) \leq T_0 + T_\alpha, \quad (3.11)$$

де T_0 – обмеження за часом, виходячи з заданих термінів;

T_α – допустима похибка прибуття на основі вікна прибуття при плаваючих термінах доставки;

t_z – час завантаження машини на складі;

t_r – час шляху до рітейл точки від попереднього пункту маршруту;

t_{y_r} – час розвантаження необхідних товарів для рітейл точки.

4 РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ТА КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ

4.1 Архітектура системи

Програмний засіб для вирішення поставленого завдання буде набір окремих програм пов'язаних між собою скриптами. Кожна з програм відповідає за вирішення конкретного завдання чи етапу. Скрипти виконують керуючу роль: запускають програми та контролюють їх виконання, займаються моніторингом виконання програм, отримують дані як результат роботи програм, готують дані для передачі програм як вхідні дані.

Також в даному програмному комплексі представлено графічний інтерфейс для візуального відображення результатів розрахунків.

Визначимо порядок виконання етапів та завдань:

- формування планів постачання;
- кластеризація рітейл точок;
- побудова маршрутів;
- оцінка збудованих маршрутів;
- візуалізація отриманих результатів.

4.2 Опис компонентів системи

4.2.1 Основні компоненти

Формування планів постачання. Формування планів постачань для рітейл точок відбувається на основі стандартного плану постачань. Стандартний план коригується з урахуванням характерних рис для відповідних міст та областей (груп міст) отриманих на основі історії покупок. Саме стандартний план постачань та набір даних про історія покупок для рітейл точок є вхідними даними для програми. В результаті роботи програми ми маємо набір даних, що є скоригованими планами постачань для рітейл точок.

Кластеризація ритейл точок. Карта нашої мережі ритейлу з розташуванням складу та мережі ритейл точок представлена у вигляді графа, де вершини – це ритейл точки в містах, а ребра – дороги між містами. Цей граф є необхідними даними для роботи програми. Провівши кластеризацію, ми отримуємо набір підмножин, які потрібно оцінити. Якщо отриманий набір кластерів нас не задовольняє, ми повторюємо процес кластеризації зі зміненими параметрами. Отриманий набір множин, який задовольняє нас, є вихідними даними роботи програми. Нехай кожна отримана множина буде називатися регіоном.

Побудова маршрутів. Отримані на етапі кластеризації регіони є вхідними для вирішення поточного завдання. Використовуючи ці методи, програма будує маршрут усередині регіону. Отриманий маршрут перевіряється. Якщо побудований маршрут задовольняє висунутим щодо нього вимогам, він зберігається. Для побудови кількох маршрутів усередині регіону, нам необхідно кластеризувати регіон для отримання субрегіонів.

Оцінка маршрутів. Кожен отриманий раніше маршрут перевіряється на відповідність заданим обмеженням у часі, термінам доставки вантажів та вантажопідйомності машин. Якщо маршрут не задовольняє поставленим вимогам, ми будуємо кілька маршрутів у цьому регіоні, кожен з яких після цього буде також перевірено.

Графічний інтерфейс. Графічний інтерфейс для візуального відображення результатів розрахунків буде побудований на основі web-технологій і буде web-додатком. Вхідними даними є результати проведених обчислень. Як результат інтерфейс надає графічне представлення отриманих результатів побудови маршрутів транспортних засобів у системі мережного ритейлу від центрального складу до ритейл точок.

4.2.2 Допоміжні компоненти

Насамперед необхідно виділити керуючий скрипт. Він є точкою входу та керує запуском усіх компонентів, включаючи послідовний запуск програм для обчислень.

Після запуску програми скрипт переходить у режим очікування, доки програма не завершить свою роботу. Після завершення роботи програми одного з етапів, скрипт, якщо потрібно, запускає інший скрипт для підготовки даних, якщо потрібно, а потім запускає програму наступного етапу розв'язання задачі.

Скрипт моніторингу. Займається відстеженням ресурсів що використовуються програмами та іншими скриптами, таких як час виконання, обсяг пам'яті, що використовується.

Скрипти підготовки даних. Запускаються між етапами розв'язання задачі для підготовки вихідних даних однієї програми до подальшого їх використання у якості вхідних даних для іншої.

Скрипти валідації вхідних даних. Призначені для перевірки таких вхідних даних як граф мережі ритейл точок, стандартний план постачань та історії покупок на коректність.

4.3. Методи вирішення задач кластеризації

Для отримання набору регіонів (множини ритейл точок об'єднаних за географічною ознакою) використовується кластеризація.

Нехай X – множина об'єктів (ритейл точок), Y – множина ідентифікаторів (міток) кластерів (заздалегідь задане число регіонів, може дорівнювати доступній кількості транспортних засобів в автопарку). На множині X задана функція відстані між об'єктами $\rho(x, x')$. Дана кінцева навчальна вибірка об'єктів $X^m = \{x_1, \dots, x_m\} \subset X$. Необхідно розбити вибірку на підмножини (кластери), тобто кожному об'єкту $x_i \in X^m$ зіставити мітку $y_i \in Y$, таким чином, щоб об'єкти всередині кожного кластера були близькі щодо метрики. ρ , а об'єкти з різних кластерів значно відрізнялися.

Алгоритм кластеризації – функція $a : X \rightarrow Y$, яка будь-якому об'єкту $x \in X$ ставить у відповідність ідентифікатор кластера $y \in Y$.

Множина Y може бути відомо заздалегідь, проте якщо немає обмежень щодо необхідної кількості кластерів, то ставиться завдання визначити оптимальну кількість кластерів, з точки зору того чи іншого критерію якості кластеризації.

Кластеризація (навчання без вчителя) відрізняється від класифікації (навчання з вчителем) тим, що мітки об'єктів з навчальної вибірки y_i спочатку не задані, і може бути невідома сама множина Y .

Для оцінки якості кластеризації завдання можна переформулювати у термінах задачі дискретної оптимізації. Необхідно так зіставити об'єктам із множини X мітки кластерів, щоб значення обраного функціоналу якості набуло найкращого значення. Як приклад, прагнуть досягти мінімуму середньої внутрішньокластерної відстані F_0 (4.1) або максимуму середньої міжкластерної відстані F_1 (4.2).

$$F_0 = \frac{\sum_{i < j} [y_i = y_j] \cdot \rho(x_i, x_j)}{\sum_{i < j} [y_i = y_j]} \quad (4.1)$$

$$F_1 = \frac{\sum_{i < j} [y_i \neq y_j] \cdot \rho(x_i, x_j)}{\sum_{i < j} [y_i \neq y_j]} \quad (4.2)$$

4.3.1 Метод k-means

Алгоритм k-means розбиває набір X на k наборів S_1, S_2, \dots, S_k , таким чином, щоб мінімізувати суму квадратів відстаней від кожної точки кластера до центру (центр мас кластера) [11]. Введемо позначення, $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$. Тоді дія алгоритму k-means рівносильна пошуку:

$$\arg \min_S \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S} \rho(x, \mu_i)^2, \quad (4.3)$$

де μ_i – центри кластерів, $\rho(x, \mu_i)$ – функція відстані між x та μ_i .

Кроки алгоритму [11-12]:

- до кожного спостереження вихідної множини визначається найближчий до нього центр кластера (2.1);
- вибирається довільна множина точок μ_i , що розглядаються як початкові центри кластерів $\mu_i^{(0)} = \mu_i, i = 1..k$;
- розподіл векторів за кластерами

$$x_i \in S_j \Leftrightarrow j = \arg \min_k \rho(x, \mu_k^{(t-1)})^2, \quad (4.4)$$

де $i = 1..n$, t – крок алгоритму.

- перерахунок центрів кластерів

$$\mu_i = \frac{1}{|S_i|} \sum_{x \in S_i} x, i = 1..k, \quad (4.5)$$

де S_i – кластер, k – задана кількість кластерів.

Повторювати кроки 1 і 2 до тих пір, поки значення μ_i не перестане змінюватися.

Основною обчислювальною частиною алгоритму є кроки 2 та 3: розподіл векторів за кластерами та перерахунок центрів кластерів.

Розподіл векторів за кластерами передбачає обчислення відстаней між кожним вектором $x_i \in X$, $i = 1, \dots, n$ та центрами кластера μ_j , $j = 1, \dots, k$.

Таким чином, цей крок передбачає kn обчислень відстаней між d -мірними векторами.

Перерахунок центрів кластерів передбачає k обчислень центрів мас μ_i множин S_i , $i = 1, \dots, k$, представлених виразом у кроці 3 представленого вище алгоритму.

4.3.2 Метод k-means++

k-means++ – покращена версія алгоритму кластеризації k-means. Суть поліпшення полягає у знаходженні оптимальних початкових значень центроїдів кластерів. Оригінальні k-means не регламентують те, як виконується цей етап алгоритму, і тому є нестабільним [13].

Алгоритм вибору початкових значень:

- вибрати перший центроїд випадковим чином (серед усіх точок);
- для кожної точки знайти значення квадрата відстані до найближчого центроїду (з тих, що вже вибрано);
- вибрати з цих точок наступний центроїд так, щоб ймовірність вибору точки була пропорційна обчисленому для неї квадрату відстані. При виборі кожного наступного центроїду спеціально слідкувати за тим, щоб він не збігся з однією з уже обраних як центроїди точок, не потрібно, оскільки ймовірність повторного вибору деякої точки дорівнює 0;
- повторювати кроки 2 і 3, доки не будуть знайдені всі необхідні центроїди.

Далі відбувається кластеризація методом k-means окрім першого кроку, так як початкові значення вже були обрані. Див. розділ 4.3.1.

4.3.3 Метод Fuzzy C-Means

Метод нечіткої кластеризації C-середніх дозволяє розбити наявну множину елементів потужністю N на задану кількість нечітких множин k [12].

Алгоритм методу нечіткої кластеризації C-середніх:

- задати випадковим чином k центрів кластерів c_j , $j = 1..k$;

- розрахувати матрицю приналежності елементів до кластерів r за формулою (4.6)

$$r_{ij} = \frac{d(x_i, c_j)}{\sum_j^k d(x_i, c_j)}, \quad (4.6)$$

де x_i – i -й елемент множини;

c_j – центр кластера j ;

$d(x_i, c_j)$ – відстань між точками x_i и c_j .

- перемістити центри кластерів (4.7)

$$c_j \leftarrow \frac{\sum_i r_{ij} x_i}{\sum_i r_{ij}}, \quad (4.7)$$

- розрахувати функцію втрат (4.8)

$$J = \sum_j^k \sum_i^N d(x_i, c_j)^2 r_{ij}; \quad (4.8)$$

- якщо значення функції втрат зменшується, повторити цикл з кроку 2.

4.4. Методи вирішення задачі побудови маршрутів

На вхід подається регіон, що містить множини ритейлів точок, у вигляді графа.

Вибір найкращого з варіантів маршруту для заданого регіону записується у вигляді умов (4.9) та (4.10)

$$\arg \max_M f(M) \in M \mid M_0 \geq f(M) , \quad (4.9)$$

де M_0 – максимальна вантажопідйомність транспортного засобу, згідно з його характеристиками, а також обмеженнями щодо перевезення згідно з нормативними документами.

$$\arg \min_T f(T) \in T \mid (T_0 + T_\alpha) \geq f(T) , \quad (4.10)$$

де T_0 – обмеження за часом, виходячи з заданих термінів, T_α – допустима похибка прибуття на основі вікна прибуття при плаваючих термінах доставки.

4.4.1 Мурашиний алгоритм

Будь-який мурашиний алгоритм, незалежно від модифікацій, представимо у такому вигляді [14]:

Поки (умови виходу не виконані)

- створюємо мурах;
- пошук рішення;
- оновлюємо феромон;
- додаткові дії (опціонально).

Створюємо мурах. Стартова точка, куди міститься мураха, залежить від обмежень, що накладаються умовами завдання. Тому що для кожного завдання спосіб розміщення мурах є визначальним. Або всі вони містяться в одну точку, або в різні з повтореннями, або без повторень.

На цьому етапі задається початковий рівень феромона. Він ініціалізується невеликим позитивним числом для того, щоб на початковому кроці ймовірності переходу до наступної вершини не були нульовими.

Пошук рішення. Ймовірність переходу з вершини i у вершину j визначається за формулою (4.11)

$$P_i = \frac{l_i^q \cdot f_i^p}{\sum_{k=0}^N l_k^q \cdot f_k^p}, \quad (4.11)$$

де P_i – ймовірність переходу по шляху i , l_i – величина, зворотна ваги (довжині) i -го переходу (евристична відстань);

f_i – кількість (рівень) феромону на i -м переході;

q – константний параметр, величина, що визначає «жадібність» алгоритму;

p – константний параметр, величина, що визначає «стадність» алгоритму.

Необхідний компроміс між величинами q та p , щоб пом'якшувати жадібність алгоритму і не застрягати в локальних мінімумах, який перебуває експериментально.

Оновлюємо феромон. Рівень феромону оновлюється відповідно до формули (4.12).

$$f'_i = (1 - \alpha)f_i + \sum_{k \in \{used(i)\}} \frac{Q}{L_k}, \quad (4.12)$$

де α – інтенсивність випаровування;

L_k – ціна поточного рішення для мурахи k ;

Q – параметр, що має значення порядку ціни оптимального рішення, тобто $\frac{Q}{L_k}$ –

феромон, що відкладається мурахою k , що використовує перехід i [15-16].

Додаткові події. Зазвичай цьому етапі використовується алгоритм локального пошуку, проте може також використовуватися і після пошуку всіх рішень.

4.4.2 Генетичний алгоритм

Алгоритм симулює процес природного відбору, коли сильніші особини з популяції переживають слабших і виробляють наступне покоління особин.

Схема функціонування генетичного алгоритму представлена у такому вигляді:

1. Ініціювати початковий момент часу $t = 0$. Випадковим чином сформувати початкову популяцію, що складається з k особ $B_0 = A_1, A_2, \dots, A_k$.
2. Обчислити пристосованість (фінес) кожної особи $F_{A_i} = fit(A_i)$, $i = 1 \dots k$ та популяції у цілому $F_t = fit(B_t)$. Значення цієї функції визначає наскільки добре підходить особина, описана даною хромосомою, для вирішення задачі.
3. Обрати осіб A_c з популяції $A_c = get(B_t)$.
4. З певною ймовірністю (ймовірністю кросоверу P_c) вибрати другу осіб з популяції $A_{c_1} = get(B_t)$ та зробити оператор кросовера $A_c = crossing(A_c, A_{c_1})$.
5. З певною ймовірністю (ймовірністю мутації P_m) виконати оператор мутації $A_c = mutation(A_c)$.
6. З певною ймовірністю (ймовірністю інверсії P_i) виконати оператор інверсії $A_c = inversion(A_c)$.
7. Помістити отриману хромосому в нову популяцію $insert(B_{t+1}, A_c)$.
8. Виконати операції, починаючи з пункту 3, k разів.
9. Збільшити номер поточної епохи $t = t + 1$.
10. Якщо виконано умову зупинки, то завершити роботу, інакше перехід на крок 2 [17-19].

Найбільшу роль успішному функціонуванню алгоритму грає етап відбору батьківських хромосом на кроках 3 і 4. У цьому можливі різні варіанти. Найчастіше використовується метод відбору, що називається рулеткою. При використанні такого методу можливість вибору хромосоми визначається її

пристосованістю, тобто $P_{getA_i} = \frac{fit(A_i)}{fit(A_t)}$. Використання цього методу призводить до того, що можливість передачі ознак більш пристосованими особами нащадкам зростає.

Інший метод, що часто використовується, — турнірний відбір. Він полягає в тому, що випадково вибирається кілька особин із популяції (зазвичай дві) і переможцем вибирається особина з найбільшою пристосованістю [24].

Інший важливий момент – визначення критеріїв зупинки. Зазвичай як їх застосовують або обмеження на максимальну кількість епох функціонування алгоритму, або визначення його збіжності, зазвичай шляхом порівняння пристосованості популяції на декількох епохах і зупинки при стабілізації цього параметра.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ

5.1 Маршрутизація у регіоні з 10 точками

Є регіон із десятима точками торгової мережі. У центрі регіону розташований склад. На малюнку 5.1 представлена візуалізація регіону. Необхідно побудувати маршрути доставки потрібних товарів у необхідній кількості до відповідних точок торгової мережі.

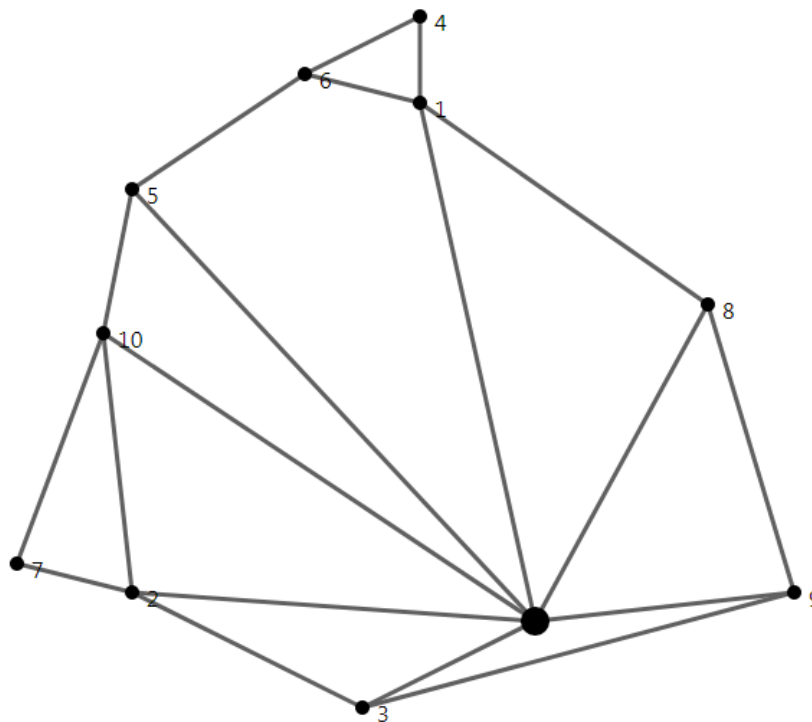


Рисунок 5.1 – Візуалізація регіону з десятима точками торгової мережі та складом

Першим етапом проводиться формування плану постачання використовуючи формулу (3.9). При розрахунку конкретного плану постачання товарів для кожної з ритейл точок за формулою (3.4) враховуються стандартний план постачань, а також історії покупок у цій ритейлі точці за період минулий з часу попереднього постачання, за аналогічний період рік тому і за планований період, але в попереднього року. Період між постачаннями – 1 місяць.

При формуванні плану постачань ми враховуємо: історію покупок у цій торговій точці за період минулий з часу попереднього постачання – для поповнення запасів; історію покупок у цій торговій точці за аналогічний період, але минулого року – для нівелювання вплив несподіваних подій, що вплинули на збільшення або зменшення попиту; історію покупок на період аналогічний до наступного, але рік – для врахування сезонного збільшення або зменшення продажів окремих товарів.

Вплив кожної з історій покупок на майбутній план постачання коригується ваговими коефіцієнтами. Вагові коефіцієнти знайдені емпіричним шляхом. Значення коефіцієнтів повинні бути такими, щоб результуюча кількість товарів для конкретної ритейл точки була достатньою не тільки щоб поповнити запаси проданих товарів, але й задовольнити запланований попит.

На виході етапу маємо множину планів постачань для кожної конкретної ритейл точки, див. таблицю 5.1. Кожен рядок таблиці – план постачання конкретної ритейл точки. Асортимент кожної торгової точки складається із двадцяти видів товарів.

Таблиця 5.1 – Сформований план постачання

№ точки	Кількість товарів									
	1	15	15	8	13	15	13	15	17	11
2	10	11	12	13	8	16	11	16	20	19
3	7	10	14	16	11	17	11	12	13	18
4	18	18	13	9	7	15	12	20	14	11
5	2	15	14	13	6	10	13	5	12	10
6	8	12	16	11	14	12	12	6	13	13
7	11	14	11	16	12	15	13	16	16	14
8	17	15	15	12	11	11	8	12	13	10
9	11	13	18	10	11	13	19	17	17	15
10	15	14	14	10	12	14	16	10	18	4

Після отримання плану постачання починається другий етап – кластеризація множини точок регіону на субрегіони. Розбиття відбувається на 2 кластери.

Візуалізація результатів кластеризації методами k-середніх, покращеної k-середніх та нечіткої кластеризації C-середніх представлені на рисунках 5.2, 5.3 та 5.4 відповідно.

Отримані кластери ритейл точок оцінюються за критерієм вантажопідйомності за формулою 3.10. Вантажопідйомність машин – 750 у.о.

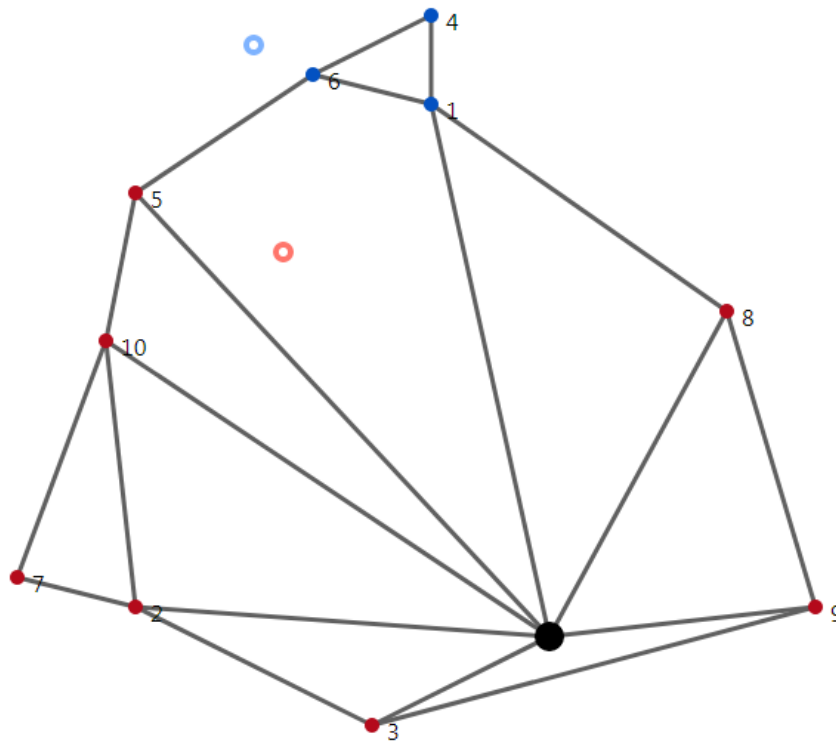


Рисунок 5.2 – Візуалізація результатів кластеризації k-середніх

Перевірка вантажопідйомності кластерів, отриманих методом k-середніх.

Для першого кластера, що складається з ритейл точок: 1, 4, 6 – вантажопідйомність дорівнює 300 у.о.

Для другого кластера, що складається з ритейл точок: 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10 – вантажопідйомність дорівнює 700 у.о.

Для кластерів отриманих методом k-середніх вантажопідйомність всіх можливих маршрутів знаходиться в межах допустимих значень.

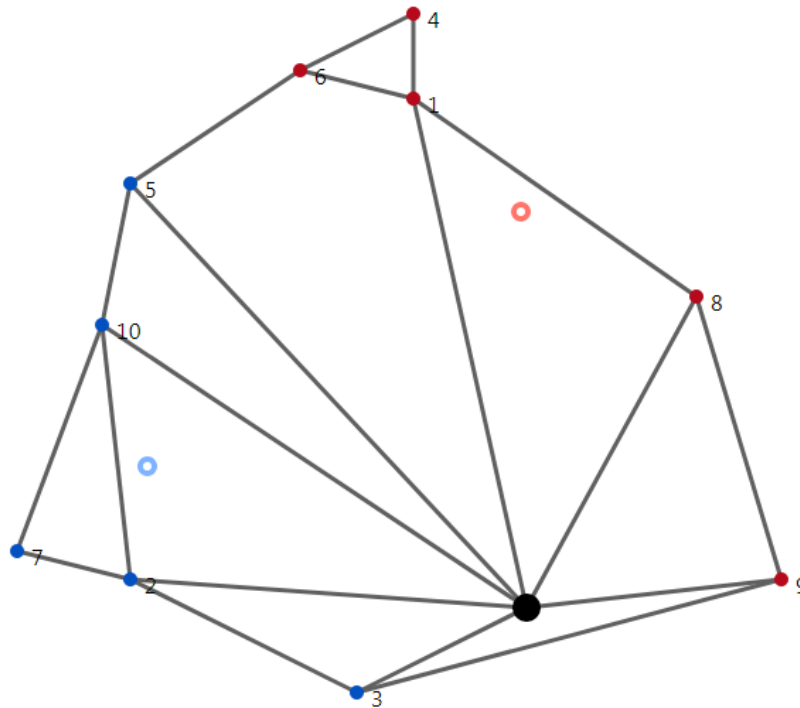


Рисунок 5.3 – Візуалізація результатів кластеризації покращеною версією методу кластеризації k-середніх

Кластеризація методами k-середніх (рис. 5.2) та покращеним методом k-середніх (рис. 5.3) дали схожі результати. Підібрані випадковим чином початкові значення центроїдів виявилися приблизно відповідними обчисленим значенням центроїдів у покращеному методі k-середніх, див. розділ 4.3.2.

Перевірка вантажопідйомності кластерів, отриманих покращеним методом k-середніх.

Для першого кластера, що складається з ритейл точок: 5, 10, 7, 2, 3 – вантажопідйомність дорівнює 500 у.о.

Для другого кластера, що складається з ритейл точок: 9, 8, 1, 4, 6 – вантажопідйомність дорівнює 500 у.о.

Для кластерів отриманих покращеним методом k-середніх вантажопідйомність всіх можливих маршрутів знаходиться в межах допустимих значень.

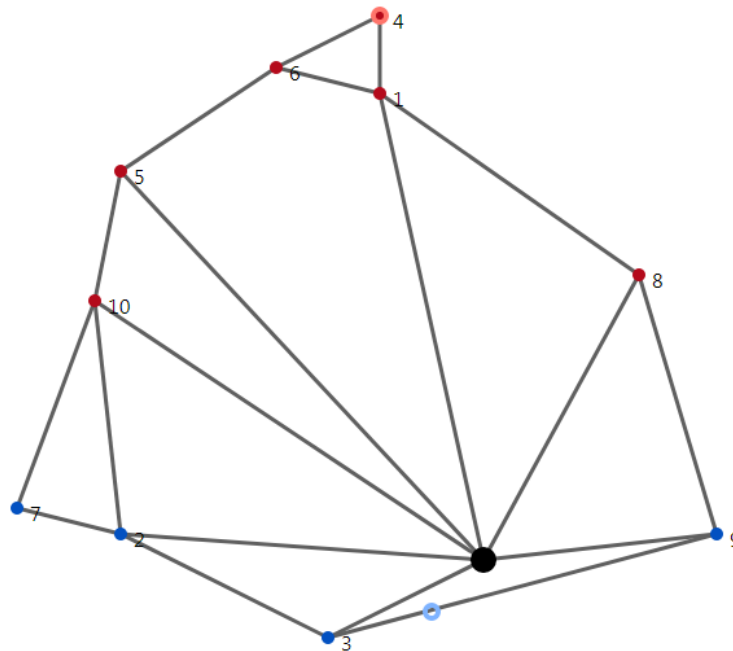


Рисунок 5.4 – Візуалізація результатів нечіткої кластеризації С-середніх

Перевірка вантажопідйомності кластерів отриманих покращеним методом нечіткої кластеризації С-середніх.

Для першого кластера, що складається з ритейл точок: 9, 3, 2, 7 – вантажопідйомність дорівнює 400 у.о.

Для другого кластера, що складається з ритейл точок: 8, 1, 4, 6, 5, 10 – вантажопідйомність дорівнює 600 у.

Для кластерів отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх вантажопідйомність усіх можливих маршрутів знаходиться в межах допустимих значень.

Третім і основним етапом дослідження побудови маршрутів є сама побудова маршрутів усередині отриманих на попередньому етапі кластерів.

5.1.1 Побудова маршрутів за допомогою мурашиного алгоритму

Побудуємо маршрути для доставки товарів з використанням мурашиного алгоритму, для раніше отриманих кластерів ритейл точок.

Візуалізація результатів побудови маршрутів мурашиним алгоритмом на кскластерах отриманих методом кластеризації k-середніх, покращеним методом кластеризації k-середніх та методом нечіткої кластеризації C-середніх показана на рисунках 5.7, 5.8 та 5.9 відповідно.

Розрахунок та перевірка відповідності отриманих маршрутів обмеженням за критерієм часу провадиться за формулою (3.11). Обмеження за часом – 50 у.о.; допустима помилка на основі вікна прибуття при плаваючих термінах доставки – 5 у.о.

Параметри запуску мурашиного алгоритму на кластерах:

- вплив феромонів на напрямок (α) = 2;
- вплив на дистанцію між вузлами (β) = 1;
- коефіцієнт зменшення (вивітрювання) феромонів (ρ) = 0,05;
- коефіцієнт збільшення феромонів (Q) = 1,3;
- кількість мурах = 20;
- максимальний час розрахунку (кількість ітерацій) = 1000.

5.1.1.1 K-means

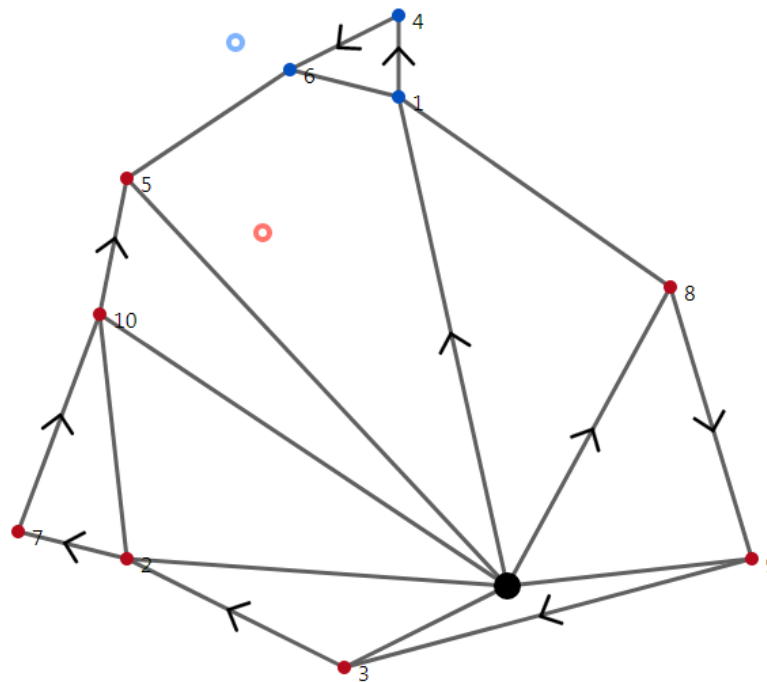


Рисунок 5.5 – Візуалізація результатів побудови маршрутів на кластерах отриманих методом кластеризації k-середніх

Розрахунок часу виконання кожного з отриманих маршрутів на кластерах, отриманих методом кластеризації k-середніх.

Для першого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 1, 4, 6 – час виконання плану постачань складає: $18.4391 + 3.0 + 4.47214 = 25.91124$ у.о.

Для другого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 8, 9, 3, 2, 7, 10, 5 – час виконання плану постачань становить: $12.53 + 10.4403 + 15.5242 + 8.94427 + 4.12311 + 8.544 + 5.09902 = 65.2149$ у.о.

Маршрут, побудований усередині першого кластера отриманого методом k-середніх поставлених обмежень за часом дотримано в межах допустимих значень.

Для маршруту побудованого всередині другого кластера обмеження часу не виконуються. Кластеризуємо друге множини точок, на два підмножини.

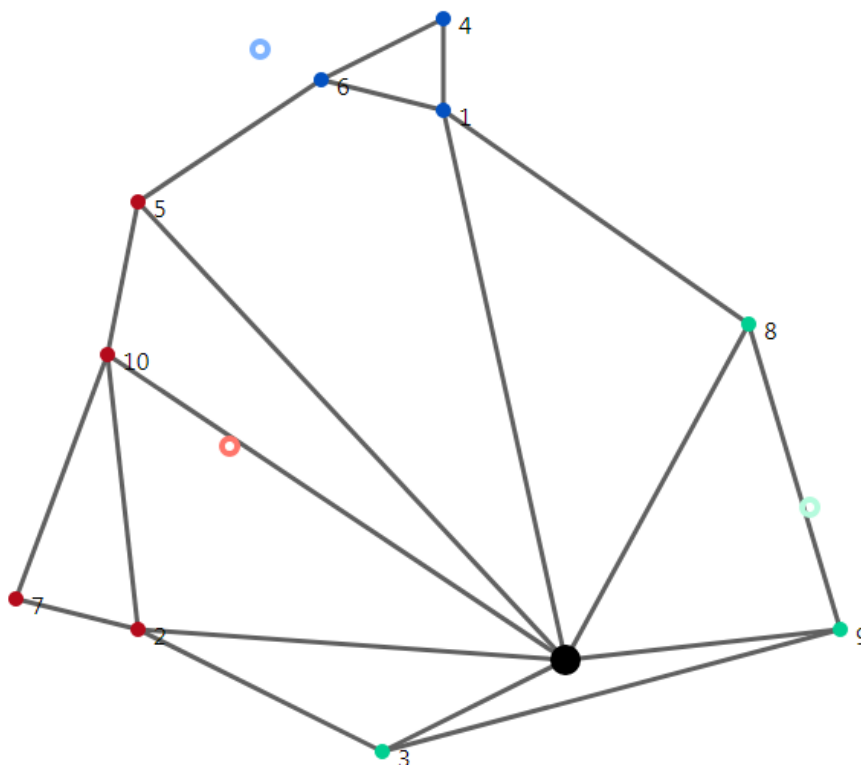


Рисунок 5.6 – Візуалізація результатів повторної кластеризації k-середніх

Перевірка вантажопідйомності кластерів, отриманих методом k-середніх.

Для першого кластера, що складається з ритейлів точок: 1, 4, 6 – вантажопідйомність дорівнює 300 у.о.

Для другого кластера, що складається з ритейл точок: 2, 5, 7, 10 – вантажопідйомність дорівнює 400 у.о.

Для третього кластера, що складається з ритейл точок: 3, 8, 9 – вантажопідйомність дорівнює 300 у.о.

Для кластерів отриманих методом k-середніх вантажопідйомність всіх можливих маршрутів знаходиться в межах допустимих значень.

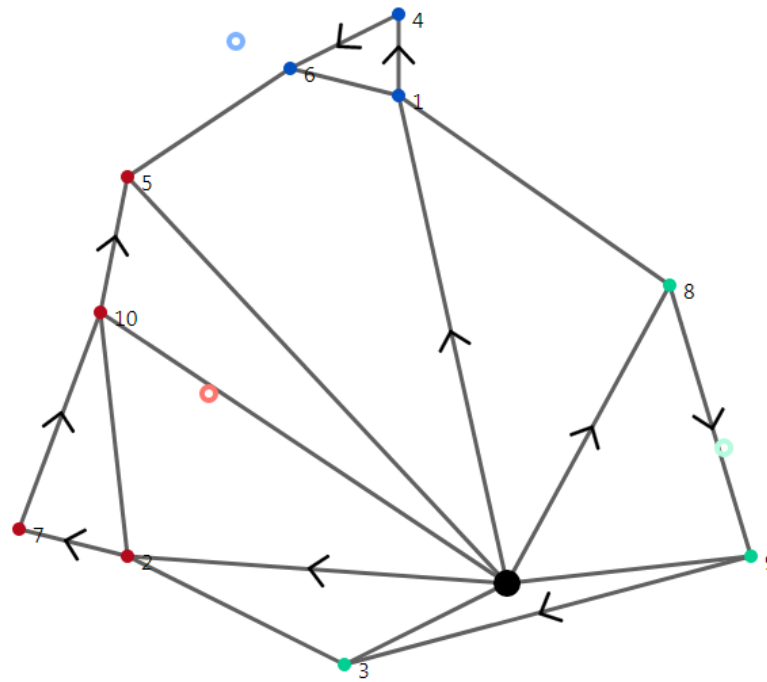


Рисунок 5.7 – Візуалізація результатів повторної побудови маршрутів на кластерах, отриманих методом кластеризації k-середніх

Розрахунок часу виконання кожного з отриманих маршрутів на кластерах, отриманих методом кластеризації k-середніх.

Для першого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 1, 4, 6 – час виконання плану постачань складає: $18.4391 + 3.0 + 4.47214 = 25.91124$ у.о.

Для другого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 2, 7, 10, 5 – час виконання плану постачань становить: $14.0357 + 4.12311 + 8.544 + 5.09902 = 31.80183$ у.о.

Для третього кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 8, 9, 3 – час виконання плану постачань складає: $12.53 + 10.4403 + 15.5242 = 38.4945$ у.о.

Для маршрутів побудованих усередині кластерів, отриманих методом k-середніх, поставлені обмеження за часом дотримані в межах допустимих значень.

5.1.1.2 K-means++

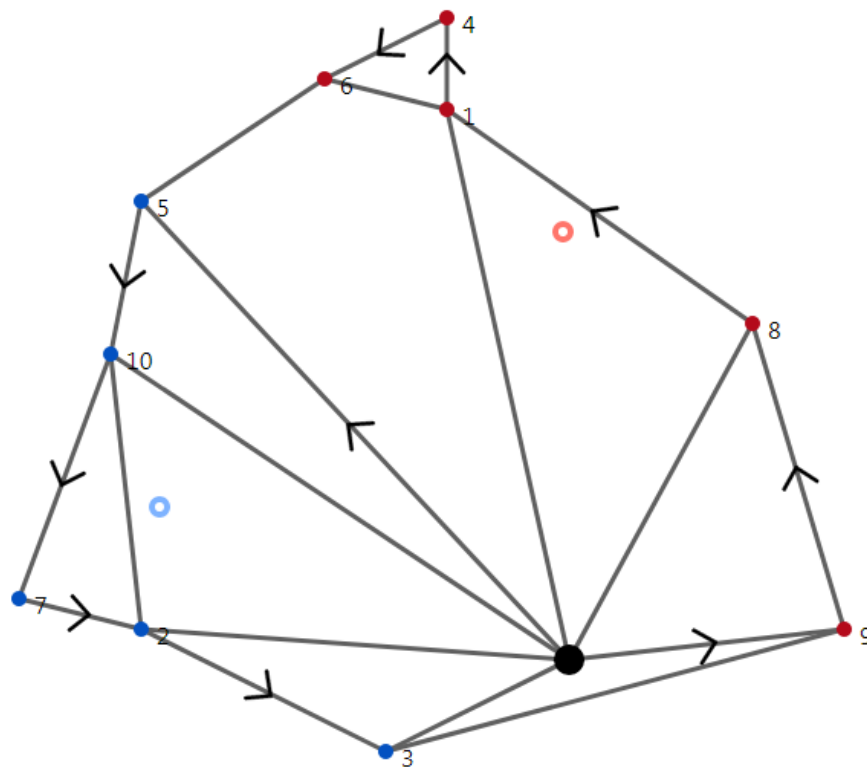


Рисунок 5.8 – Візуалізація результатів побудови маршрутів на кластерах отриманих покращеним методом кластеризації k-середніх

Розрахунок часу виконання кожного з отриманих маршрутів на кластерах, отриманих поліпшеним методом кластеризації k-середніх.

Для першого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 5, 10, 7, 2, 3 – час виконання плану постачань становить: $20.5183 + 5.09902 + 8.544 + 4.12311 + 8.94427 = 47.2287$ у.о.

Для другого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 9, 8, 1, 4, 6 – час виконання плану постачань становить: $9.05539 + 10.4403 + 12.53 + 3.0 + 4.47214 = 39.49783$ у.о.

Для маршрутів побудованих усередині кластерів, отриманих поліпшеним методом k-середніх, поставлені обмеження за часом дотримані в межах допустимих значень.

5.1.1.3 Fuzzy C-Means

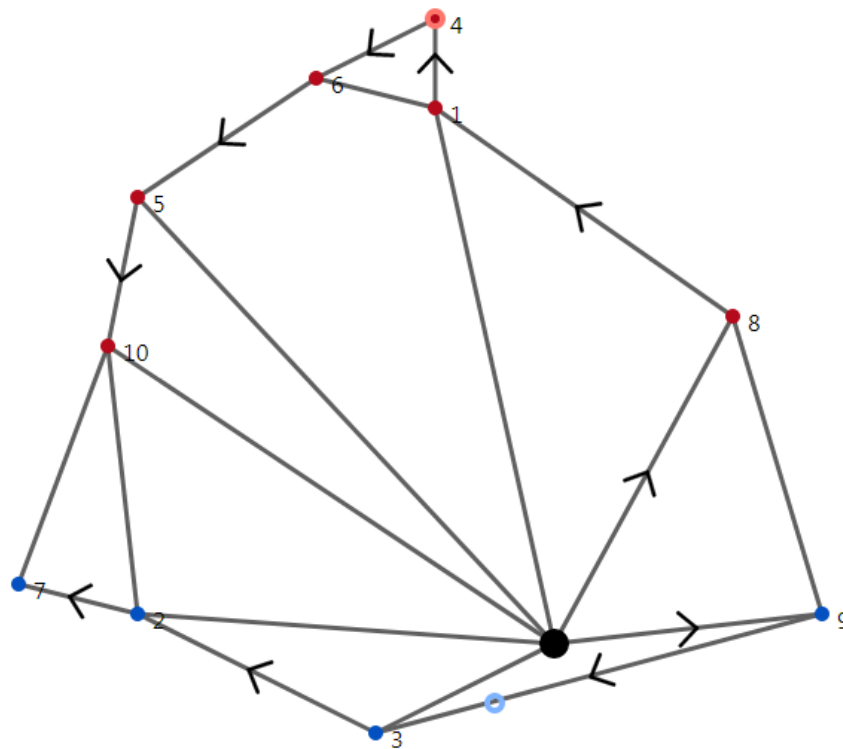


Рисунок 5.9 – Візуалізація результатів побудови маршрутів на кластерах, отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх

Розрахунок часу виконання кожного з отриманих маршрутів на кластерах, отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх.

Для першого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 9, 3, 2, 7 – час виконання плану постачань складає: $9.05539 + 15.5242 + 8.94427 + 4.12311 = 37.64697$ у.о.

Для другого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 8, 1, 4, 6, 5, 10 – час виконання плану постачань становить: $12.53 + 12.2066 + 3.0 + 4.47214 + 7.2111 + 5.09902 = 44.51886$ у.о.

Для маршрутів, побудованих усередині кластерів, отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх, поставлені обмеження за часом дотримані в межах допустимих значень.

Усі отримані маршрути методом мурашиних алгоритмів усередині кластерів для всіх методів кластеризації задовольняють умовам часу та вантажопідйомності.

5.1.2 Побудова маршрутів за допомогою генетичного алгоритму

Побудуємо маршрути для доставки товарів з використанням генетичного алгоритму, для раніше отриманих кластерів ритейл точок.

Візуалізація результатів побудови маршрутів генетичним алгоритмом на кластерах отриманих методом кластеризації k-середніх, покращеним методом кластеризації k-середніх та методом нечіткої кластеризації C-середніх показана на рисунках 5.10, 5.11 та 5.12 відповідно.

Розрахунок та перевірка відповідності отриманих маршрутів обмеженням за критерієм часу провадиться за формулою 3.11. Обмеження за часом – 50 у.о.; допустима помилка на основі вікна прибуття при плаваючих термінах доставки – 5 у.о.

Параметри запуску генетичного алгоритму на кластерах:

- розмір популяції = 21;
- максимальний час розрахунку (кількість ітерацій) = 1000.

5.1.2.1 K-means

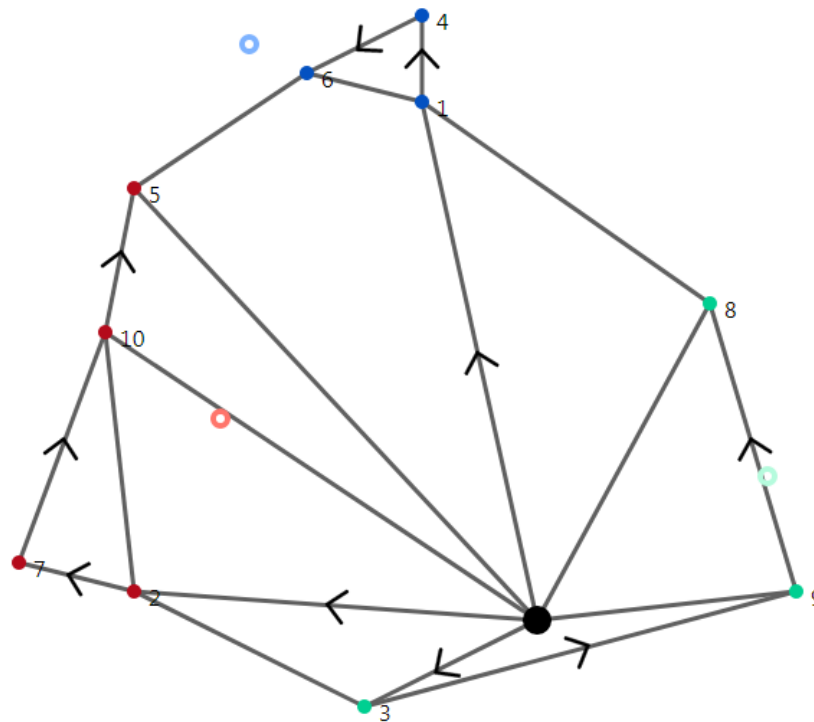


Рисунок 5.10 – Візуалізація результатів побудови маршрутів на кластерах отриманих методом кластеризації k-середніх

Розрахунок часу виконання кожного з отриманих маршрутів на кластерах, отриманих методом кластеризації k-середніх.

Для першого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 1, 4, 6 – час виконання плану постачань складає: $18.4391 + 3.0 + 4.47214 = 25.91124$ у.о.

Для другого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 2, 7, 10, 5 – час виконання плану постачань становить: $14.0357 + 4.12311 + 8.544 + 5.09902 = 31.80183$ у.о.

Для третього кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 3, 9, 8 – час виконання плану постачань складає: $15.5242 + 10.4403 + 12.53 = 38.4945$ у.о.

Для маршрутів побудованих усередині кластерів, отриманих методом k-середніх, поставлені обмеження за часом дотримані в межах допустимих значень.

5.1.2.2 K-means++

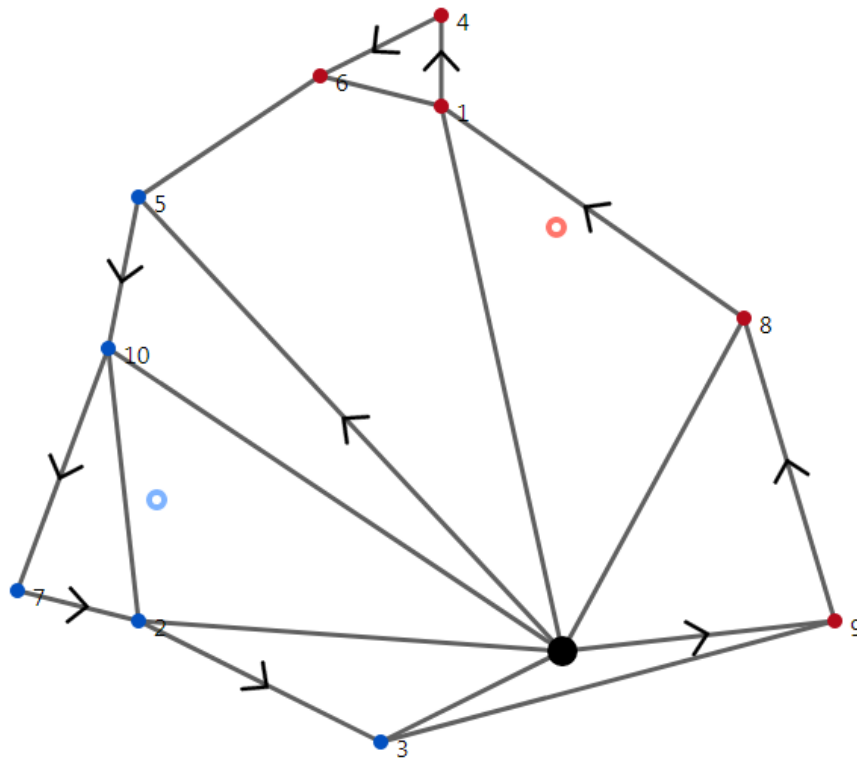


Рисунок 5.11 – Візуалізація результатів побудови маршрутів на кластерах отриманих покращеним методом кластеризації k-середніх

Розрахунок часу виконання кожного з отриманих маршрутів на кластерах, отриманих поліпшеним методом кластеризації k-середніх.

Для першого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 5, 10, 7, 2, 3 – час виконання плану постачань становить: $20.5183 + 5.09902 + 8.544 + 4.12311 + 8.94427 = 47.2287$ у.

Для другого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 9, 8, 1, 4, 6 – час виконання плану постачань становить: $9.05539 + 10.4403 + 12.53 + 3.0 + 4.47214 = 39.49783$ у.о.

Для маршрутів побудованих усередині кластерів, отриманих поліпшеним методом k-середніх, поставлені обмеження за часом дотримані в межах допустимих значень.

Маршрути побудовані за допомогою генетичного алгоритму співпали з маршрутами, побудованими з використанням мурашиного алгоритму.

5.1.2.3 Fuzzy C-Means

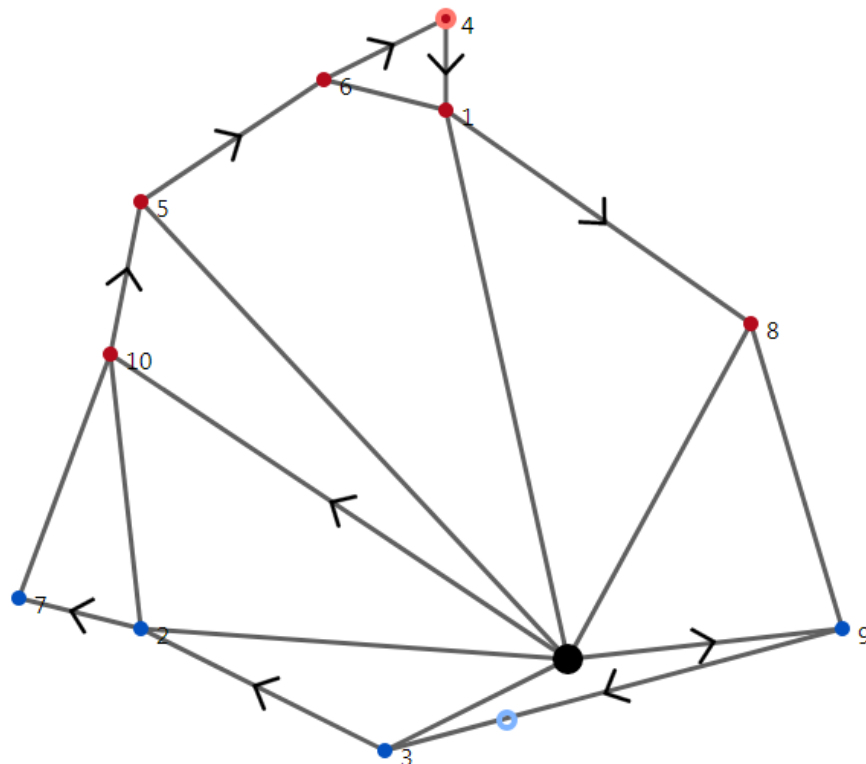


Рисунок 5.12 – Візуалізація результатів побудови маршрутів на кластерах, отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх

Розрахунок часу виконання кожного з отриманих маршрутів на кластерах, отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх.

Для першого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 9, 3, 2, 7 – час виконання плану постачань складає: $9.05539 + 15.5242 + 8.94427 + 4.12311 = 37.64697$ у.о.

Для другого кластера, що складається з наступної послідовності рітейл точок: 10, 5, 6, 4, 1, 8 – час виконання плану постачань складає: $5.09902 + 7.2111 + 4.47214 + 3.0 + 12.2066 + 12.53 = 44.51886$ у.о.

Для маршрутів побудованих усередині кластерів отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх поставлених обмежень за часом дотримано в межах допустимих значень.

Всі отримані маршрути методом генетичних алгоритмів усередині кластерів для всіх методів кластеризації задовольняють умовам часу та вантажопідйомності.

5.1.3 Дослідження результатів

Після проведення всіх етапів є 6 варіантів маршрутизації транспортних засобів у системі мережевого рітейлу з 10 торговими точками.

5.1.3.1 Часові витрати

Оцінка витрат часу на побудову маршрутів.

Розрахунок плану постачання – 0.0350835 секунд.

Підготовка до кластеризації (загальний етап всіх трьох методів) – 0.0678925 секунд.

Кластеризація методом k-середніх – 0.00648319 секунд.

Кластеризація покращеним методом k-середніх – 0.0148319 секунд.

Кластеризація методом нечіткої кластеризації С-середніх – 0.0272259 секунд.

Підготовка до пошуку маршрутів (загальний етап) – 0.0156333 секунд.

Підготовка до пошуку маршрутів (для кожного з методів кластеризації):

- k-середніх – 0,00545719 секунд;
- покращений k-середніх – 0.00623624 секунд;
- нечіткої кластеризації С-середніх – 0.00850224 секунд;

Пошук маршрутів (мурашиний алгоритм) за для:

- k-середніх – 17.3786 секунд;

- покращений k-середніх – 26.3278 секунд;
- нечіткої кластеризації C-середніх – 26.2293 секунд;

Пошук маршрутів (генетичний алгоритм) за для:

- k-середніх – 23.3897 секунд;
- покращений k-середніх – 24.29579 секунд;
- нечіткої кластеризації C-середніх – 21.9498 секунд;

Середній час візуалізації (на основі 20 візуалізацій) – 0.05 секунд.

Повний час (у секундах) пошуку маршрутів для кожного з наведених варіантів представлено в таблиці 5.2. Час візуалізації не враховується.

Таблиця 5.2 – Повний час пошуку маршрутів

	Генетичний алгоритм	Мурашиний алгоритм
k-means	23.52024968	17.50914968
k-means++	24.43546744	26.46747744
Fuzzy C-Means	22.10413744	26.38363744

Мінімальний повний час пошуку маршруту – 17.50914968 секунд для мурашиного алгоритму на основі даних методу кластеризації k-середніх.

Максимальний повний час пошуку маршруту – 26.46747744 секунд для мурашиного алгоритму на основі даних покращеного методу кластеризації.

5.1.3.2 Порівняння отриманих маршрутів

Оцінимо співвідношення витраченого часу на пошук маршруту та його вантажопідйомність. Співвідношення обчислюється за формулою 5.1 та потім нормалізовано на інтервал [0..100] за формулою 5.2.

$$x = \frac{T}{M}, \quad (5.1)$$

де T – повний час пошуку маршруту;

M – маса вантажу який буде завантажений у транспортний засіб перед відправкою на цей маршрут.

$$x_{new} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \cdot 100, \quad (5.2)$$

де x – співвідношення витраченого часу на пошук маршруту та його вантажопідйомності (5.1);

x_{min} – мінімальне значення x , x_{max} – максимальне значення x .

Таблиця 5.3 – Нормалізоване співвідношення витраченого часу на пошук маршруту та його вантажопідйомності

	Генетичний алгоритм			Мурашиний алгоритм		
	1	2	3	1	2	3
k-means	99,015	100,000	68,666	71,542	70,819	0,000
k-means++	47,463	42,848	–	70,039	41,036	–
Fuzzy C-Means	26,491	58,188	–	32,917	90,344	–

Зв'язка методу кластеризації k-середніх та генетичного алгоритму дала кращі результати серед інших.

Зв'язування покращеного методу кластеризації k-середніх та генетичного алгоритму, а також зв'язування методу нечіткої кластеризації C-середніх та генетичного алгоритму дали найгірші результати серед інших.

Розглянемо нормалізовані співвідношення витраченого часу на пошук маршруту та його вантажопідйомності алгоритмів пошуку маршрутів незалежно один від одного.

Таблиця 5.4 – Нормалізоване співвідношення витраченого часу на пошук маршруту та його вантажопідйомності для генетичного алгоритму

	1	2	3
k-means	98,659	100,000	57,374
k-means++	28,530	22,252	–
Fuzzy C-	0,000	43,119	–

Means			
-------	--	--	--

Найкращі результати показує використання генетичного алгоритму на даних, отриманих методом кластеризації k-середніх.

Найгірші результати показує використання генетичного алгоритму на даних, отриманих методом нечіткої кластеризації C-середніх.

Таблиця 5.5 – Нормалізоване співвідношення витраченого часу на пошук маршруту та його вантажопідйомності для мурашиного алгоритму

	1	2	3
k-means	79,189	78,388	0,000
k-means++	77,525	45,422	–
Fuzzy C-Means	36,435	100,000	–

Зв'язування методу кластеризації k-середніх та мурашиного алгоритму дає сильний розкид результатів.

Поліпшений метод кластеризації k-середніх та методом нечіткої кластеризації C-середніх дають приблизно однакові результати.

5.2 Маршрутизація у регіоні з 20 точками

Є регіон із двадцятьма точками торгової мережі. У центрі регіону розташований склад. На рисунку 5.13 представлена візуалізація регіону. Необхідно побудувати маршрути доставки потрібних товарів у необхідній кількості до відповідних точок торгової мережі.

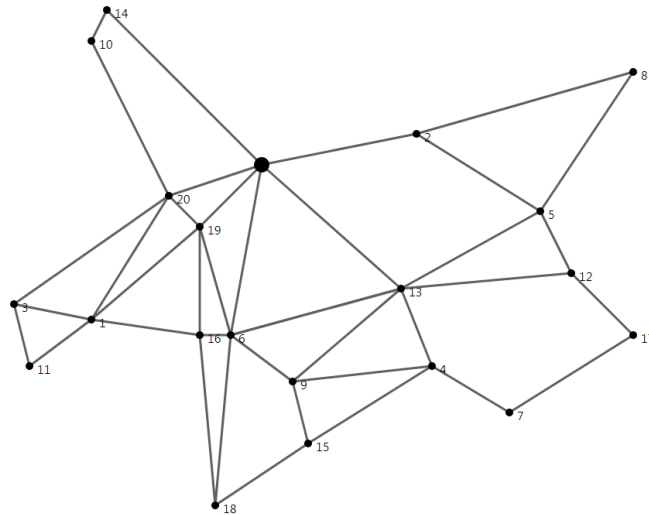


Рисунок 5.13 – Візуалізація регіону з двадцятьма точками торгової мережі та складом

Першим етапом проводиться формування плану постачання використовуючи формулу (3.9). Період між постачанням – 1 місяць. На виході етапу маємо множину планів постачань для кожної конкретної ритейл точки, див. таблицю 5.6. Кожен рядок таблиці – план постачання конкретної ритейл точки. Асортименти кожної торгової точки складається з двадцяти видів товарів.

Таблиця 5.6 – Сформований план постачання

№	Кількість товарів																			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	6	7	5	1	1	1	1	1	9	7	8	1	1	2	1	1	1	9	1
3	6	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1	9	1	6	1	6	1	1	4	1
4	1	1	6	1	8	1	9	1	1	1	1	1	1	1	8	1	7	1	1	9
5	8	9	1	9	1	4	1	9	9	1	9	1	1	2	1	6	1	1	6	1
6	1	7	9	9	1	1	1	1	9	1	1	8	8	1	1	1	1	9	1	1

	3				0	1	8	5		4	0			2	4	4	3		5	0
7	1 6	1 3	9	2 0	1 6	1 2	1 0	1 2	1 1	1 8	1 9	1 5	5	1 4	1 2	1 2	1 7	1 7	4	1 2
8	7	1 8	7	1 2	1 0	1 9	1 5	2	1 7	1 3	9	1 2	1 7	1 4	1 4	1 2	1 3	9	1 6	1 8
9	1 0	1 0	1 8	5	7	1 1	1 1	1 2	1 3	8	7	9	1 1	1 0	1 3	1 6	1 7	1 6	1 2	6
10	1 3	1 3	1 2	1 1	1 6	1 5	1 2	1 5	1 8	1 3	1 6	1 4	1 4	1 0	1 2	1 3	1 3	1 8	1 6	8
11	1 4	1 7	1 0	4	1 5	1 4	1 2	8	1 2	1 2	1 0	1 2	1 3	1 8	1 2	1 6	9	1 1	1 6	1 1
12	1 5	1 1	1 6	1 4	1 4	1 0	1 7	1 5	1 2	1 0	1 4	1 3	1 5	4	1 2	1 8	1 2	1 6	1 6	1 4
13	1 0	9	1 0	1 6	1 6	7	8	8	1 0	1 0	1 4	1 3	1 4	1 0	7	1 7	1 4	2 0	1 1	6
14	1 8	5	1 4	1 4	1 6	1 0	1 7	1 6	1 5	1 2	1 4	1 3	1 7	1 4	1 7	4	1 4	1 9	1 9	1 7
15	1 6	1 4	1 2	1 3	9	6	1 4	1 2	1 4	1 0	1 2	1 4	1 8	1 4	1 4	1 2	1 0	7	8	1 5
16	9	1 1	1 6	1 0	1 1	1 2	9	1 1	9	1 4	1 1	1 1	1 0	1 0	2	8	1 0	1 2	1 3	1 3
17	1 2	2 0	1 0	1 1	1 9	5	1 2	1 7	1 4	1 1	1 2	1 3	1 0	1 0	1 1	1 4	1 8	1 1	1 2	5
18	3	1 0	1 1	1 1	7	1 5	1 9	1 9	1 6	1 5	1 0	1 8	1 7	1 5	1 4	1 4	6	1 5	1 1	1 1
19	1 3	5	1 2	1 6	1 1	1 0	7	1 5	1 1	1 1	1 5	8	1 7	1 2	1 3	1 5	1 0	1 8	1 5	1 3
20	1 8	9	8	1 1	1 1	1 1	1 5	8	1 5	1 6	1 0	1 8	2 0	1 6	1 1	1 6	1 7	5	1 5	1 1

Після отримання плану постачань починається другий етап – кластеризація множини точок регіону на субрегіони. Розбиття відбувається на 3 кластери.

Візуалізація результатів кластеризації методами k-середніх, покращеної k-середніх та нечіткої кластеризації C-середніх представлені на рисунках 5.14, 5.15 та 5.16 відповідно.

Отримані кластери ритейлів точок оцінюються за критерієм вантажопідйомності за формулою 3.10. Вантажопідйомність машин – 3000 у.о.

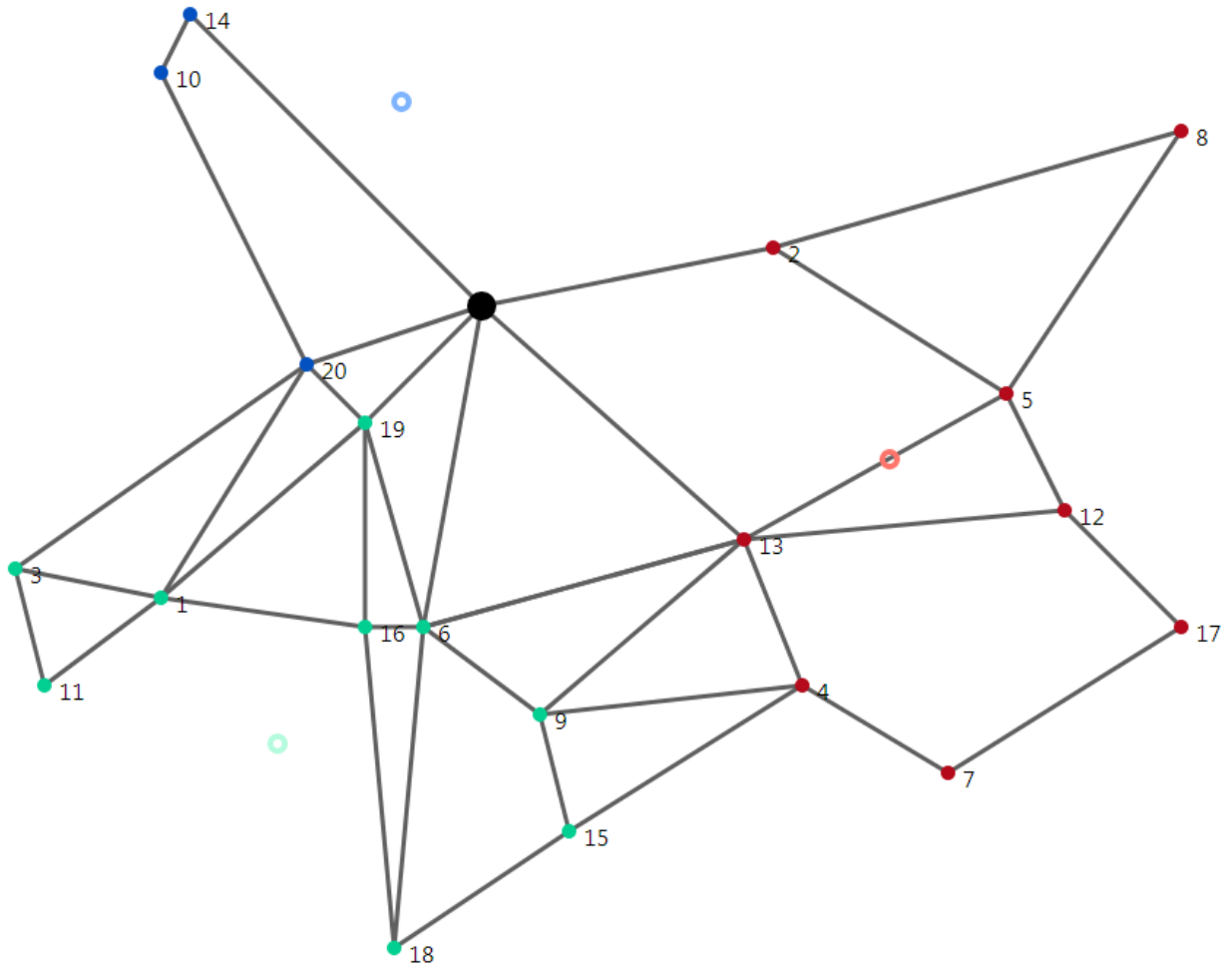


Рисунок 5.14 – Візуалізація результатів кластеризації k-середніх

Перевірка вантажопідйомності кластерів, отриманих методом k-середніх.

Для першого кластера, що складається з ритейл точок: 10, 14, 20 – вантажопідйомність дорівнює 825 у.о.

Для другого кластера, що складається з ритейл точок: 2, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 17 – вантажопідйомність дорівнює 2144 у.о.

Для третього кластера, що складається з ритейл точок: 1, 3, 6, 9, 11, 15, 16, 18, 19 – вантажопідйомність дорівнює 2391 у.о.

Для кластерів отриманих методом k-середніх вантажопідйомність всіх можливих маршрутів знаходиться в межах допустимих значень.

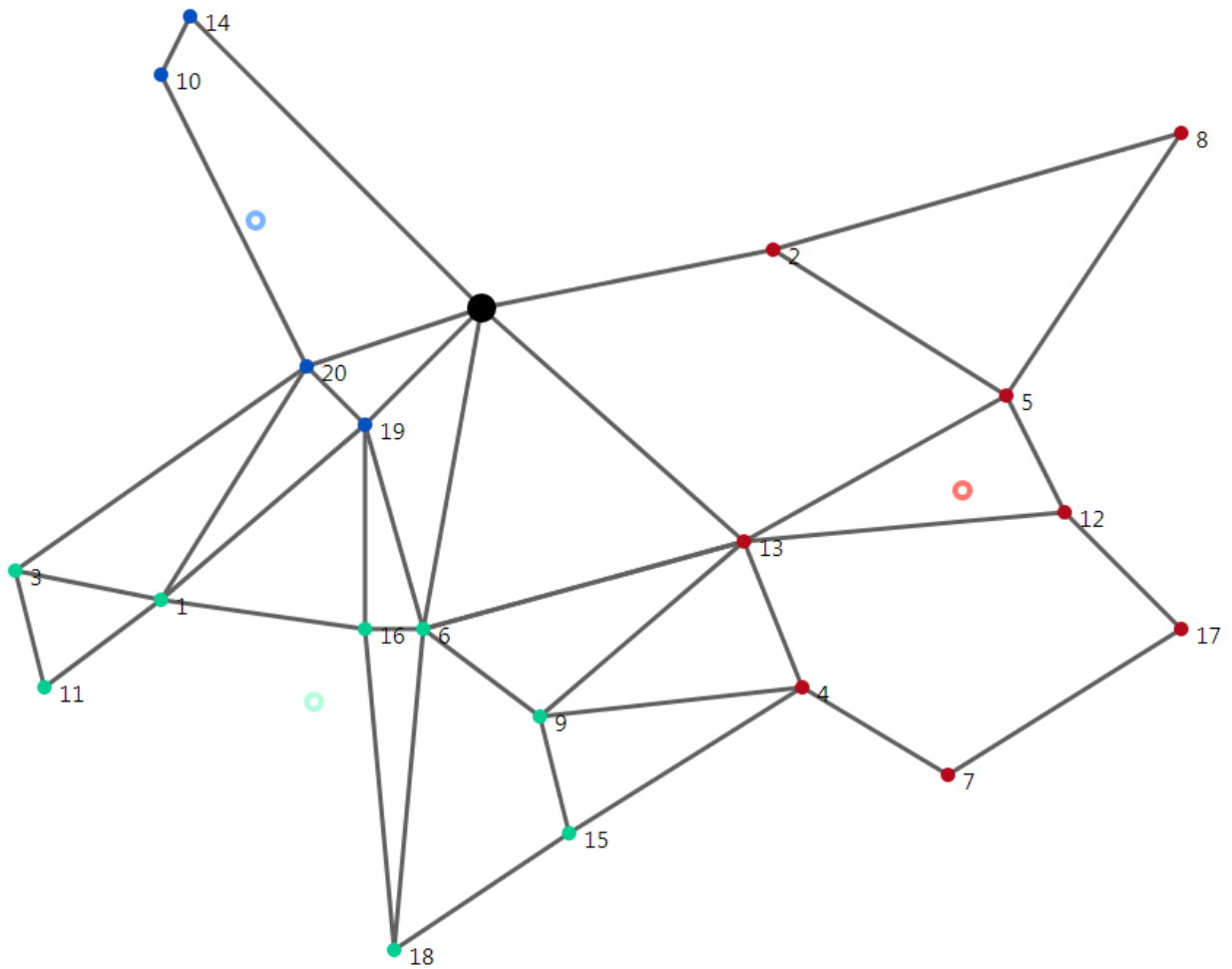


Рисунок 5.15 – Візуалізація результатів кластеризації покращеною версією методу кластеризації k-середніх

Кластеризація методами k-середніх (рис. 5.14) та покращеним методом k-середніх (рис. 5.15) дали схожі результати. Обрані випадковим чином початкові значення центроїдів виявилися приблизно відповідними обчисленим значенням центроїдів у покращеному методі k-середніх, див. Розділ 4.3.2.

Перевірка вантажопідйомності кластерів, отриманих поліпшеним методом k-середніх.

Для першого кластера, що складається з ритейл точок: 10, 14, 19, 20 – вантажопідйомність дорівнює 1072 у.о.

Для другого кластера, що складається з ритейл точок: 2, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 17 – вантажопідйомність дорівнює 2144 у.о.

Для третього кластера, що складається з ритейл точок: 1, 3, 6, 9, 11, 15, 16, 18 – вантажопідйомність дорівнює 2144 у.о.

Для кластерів отриманих покращеним методом k-середніх вантажопідйомність всіх можливих маршрутів знаходиться в межах допустимих значень.

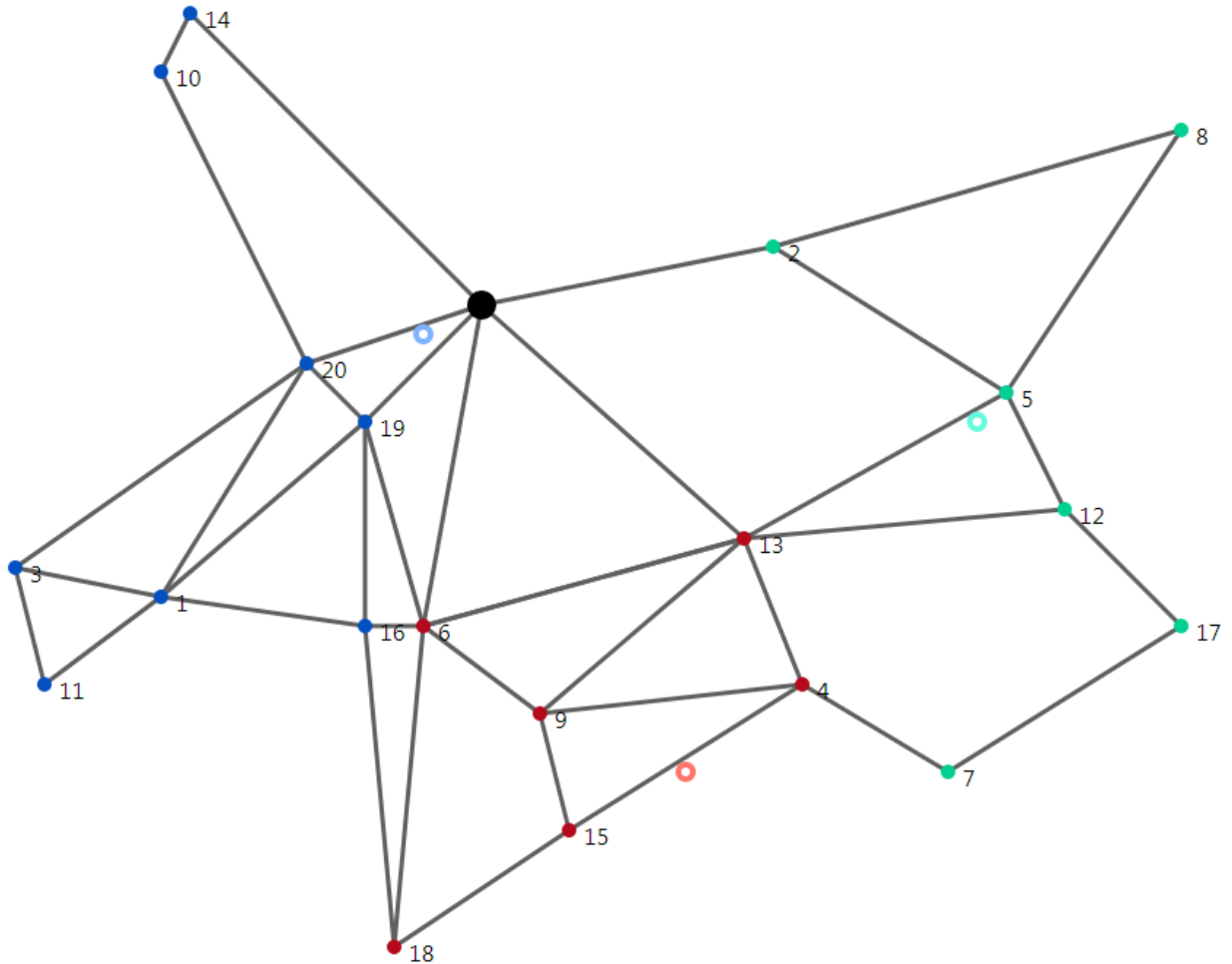


Рисунок 5.16 – Візуалізація результатів нечіткої кластеризації С-середніх

Перевірка вантажопідйомності кластерів отриманих покращеним методом нечіткої кластеризації С-середніх.

Для першого кластера, що складається з ритейл точок: 1, 3, 10, 11, 14, 16, 19, 20 – вантажопідйомність дорівнює 2144 у.о.

Для другого кластера, що складається з ритейл точок: 4, 6, 9, 13, 15, 18 – вантажопідйомність дорівнює 1608 у.о.

Для третього кластера, що складається з ритейл точок: 2, 5, 7, 8, 12, 17 – вантажопідйомність дорівнює 1608 у.о.

Для кластерів отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх вантажопідйомність усіх можливих маршрутів знаходиться в межах допустимих значень.

Третім і основним етапом дослідження побудови маршрутів є сама побудова маршрутів усередині отриманих на попередньому етапі кластерів.

5.2.1 Мурашиний алгоритм

Побудуємо маршрути для доставки товарів з використанням мурашиного алгоритму, для раніше отриманих кластерів ритейл точок.

Візуалізація результатів побудови маршрутів мурашиним алгоритмом на кластерах отриманих методом кластеризації k-середніх, покращеним методом кластеризації k-середніх та методом нечіткої кластеризації С-середніх показана на рисунках 5.17, 5.18 та 5.19 відповідно.

Розрахунок та перевірка відповідності отриманих маршрутів обмеженням за критерієм часу провадиться за формулою 3.11. Обмеження за часом – 70 у.о.; допустима помилка на основі вікна прибуття при плаваючих термінах доставки – 10 у.о.

Параметри запуску мурашиного алгоритму на кластерах:

- вплив феромонів на напрямок (α) = 3;
- вплив на дистанцію між вузлами (β) = 2;
- коефіцієнт зменшення (вивітрювання) феромонів (ρ) = 0,1;
- коефіцієнт збільшення феромонів (Q) = 1,7;
- кількість мурах = 107;
- максимальний час розрахунку (кількість ітерацій) = 1000.

5.2.1.1 K-means

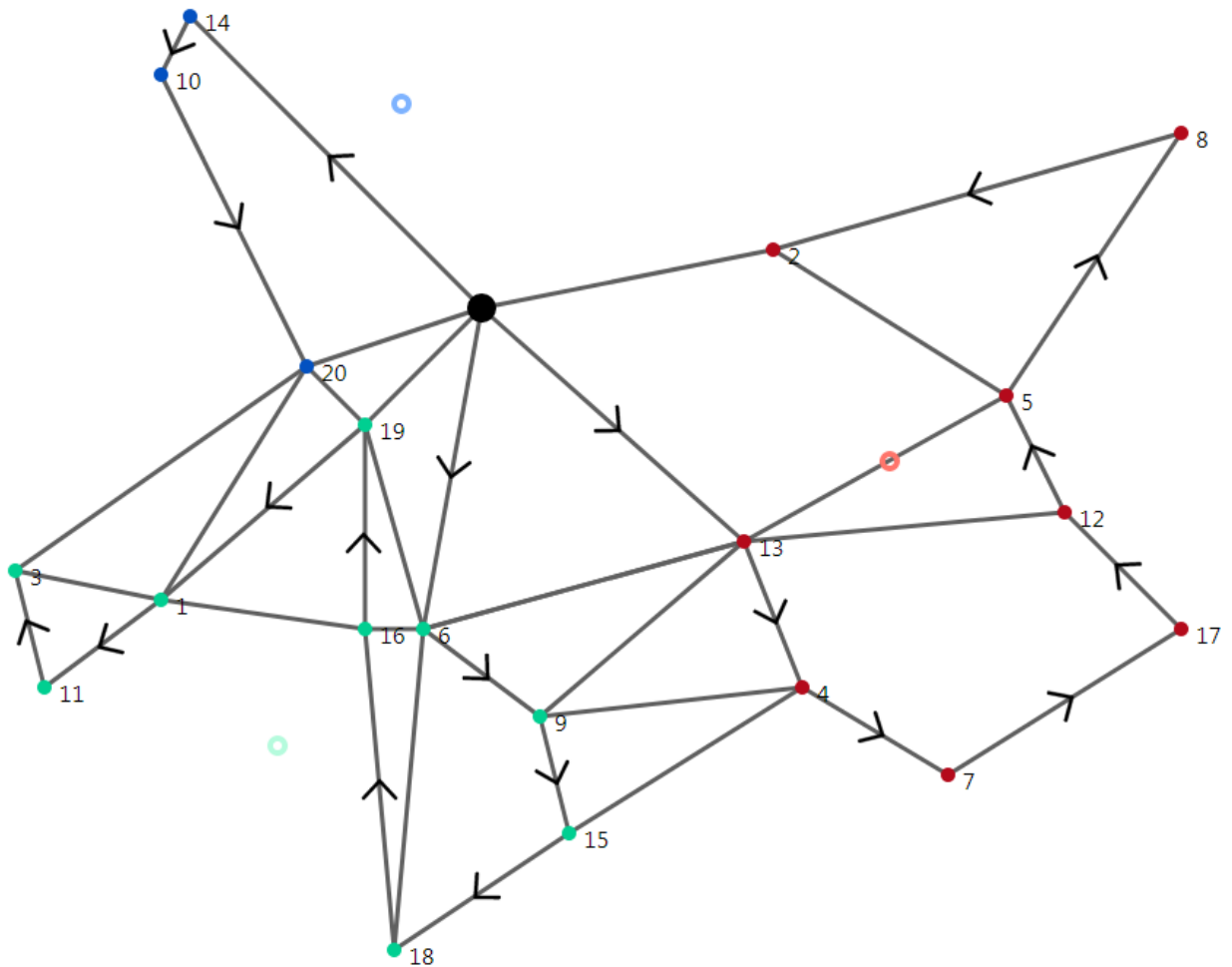


Рисунок 5.17 – Візуалізація результатів побудови маршрутів на кластерах отриманих методом кластеризації k-середніх

Розрахунок часу виконання кожного з отриманих маршрутів на кластерах, отриманих методом кластеризації k-середніх.

Для першого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 14, 10, 20 – час виконання плану постачань складає: $14.1421 + 2.23607 + 11.1803 = 27.55847$ у.о.

Для другого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 13, 4, 7, 17, 12, 5, 8, 2 – час виконання плану постачань складає: $12.0416 + 5.38516 + 5.83095 + 9.43398 + 5.65685 + 4.47214 + 10.8167 + 14.5602 = 68.19758$ у.о.

Для третього кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 6, 9, 15, 18, 16, 19, 1, 11, 3 – час виконання плану постачань складає: $11.1803 + 5.0 + 4.12311 + 7.2111 + 19.5 + 4.12311 = 63.90256$ у.о.

Для маршрутів побудованих усередині кластерів, отриманих методом k-середніх, поставлені обмеження за часом дотримані в межах допустимих значень.

5.2.1.2 K-means++

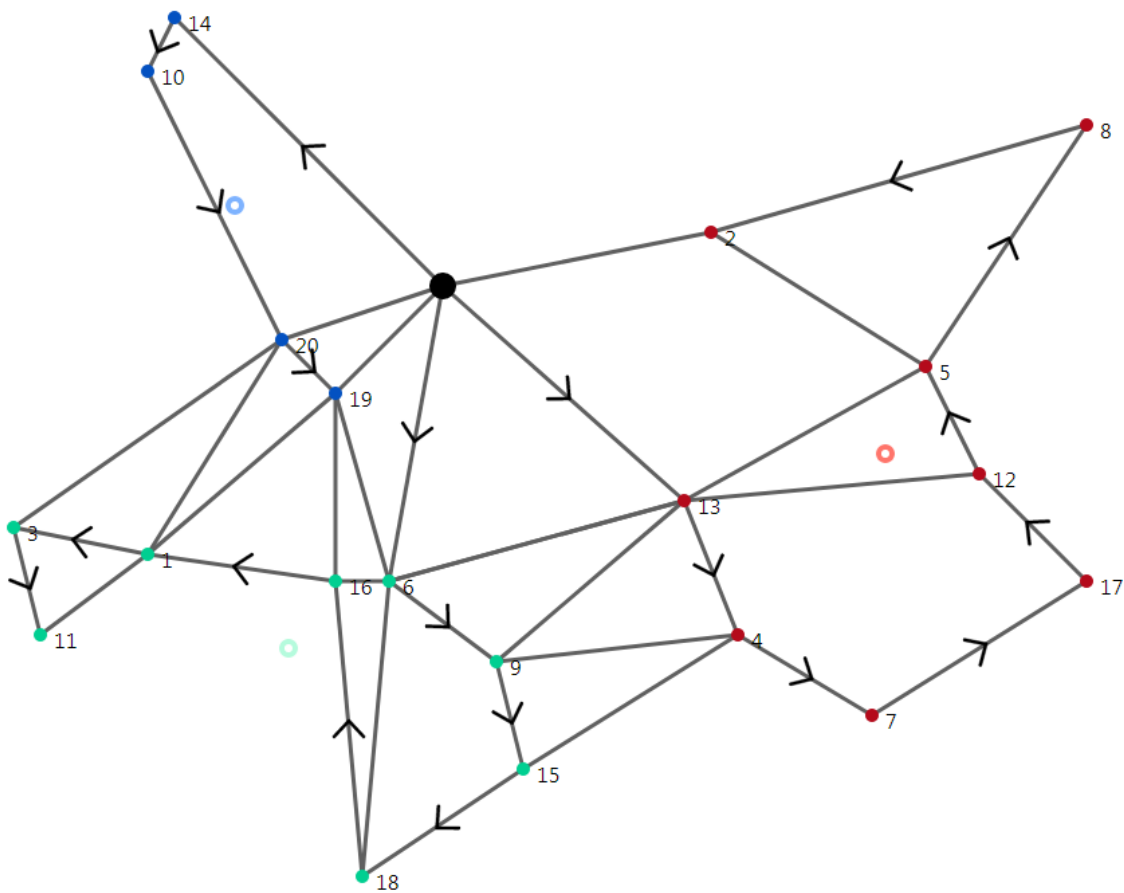


Рисунок 5.18 – Візуалізація результатів побудови маршрутів на кластерах отриманих покращеним методом кластеризації k-середніх

Розрахунок часу виконання кожного з отриманих маршрутів на кластерах, отриманих поліпшеним методом кластеризації k-середніх.

Для першого кластера, що складається з наступної послідовності рітейл точок: 14, 10, 20, 19 – час виконання плану постачань складає: $14.1421 + 2.23607 + 11.1803 + 2.82843 = 30.3869$ у.о.

Для другого кластера, що складається з наступної послідовності рітейл точок: 13, 4, 7, 17, 12, 5, 8, 2 – час виконання плану постачань складає: $12.0416 + 5.38516 + 5.83095 + 9.43398 + 5.65685 + 4.47214 + 10.8167 + 14.5602 = 68.19758$ у.о.

Для третього кластера, що складається з наступної послідовності рітейл точок: 6, 9, 15, 18, 16, 1, 3, 11 – час виконання плану постачань складає: $11.1803 + 5.0 + 4.12311 + 7.2111 + 11.0454 + 7.07107 + 5.09902 + 4.12311 = 54.85311$ у.о.

Для маршрутів побудованих усередині кластерів, отриманих поліпшеним методом k-середніх, поставлені обмеження за часом дотримані в межах допустимих значень.

5.2.1.3 Fuzzy C-Means

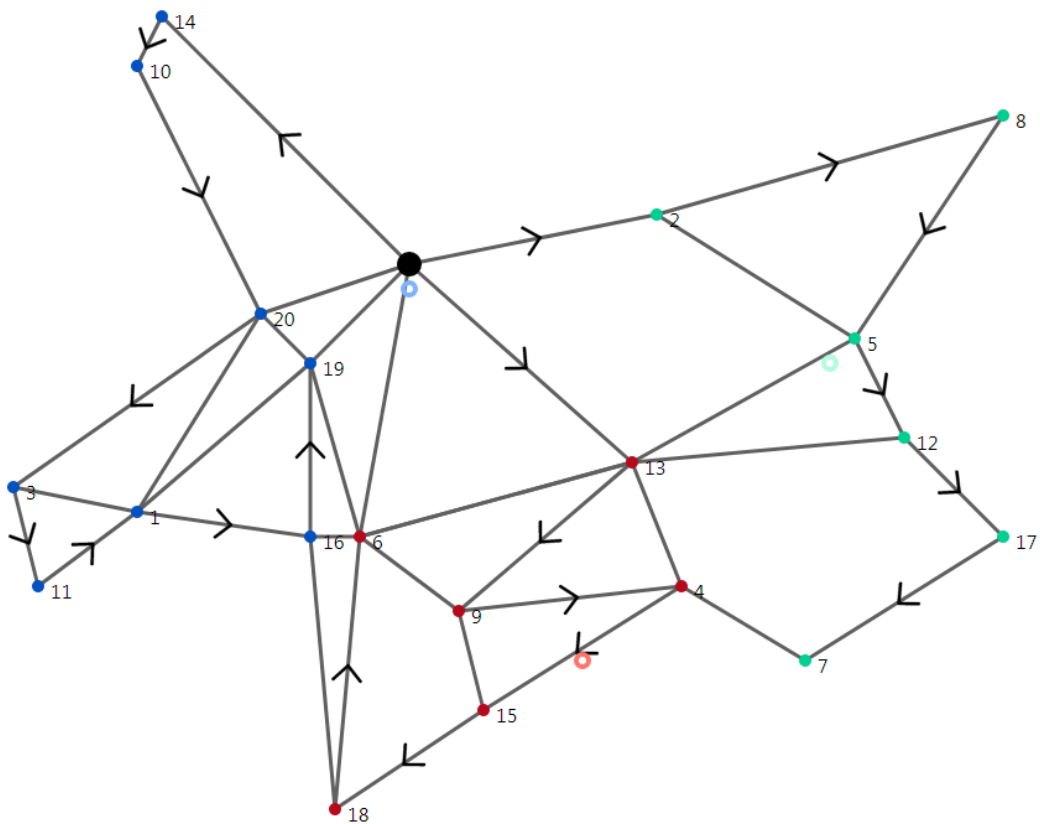


Рисунок 5.19 – Візуалізація результатів побудови маршрутів на кластерах, отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх

Розрахунок часу виконання кожного з отриманих маршрутів на кластерах, отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх.

Для першого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 14, 10, 20, 3, 11, 16, 19 – час виконання плану постачань складає: $14.1421 + 2.23607 + 11.1803 + 12.2066 + 4.12311 + 5.0 + 7.07107 + 7.0 = 62.95925$ у.о.

Для другого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 13, 9, 4, 15, 18, 6 – час виконання плану постачань складає: $12.0416 + 9.21954 + 9.05539 + 9.43398 + 7.2111 + 11.0454 = 58.00701$ у.о.

Для третього кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 2, 8, 5, 12, 17, 7 – час виконання плану постачань складає: $10.198 + 14.5602 + 10.8167 + 4.47214 + 5.65685 + 9.43398 = 55.14787$ у.о.

Для маршрутів, побудованих усередині кластерів, отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх, поставлені обмеження за часом дотримані в межах допустимих значень.

Усі отримані маршрути методом мурашиних алгоритмів усередині кластерів для всіх методів кластеризації задовольняють умовам часу та вантажопідйомності.

5.2.2 Генетичний алгоритм

Побудуємо маршрути для доставки товарів з використанням генетичного алгоритму, для раніше отриманих кластерів ритейл точок.

Візуалізація результатів побудови маршрутів генетичним алгоритмом на кластерах отриманих методом кластеризації k-середніх, покращеним методом кластеризації k-середніх та методом нечіткої кластеризації С-середніх показана на рисунках 5.20, 5.21 та 5.21 відповідно.

Розрахунок та перевірка відповідності отриманих маршрутів обмеженням за критерієм часу провадиться за формулою 3.11. Обмеження за часом – 70 у.о.; допустима помилка на основі вікна прибуття при плаваючих термінах доставки – 10 у.о.

Параметри запуску генетичного алгоритму на кластерах:

- розмір популяції = 111;
- максимальний час розрахунку (кількість ітерацій)= 1000.

5.2.2.1 K-means

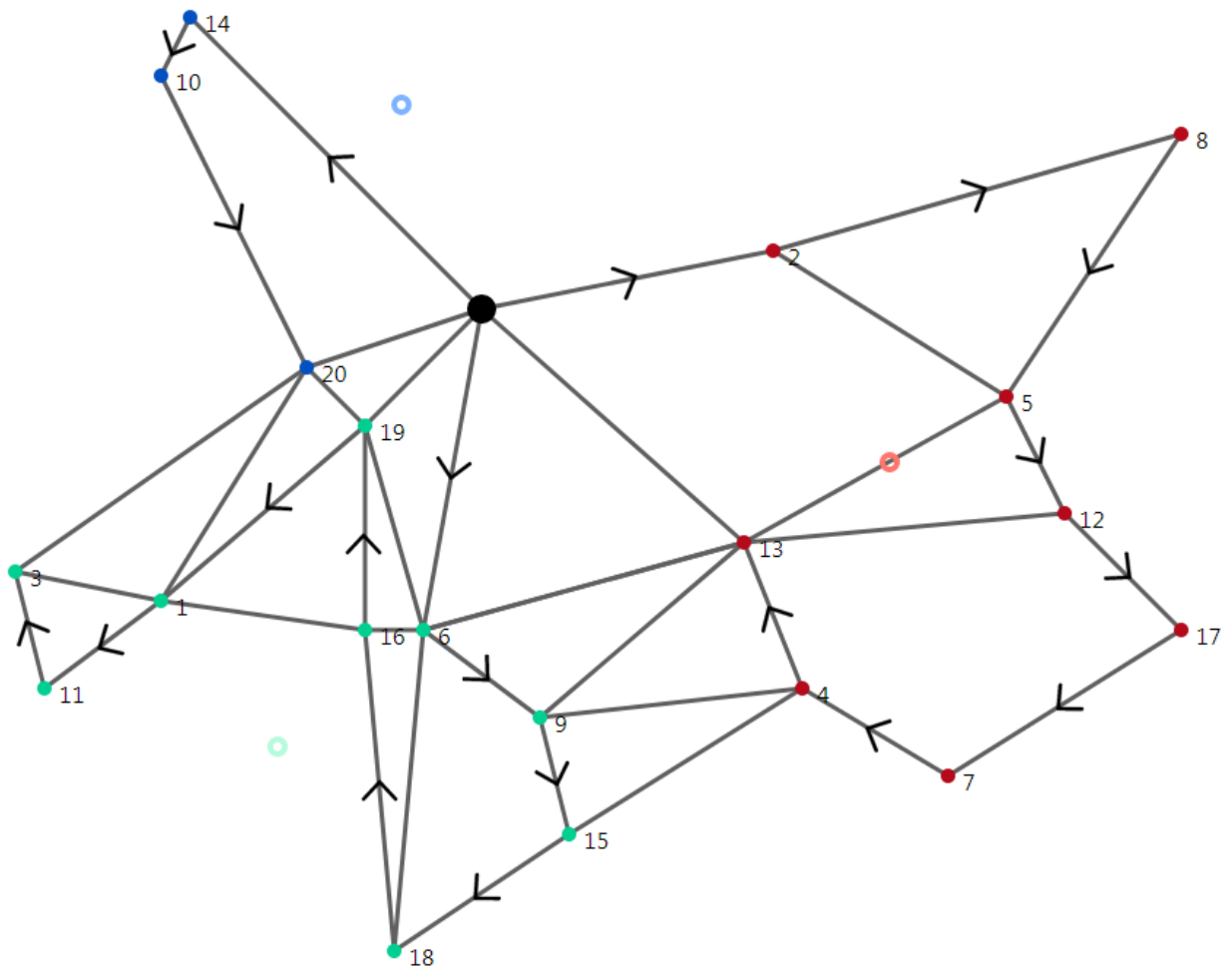


Рисунок 5.20 – Візуалізація результатів побудови маршрутів на кластерах отриманих методом кластеризації k-середніх

Розрахунок часу виконання кожного з отриманих маршрутів на кластерах, отриманих методом кластеризації k-середніх.

Для першого кластера, що складається з наступної послідовності рітейл точок: 14, 10, 20 – час виконання плану постачань складає: $14.1421 + 2.23607 + 11.1803 = 27.55847$ у.о.

Для другого кластера, що складається з наступної послідовності рітейл точок: 2, 8, 5, 12, 17, 7, 4, 13 – час виконання плану постачань складає: $10.198 + 14.5602 + 10.8167 + 4.47214 + 5.65685 + 9.43398 + 5.83095 + 5.38516 = 66.35398$ у.о.

Для третього кластера, що складається з наступної послідовності рітейл точок: 6, 9, 15, 18, 16, 19, 1, 11, 3 – час виконання плану постачань складає: $11.1803 + 5.0 + 4.12311 + 7.2111 + 19.5 + 4.12311 = 63.90256$ у.о.

Для маршрутів побудованих усередині кластерів, отриманих методом k-середніх, поставлені обмеження за часом дотримані в межах допустимих значень.

5.2.2.2 K-means++

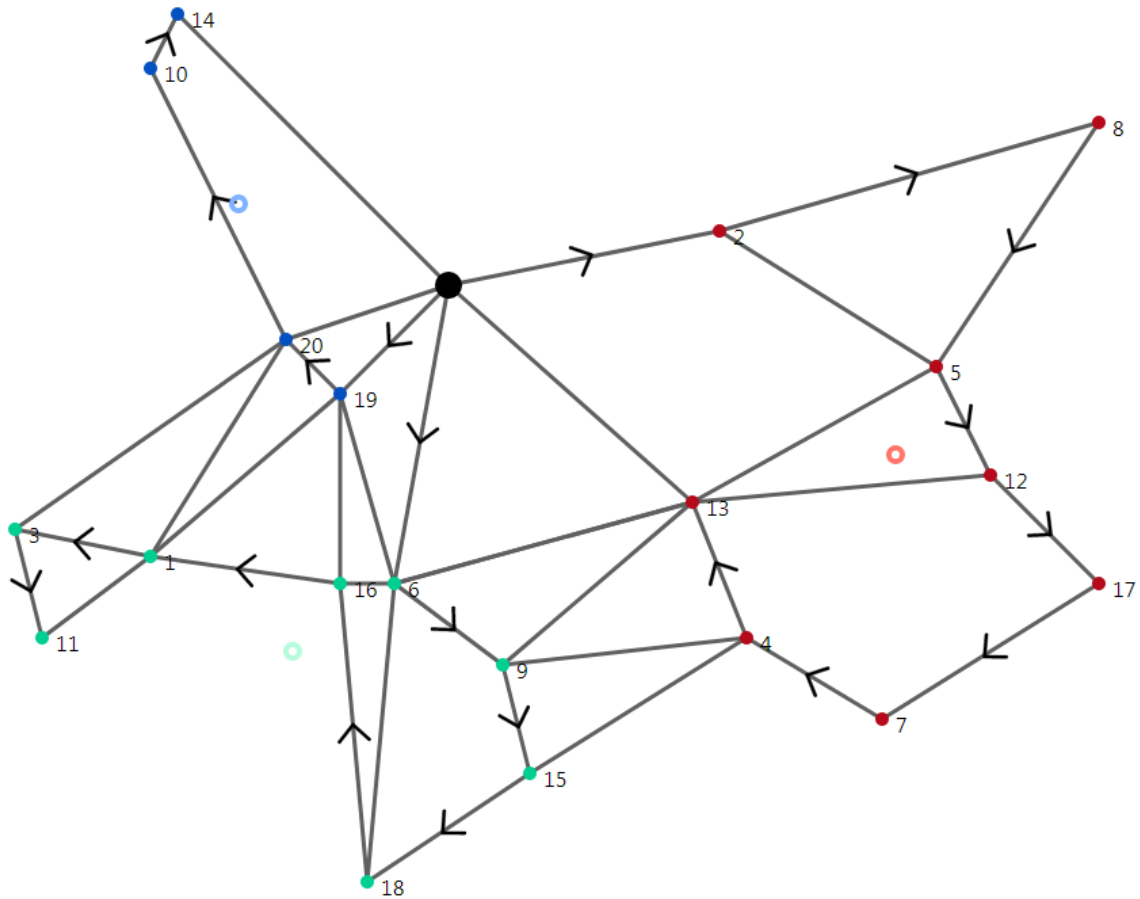


Рисунок 5.21 – Візуалізація результатів побудови маршрутів на кластерах отриманих покращеним методом кластеризації k-середніх

Розрахунок часу виконання кожного з отриманих маршрутів на кластерах, отриманих поліпшеним методом кластеризації k-середніх.

Для першого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 19, 20, 10, 14 – час виконання плану постачань складає: $5.65685 + 2.82843 + 11.1803 + 2.23607 = 21.90165$ у.о.

Для другого кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 2, 8, 5, 12, 17, 7, 4, 13 – час виконання плану постачань складає: $10.198 + 14.5602 + 10.8167 + 4.47214 + 5.65685 + 9.43398 + 5.83095 + 5.38516 = 66.35398$ у.о.

Для третього кластера, що складається з наступної послідовності ритейл точок: 6, 9, 15, 18, 16, 1, 3, 11 – час виконання плану постачань складає: $11.1803 + 5.0 + 4.12311 + 7.2111 + 11.0454 + 7.07107 + 5.09902 + 4.12311 = 54.85311$ у.о.

Для маршрутів побудованих усередині кластерів, отриманих поліпшеним методом k-середніх, поставлені обмеження за часом дотримані в межах допустимих значень.

5.2.2.3 Fuzzy C-Means

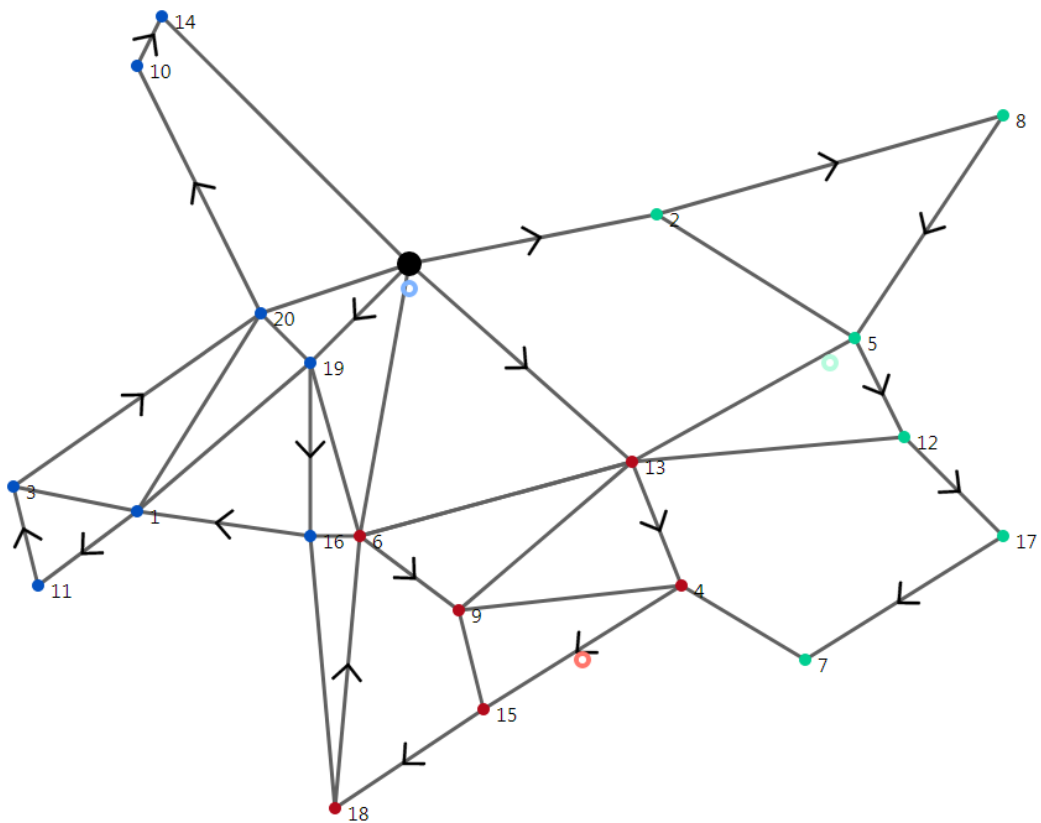


Рисунок 5.21 – Візуалізація результатів побудови маршрутів на кластерах, отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх

Розрахунок часу виконання кожного з отриманих маршрутів на кластерах, отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх.

Для першого кластера, що складається з наступної послідовності рітейл точок: 19, 16, 1, 11, 3, 20, 10, 14 – час виконання плану постачань становить: $66.32456 + 12.2066 + 7.07107 + 5.0 + 12.2066 + 11.1803 + 2.23607 = 56.2252$ у.о.

Для другого кластера, що складається з наступної послідовності рітейл точок: 13, 4, 15, 18, 6, 9 – час виконання плану постачань становить: $12.0416 + 5.38516 + 9.43398 + 7.2111 + 11.0454 + 5.0 = 50.11724$ у.о.

Для третього кластера, що складається з наступної послідовності рітейл точок: 2, 8, 5, 12, 17, 7 – час виконання плану постачань складає: $10.198 + 14.5602 + 10.8167 + 4.47214 + 5.65685 + 9.43398 = 55.14787$ у.о.

Для маршрутів, побудованих усередині кластерів, отриманих методом нечіткої кластеризації С-середніх, поставлені обмеження за часом дотримані в межах допустимих значень.

Усі отримані маршрути методом генетичних алгоритмів усередині кластерів для всіх методів кластеризації задовольняють умовам часу та вантажопідйомності.

5.2.3 Дослідження результатів

Після проведення всіх етапів є 6 варіантів маршрутизації транспортних засобів у системі мережевого рітейлу з 20 торговими точками.

5.2.3.1 Часові витрати

Оцінка витрат часу на побудову маршрутів.

Розрахунок плану постачання – 0.03328645 секунд.

Підготовка до кластеризації (загальний етап всіх трьох методів) – 0.05720892 секунд.

Кластеризація методом k-середніх – 0.0141115 секунд.

Кластеризація покращеним методом k-середніх – 0.0398462 секунд.

Кластеризація методом нечіткої кластеризації С-середніх – 0.102219 секунд.

Підготовка до пошуку маршрутів (загальний етап) – 0.0228308 секунд.

Підготовка до пошуку маршрутів (для кожного з методів кластеризації):

- k-середніх – 0.01605434 секунд;
- покращений k-середніх – 0.02901829 секунд;
- нечіткої кластеризації С-середніх – 0.102219 секунд.

Пошук маршрутів (мурашиний алгоритм) для:

- k-середніх – 140.7342 секунд;
- покращений k-середніх – 141.6926 секунд;
- нечіткої кластеризації С-середніх – 139.6298 секунд.

Пошук маршрутів (генетичний алгоритм) для:

- k-середніх – 150.327 секунд;
- покращений k-середніх – 152.261 секунд;
- нечіткої кластеризації C-середніх – 144.473 секунди.

Середній час візуалізації (на основі 20 візуалізацій) – 0,05 секунд.

Повний час (у секундах) пошуку маршрутів для кожного з наведених варіантів представлено в таблиці 5.5. Час візуалізації не враховується.

Таблиця 5.2 – Повний час пошуку маршрутів

	Генетичний алгоритм	Мурашиний алгоритм
k-means	150.47049201	140.87769201
k-means++	152.44319066	141.87479066
Fuzzy C-Means	144.79076417	139.94756417

Мінімальний повний час пошуку маршруту – 139.94756417 секунд для мурашиного алгоритму на основі даних методу нечіткої кластеризації C-середніх.

Максимальний повний час пошуку маршруту – 152.44319066 секунд для генетичного алгоритму на основі даних покращеного методу кластеризації k-середніх.

5.2.3.2 Порівняння отриманих маршрутів

Оцінимо співвідношення витраченого часу на пошук маршруту та його вантажопідйомність. Співвідношення обчислюється за формулою 5.1 та потім нормалізовано на інтервал [0..100] за формулою 5.2.

Таблиця 5.8 – Нормалізоване співвідношення витраченого часу на пошук маршруту та його вантажопідйомності

	Генетичний алгоритм			Мурашиний алгоритм		
	1	2	3	1	2	3
k-means	0,000	92,963	79,096	76,102	59,919	58,024
k-means++	70,787	82,649	82,884	66,512	56,429	65,834

Fuzzy C-Means	82,655	75,302	85,030	100,000	61,370	89,498
---------------	--------	--------	--------	---------	--------	--------

Всі зв'язки алгоритмів і методів кластеризації дали відносно змішані результати, і не можна виділити якийсь кращий або найгірший алгоритм або метод.

Але варто відзначити, що в середньому за часом пошуку маршруту генетичний алгоритм перевершує мурашиний у 1.24 рази.

Розглянемо нормалізовані співвідношення витраченого часу на пошук маршруту та його вантажопідйомності алгоритмів пошуку маршрутів незалежно один від одного.

Таблиця 5.9 – Нормалізоване співвідношення витраченого часу на пошук маршруту та його вантажопідйомності для генетичного алгоритму

	1	2	3
k-means	0,000	100,000	85,083
k-means++	76,145	88,905	89,158
Fuzzy C-Means	88,912	81,002	91,466

При використанні генетичного алгоритму даних отриманих методом кластеризації k-середніх – відбувається сильний розкид результатів. Цей варіант дає одночасно і найкраще співвідношення часу та вантажопідйомності, так і найгірше.

Найкращі результати показує використання генетичного алгоритму на даних, отриманих методом нечіткої кластеризації C-середніх.

Таблиця 5.10 – Нормалізоване співвідношення витраченого часу на пошук маршруту та його вантажопідйомності для мурашиного алгоритму

	1	2	3
k-means	59,491	10,554	4,823
k-means++	30,491	0,000	28,441

Fuzzy C-Means	83,374	14,941	100,000
---------------	--------	--------	---------

Зв'язування методу нечіткої кластеризації С-середніх та мурашиного алгоритму дають на тлі інших методів кластеризації найкращі результати співвідношень витраченого на пошук маршруту часу та вантажопідйомності.

Покращений метод кластеризації k-середніх та кластеризації k-середніх дають приблизно однакові результати.

ВИСНОВКИ

У данній кваліфікаційній роботі було проведено порівняльний аналіз сукупності методів кластеризації та алгоритмів побудови маршрутів на множині торгових точок однієї торгівельної мережі із одним складом.

Досліджено компоненти TMS-системи на прикладі мережі торгових точок. Проаналізовано стан TMS систем відносно інформаційних систем, розглянуто компоненти TMS системи та їх основне призначення у розділі 2. Під час аналізу предметної області визначено функціональні можливості систем управління транспортом, слабкі та сильні сторони існуючих систем.

Формалізована постановка задачі побудови маршрутів на множині торгівельних точок мережі роздрібної торгівлі у розділі 3. Визначені етапи задачі побудови маршрутів, та розроблено алгоритм їх вирішення у розділі 3.

Окремо проведено дослідження для підготовчого та основного етапів:

– розглянуто методи кластеризації. Детально розглянуті методи кластеризації k -середніх, k -means++ (покращена версія алгоритму кластеризації k -середніх, що дозволяє ефективно вибирати значення початкових центрів кластерів) та метод нечіткої кластеризації C -середніх;

– розглянуто декілька алгоритмів пошуку шляху для побудови маршрутів, такі як мурашиний алгоритм та генетичний алгоритм.

За результатами дослідження виявлено методи та алгоритми, що доцільно використовувати у для обраної предметної області із зазначеними обмеженнями.

Архітектуру та складові компоненту системи управління транспортом детально розглянуто у розділі 4.

Були реалізовані компоненти TMS-системи на прикладі системи мережевого рітейлу, а також реалізовані обрані методи кластеризацій та побудови маршрутів.

Було проведено порівняльний аналіз сукупності методів кластеризації та алгоритмів побудови маршрутів на множині торгових точок однієї торгівельної мережі із одним складом у розділі 5 на двох прикладах.

За даними дослідження не можна сказати який з обраних методів побудови маршрутів є найбільш ефективним. Побудова маршрутів в першу чергу залежить від множини точок на якій він будується. Тому етап кластеризації усій мережі торгових точок мережі на підмножини є важливим етапом від якого залежать подальші результати.

З цього можна зробити висновок, що початкові значення центроїдів повинні вираховуватись до початку кластеризації, а не обиратись випадково. Маршрути побудовані на множинах отриманих за допомогою поліпшеного методу кластеризації k -середніх майже в усіх випадках були кращими за маршрути побудовані на множинах, отриманих за допомогою методу кластеризації k -середніх, де не виконується попереднє обчислення початкових центроїдів.

Частини роботи апробовані на конференціях II International Scientific and Theoretical Conference «The current state of development of world science: characteristics and features» (Lisbon, Portuguese Republic, 2021) та XIII International Scientific and Practical Conference «Perspectives of development of science and practice » (Prague, Czech Republic, 2021).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Грицунов О. В. Інформаційні системи та технології. Навчальний посібник. — Х.: ХНАМГ, 2010. 222 с.
2. Hendrickson J. Transportation Management: A Practical Handbook (One) (Supply Chain Handbook) / Jim Hendrickson. — Heartland Professional Services, 2019. 282 с.
3. Избачков Ю. С. Информационные системы: учебник : — 2-е изд. — СПб: Питер, 2008. 656 с.
4. Система управління транспортом MapXPlus [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <http://trans-sys.com/>
5. Система управління транспортом SimpleTMS [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <http://www.sss.co.ua/products/simpletms/>
6. Комплексна система планування і контролю руху транспорту Logistic TMS [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <http://avtotracker.com.ua/transportnaya-logistika.html>
7. ABM Rinkai TMS – ABM Cloud [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://tms.abmcloud.com>
8. Автоматизация транспортной логистики – онлайн сервис [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://ant-logistics.com>
9. Система TMS (Transport Management System) – Quantum Qguar [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://quantum-software.com/ru/system-tms-qguar/>
10. Artlogics — IT продукты для логистики [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://artlogics.ru>
11. Воронцов К.В. Алгоритмы кластеризации и многомерного шкалирования. Курс лекций. – МГУ, 2007.
12. Jain A., Murty M., Flynn P. Data Clustering: A Review. – ACM Computing Surveys, 1999. – Vol. 31, No. 3. P. 264-323.

13. Arthur, D., Vassilvitskii, S. k-means++: the advantages of careful seeding. – Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms. Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia, PA, USA, 2007.С. 1027–1035.
14. МакКоннелл Дж. Основы современных алгоритмов. – М.: Техносфера, 2004. 368 с.
15. M. Dorigo, L. M. Gambardella, Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. – IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997. – Vol. 1, 1. P. 53-66.
16. M. Dorigo & T. Stützle, Ant Colony Optimization, – MIT Press, 2004.
17. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы: Учебное пособие. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2006. 320 с.
18. Саймон Д. Алгоритмы эволюционной оптимизации. – М.: ДМК Пресс, 2020. 940 с.
19. Скобцов Ю. А. Основы эволюционных вычислений. – Донецк: ДонНТУ, 2008. 326 с.
20. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы. – Exponenta Pro. Математика в приложениях, 2003. – №4. С. 70-75.
21. Субботін С. О., Олійник А. О., Олійник О. О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: Монографія / Під заг. ред. С. О. Субботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. 375 стр.
22. Poli, R., Langdon, W. B., McPhee, N. F. A Field Guide to Genetic Programming. – Lulu.com, freely available from the internet, 2008.
23. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. и др. Биоинспирированные методы в оптимизации: монография. – М.: Физматлит, 2009. 384 с.
24. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Sieci neuronowe, algorytmy

genetyczne i systemy rozmyte. – 2-е изд. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. 452 с.

25. Imanhulova Z., Bronza Ye. The problem of planning delivery of goods in the retail system / Zulfia Imanhulova, Yevhen Bronza. // II International Multidisciplinary Scientific and Theoretical Conference «The current state of development of world science: characteristics and features», Lisbon, Portuguese Republic, 2021. P. 101-103.

26. Бронза Є.С. Постанова задачі маршрутизації транспортних засобів для системи роздрібної торгівлі / Є. С. Бронза. // XIII International Scientific and Practical Conference «Perspectives of development of science and practice», Prague, Czech Republic, 2021. С. 571-575.

27. I.Grebennik. Solution Strategy for One-to-One Pickup and Delivery Problem Using the Cyclic Transfer Approach / I. Grebennik, O. Chorna, R. Dupas, I. Litvinchev, T.Romanova // EAI Endorsed Transactions on Energy Web, Special issue on Energy Conservation, Information Technologies and Large Scale Optimization, Issue 27, 2020.

28. Бронза Є. С. Розробка програмного додатка для управління організацією закупівель при виконанні ІТ-проектів / Є. С. Бронза. // Інформаційні інтелектуальні системи : матеріали 24-й Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». Зб. матеріалів форуму (7–9 квітня 2020 року). – Харків: ХНУРЕ, 2020. – Т. 6. С. 302–303.