

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

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

Розробка протоколу маршрутизації на основі
алгоритму ройового інтелекту

Виконав: студент

IV курсу, групи СІ-41

спеціальності

123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Луговий А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Баран І.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.
(прізвище та ініціали)

« » 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

Студенту Луговому Андрію Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка протоколу маршрутизації на основі
алгоритму ройового інтелекту

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

Затверджені наказом ректора від «28» 02 2023 року № 4/7-238

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22.06. 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ.

1. Аналіз технічного завдання.

2. Проектна частина.

3. Практична частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Методи ройового інтелекту.

2. Граф роботи протоколу

3. Модель тестової мережі, побудованої в OMNeT++

4. Структура роутера R1.

5. Графік, отриманий в результаті моделювання AntiNet

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____ 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи</i>	<i>01.03 – 05.03</i>	<i>Виконано</i>
2.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>06.03 – 16.03</i>	<i>Виконано</i>
3.	<i>Підбір джерел про протоколи маршрутизації та ройовий інтелект</i>	<i>17.03 – 28.04</i>	<i>Виконано</i>
4.	<i>Опрацювання літературних джерел</i>	<i>29.04 – 10.05</i>	<i>Виконано</i>
5.	<i>Виконання дослідження щодо розробки протоколу маршрутизації на базі алгоритмів ройового інтелекту</i>	<i>11.05 – 18.05</i>	<i>Виконано</i>
6.	<i>Розроблення симуляційної моделі мережі</i>	<i>19.05 – 26.05</i>	<i>Виконано</i>
7.	<i>Оформлення розділу «Аналіз технічного завдання»</i>	<i>27.05 – 30.05</i>	<i>Виконано</i>
8.	<i>Оформлення розділу «Проектна частина»</i>	<i>30.05 – 02.06</i>	<i>Виконано</i>
9.	<i>Оформлення розділу «Практична частина»</i>	<i>03.06 – 08.06</i>	<i>Виконано</i>
10.	<i>Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>20.05 – 04.06</i>	<i>Виконано</i>
11.	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>09.06 – 12.06</i>	<i>Виконано</i>
12.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>12.06 – 16.06</i>	<i>Виконано</i>
13.	<i>Перевірка на плагіат</i>	<i>16.06 – 18.06</i>	<i>Виконано</i>
14.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>18.06 – 20.06</i>	<i>Виконано</i>
15.	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>23.06</i>	

Студент

(підпис)*Луговий А.С.*_____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

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

АНОТАЦІЯ

Розробка протоколу маршрутизації на основі алгоритму ройового інтелекту // Кваліфікаційна робота бакалавра // Луговий Андрій Сергійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних систем та мереж, група СІ-41 // Тернопіль, 2023 // с. – 55, рис. – 9, табл. – 7, аркушів А1 – 5, бібліогр. – 24.

Ключові слова: РОЙОВИЙ ІНТЕЛЕКТ, ПРОТОКОЛ, МЕРЕЖА, МАРШРУТИЗАТОР, МЕТРИКА, ПРОПУСКАНА ЗДАТНІСТЬ, ТАБЛИЦЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ

Кваліфікаційна робота присвячена побудові протоколу маршрутизації на базі ройового інтелекту. Розробка враховує завантаженість каналів зв'язку мережі та будує оптимальні маршрути передачі даних між її вузлами.

Проведено порівняльний аналіз алгоритмів, у результаті якого визначені основні сильні сторони методів, області їх використання і, навіть, перспективи їх розвитку, і найбільш вдалим для застосування в розробці виявився мурашиний алгоритм. Розроблено алгоритм роботи протоколу ройового інтелекту AntNet. Були сформовані графи роботи протоколу, формати службових пакетів.

У ході моделювання тестової мережі в середовищі OMNeT++. було отримано графік пропускної спроможності роутера, що використовує протокол AntNet. За результатами проведених експериментів видно, що протокол можна застосувати у дослідженнях з підвищення продуктивності мережі за великих навантажень завдяки використанню алгоритмів, котрі дають змогу виміряти час проходження пакета по мережі і здійснити перенаправлення трафіку .

ANNOTATION

Development of a routing protocol based on the swarm intelligence algorithm
// Bachelor thesis // Luhovyi Andrii // Ternopil Ivan Pul'uj National Technical
University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering,
Department of Computer Systems and Nets // Ternopil, 2023 // p.- 55, fig. – 9, table.
– 7, Sheets A1 – 5, Ref. – 24.

Keywords: SWARM INTELLIGENCE, PROTOCOL, NETWORK,
ROUTER, METRICS, NETWORK THROUGHPUT, ROUTING TABLE

The qualification work deals with the construction of a routing protocol based on swarm intelligence. The development takes into account the load on the communication channels of the network and builds optimal data transmission routes between its nodes.

A comparative analysis of algorithms was carried out, as a result of which the main strengths of the methods, the areas of their use and even the prospects for their development were determined, and the ant algorithm turned out to be the most successful for use in development. An algorithm for the AntNet swarm intelligence protocol has been developed. Work schedules of the protocol, formats of service packages were formed.

During simulation of the test network in the OMNeT++ environment. a graph of the bandwidth of a router using the AntNet protocol was obtained. According to the results of the experiments, it is clear that the protocol can be applied in research on improving the network performance under heavy loads thanks to the use of algorithms that make it possible to measure the time of a packet passing through the network and to carry out traffic redirection.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Особливості процесу маршрутизації.....	10
1.2 Ройовий інтелект	11
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	17
2.1 Мурашиний алгоритм	17
2.1.1 Рішення за допомогою алгоритму PI	17
2.1.2 Ідея мобільних агентів	21
2.2 Опис протокол	22
2.3 Граф роботи протоколу	24
2.4 Алгоритм протоколу	26
2.4.1 Алгоритм роботи протоколу AntNet	26
2.4.2 Ініціалізація мережі.....	27
2.4.3 Підтримка оптимальних маршрутів.....	30
2.4.4 Опрацювання збоїв.....	33
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	38
3.1 Структури пакетів	38
3.2 Огляд середовища OMNeT++	39
3.3 OMNeT++ модель.....	40
3.4 Результати експерименту	42
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ...	45
4.1 Працездатність людини – оператора	45
4.2 Вимоги ергономіки до організації робочого місця оператора ПК.....	48

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Луговий А.С.			Лім.	Арк.	Аркушів	
Керівник.		Баран І.О.						
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41			
Н. Контр.								
Затверд.		Осухівська Г.М						

ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53
ДОДАТКИ	
Додаток А Технічне завдання	

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І
ТЕРМІНІВ

BAN (Body Area Network) – бездротова натільна мережа.

INET Framework –комплект модулів з відкритим вихідним кодом, що дозволяють реалістично моделювати вузли та протоколи провідних та бездротових мереж.

OSPF (Open Shortest Path First) – протокол динамічної маршрутизації за станом каналів.

RTT (Round-Trip Time) – час, потрібний для пересилання сигналу від передавача до отримувача, а потім у зворотньому напрямку, для підтвердження отримання сигналу.

WSN (Wireless Sensor Network) – бездротова сенсорна мережа.

Mr (Маршрутизація) – процес визначення на основі даних з таблиці маршрутизації оптимального шляху від вузла-джерела до вузлу-одержувачу за умов надлишкових зв'язків.

МП – мережевий пакет.

ТMr – таблиця маршрутизації.

ОС- операційна система.

ПЗ – програмне забезпечення.

Програмний агент — це програма, яка вступає у відношення посередництва з користувачем або іншою програмою.

РІ – ройовий інтелект.

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Одним із найбільш важливих механізмів передавання даних є Mr [1]. Її процедура дає гарантію, що дані рухаються з однієї мережі до іншої при наявності оптимальної швидкості передавання та мінімальної часової затримки. Цілісність даних при Mr гарантована [2].

Алгоритм Mr - частина ПЗ мережного рівня, і відповідає за визначення по якій лінії відправляти МП далі. Незалежно від того чи вибирається маршрут для сесії або для кожного МП, алгоритм Mr повинен мати ряд властивостей: коректність, простота, стійкість, стабільність, справедливість і оптимальність [2].

Mr по вектору відстані - це алгоритм Mr, ідея якого в тому, що кожен маршрутизатор в підмережі має таблицю відстаней до кожного маршрутизатора в підмережі. Періодично маршрутизатор обмінюється інформацією зі своїми сусідами та оновлює інформацію у таблиці. Кожен елемент таблиці містить два поля: перше - номер лінії, якою треба відправляти МП, щоб досягти потрібного місця, друге - величина затримки до призначення. Її можна виміряти у різних одиницях: стрибках, мілісекундах, довжині черги на лінії тощо [3].

Алгоритм AntNet є адаптивним алгоритмом Mr, метод пошуку шляхів якого заснований на поведінці мурах у природі. У ньому передбачено дослідження стану мережі з використанням агентів (мурах), які в класичному поданні даного алгоритму використовують ймовірнісні правила вибору маршрутів. Для Mr МП даних використовуються імовірні TMr [4].

У довільні моменти часу роутер мережі, налаштованої за допомогою AntNet, генерує повідомлення, які надсилаються до певного вузла, що приймає, але кожне повідомлення слідує за своїм маршрутом. За допомогою такого алгоритму заміряється час проходження повідомлення на кожному маршруті, і потім шлях з меншим часом проходження змінює колишній маршрут і стає новим за замовчування до даного вузла призначення.

Метою роботи є розробка протоколу Mr на основі PI, що враховує

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завантаженість каналів зв'язку мережі, і на підставі цього параметра, буде маршрути передавання даних між її вузлами.

Завдання, необхідні для досягнення даної мети:

- виконати порівняльний аналіз алгоритмів РІ;
- розробити граф роботи протоколу РІ;
- розробити протокол Мр, алгоритм роботи якого буде заснований на алгоритмі РІ;
- провести моделювання розробленого протоколу в мережевому середовищі моделювання OMNeT++.

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Особливості процесу маршрутизації

У процесі побудови Mr виділяють дві частини: визначення подальшого шляху МП і його безпосереднє пересилання по цьому шляху [5].

Відповідно до цих частин, процес Mr власне можна представити у вигляді ієрархії двох пов'язаних між собою рівнів:

- саме Mr. Тут проходить опрацювання TMr, котра застосовується для визначення мережевої адреси чергового маршрутизатора, на який буде переданий МП, чи особисто одержувача МП. Після взяття адреси передачі вказується визначений вихідний порт маршрутизатора з метою передавання МП. Варто відмітити, що налаштування TMr здійснюється протоколами Mr. Також тут окреслюється список потрібних сервісів [5];

- передачі МП. Перед передачею, треба перевірити контрольну суму власне його заголовка, встановити адресу одержувача та відправити МП, не забуваючи про черговість, фрагментацію, фільтрацію та інші дії. Ці дії проводяться, з урахуванням команд, котрі поступили з попереднього рівня [5].

Алгоритми Mr бувають неадаптивними та адаптивними.

Перші не беруть до уваги поточне завантаження мережі та стан топології. Усі можливі маршрути обчислюються заздалегідь і завантажуються в маршрутизатори під час завантаження мережі. Така Mr називається статичною.

Другі алгоритми, навпаки, визначають маршрут виходячи з поточного завантаження мережі та топології. Адаптивні алгоритми відрізняються тим, де і як вони отримують інформацію (локально від сусідніх маршрутизаторів або глобально від усіх), коли вони змінюють маршрут (кожні ΔT секунд, коли змінюється навантаження, коли змінюється топологія), яка метрика може

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		Луговий А.С.				<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Керівник.</i>		Баран І.О.					<i>Аркушів</i>
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41

використовуватися при оптимізації (відстань, кількість стрибків), очікуваний час передачі) [3].

Процедура пошуку найкоротших шляхів в алгоритмі AntNet використовує ті самі принципи, що і колонія мурах при пошуку їжі [6].

Мураха на своєму шляху залишає слід з активних речовин – феромонів. Феромоновий слід у зовнішньому середовищі існує деякий час, і мурахи, які йдуть слідом, з більшою ймовірністю віддадуть перевагу тому напрямку, яким до них пройшли інші мурахи. Ця ймовірність буде тим більше, чим більше мурах пройшло цим шляхом. Таким чином, через деякий час більша частина мурах буде використовувати один, найбільш близький до оптимального маршрут [6].

Роль мурах у протоколі AntNet виконують активні агенти - спеціальні МП, котрі несуть із собою статистику про стан пройдених мережевих каналів.

1.2 Ройовий інтелект

Цей термін було введено вченими Ван Цзіном та Херардо Бені у 1989 році. Поняття РІ дедалі тісніше переплітається з алгоритмами обробки та оптимізації великих кількостей і потоків інформації. Для перевірки РІ, раніше, було поставлено такі цілі:

- розглянути основні алгоритми РІ;
- провести порівняльний аналіз методів реалізації РІ;
- перевірити актуальність розвитку алгоритмів реалізації.

Ще давно люди стали цікавитися так званою «ройовою поведінкою» - як птахам вдається летіти на південь гігантськими косяками, не збиваючись при цьому із визначеного курсу? Як величезні колонії мурах працюють так злагоджено і зводять структури, що за складністю не поступаються сучасним мегаполісам? Завдяки чому бджоли спроможні надзвичайно точно визначати та видобувати потрібне для всієї колонії харчування? Всі ці велетенські об'єднання комах чи тварин можна назвати одним спільним терміном – рій.

Але людство не стоїть на місці і, розвиваючись, люди стали винаходити

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комп'ютери, за допомогою яких інженери стали моделювати РІ – спроби зробити роботизовані, автоматичні та автоматизовані рої. Далеко не всі експерименти вдалися, але таким чином вони започаткували створення РІ, заклавши до його заснування окремі фундаментальні постулати. Одним з них є той факт, що для РІ необхідна велика (досить) кількість агентів, здатних взаємодіяти між собою та оточуючим середовищем локально. Спостерігаючи за різними природними прикладами роїв, людство придумало різні моделі РІ, чия поведінка ґрунтувалася на різних шляхах взаємодії з навколишнім середовищем та між собою [7].

Загальна конструкція власне ройових алгоритмів містить такі етапи:

- «ініціалізація популяції агентів» – необхідно створити якесь число початкових наближень до розв'язання завдання в пошуковій області;
- «пересування агентів популяції» власне в цій області із застосування набору атрибутів, котрі притаманні визначеному ройовому алгоритму, для наближення до шуканого екстремуму функції, котра піддається оптимізації.
- «закінчення пошуку» проходить за умови завершення повторень, а як розв'язок береться найкращий із відшуканих варіантів розміщення агентів популяції. Якщо представлені умови фальш, тоді треба повернутися до здійснення другого етапу.

Модель РІ має на увазі наявність так званої «багатоагентної системи», котра визначається як система, яка містить у своєму складі множину інтелектуальних агентів - програм, котрі можуть самостійно упродовж визначеного, достатньо довгого проміжку часу виконувати завдання. На рис. 1.1 зображено різноманітні методи реалізації РІ.

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

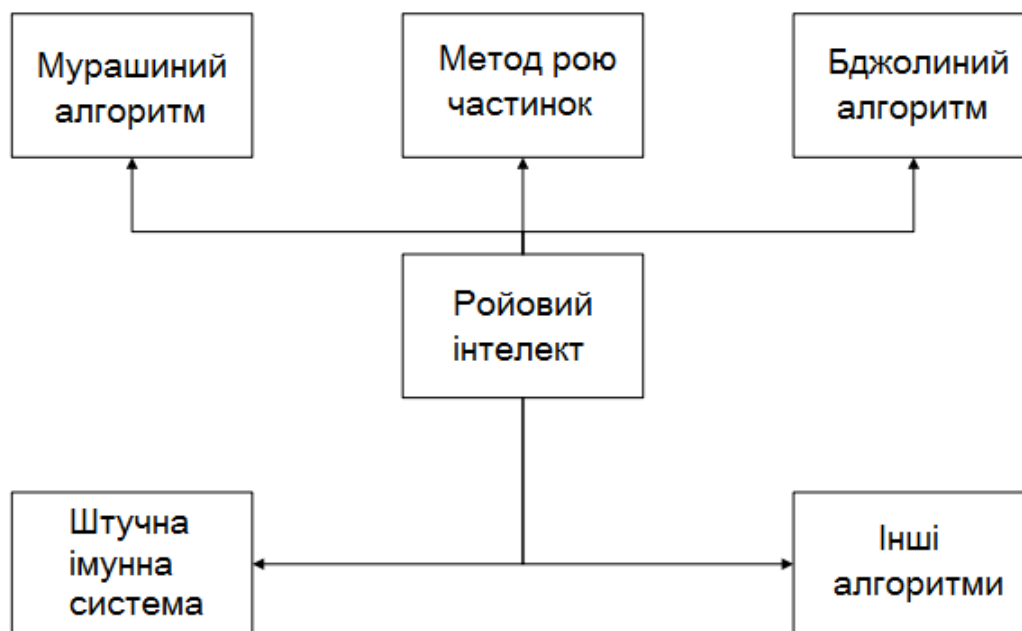


Рисунок 1.1 – Класифікація структурних методів РІ

Мурашині алгоритми є ймовірнісною жадібною евристикою, де ймовірності визначаються, беручи до уваги інформацію щодо якості рішення, отриманого з, властиво, попередніх. Їх застосовують для задач оптимізації (як статичних, так і динамічних). Схожість гарантована, буде одержано оптимальне рішення у абиякому випадку, однак швидкість збіжності не є відомою [8].

Мурашиний алгоритм буде детально розглянуто в розділі 2.

Тут варто розглянути інші алгоритми.

Метод рою частинок застосовується при чисельній оптимізації, що підтримує загальну кількість можливих рішень, котрі носять назву частинок або агентами, і переміщуючи їх у просторі до найкращого знайденого в цьому просторі рішення, що постійно перебуває у зміні через перебування агентами більш вигідних рішень [4].

Якщо проводити аналогію зі зграєю, то можна сказати, що всі агенти алгоритму (частки), у зграї вони можуть бути птахами або рибами, формулюють для себе три достатньо прості завдання:

- будь-який агент має не перетинатися з оточуючими його іншими агентами;
- кожна частка має редагувати свою швидкість згідно із швидкостями

частинок, котрі її оточують;

– кожен агент зобов'язаний докладати зусиль, щоб перебувати на достатньо малій відстані до оточуючих його агентів.

Алгоритм штучної бджолоїної колонії (або бджолиний алгоритм) ґрунтується на симуляції поведінки бджіл у своїх колоніях. Алгоритм може використовуватись у завданнях оптимізації. Необхідною умовою для застосування є наявність деякої топологічної відстані або його аналога на області рішень [9].

Роботу алгоритму можна поділити на дві частини: ініціалізація та локальний пошук.

"Штучна імунна система" - це така обчислювальна система, яка здатна адаптуватися і використовувати схожі з реальною імунною системою принципи та механіки [10]. Цей метод має три основні теорії, які відтворюють його роботу та взаємозв'язки між елементами [11]:

- негативного відбору;
- імунної мережі;
- клональної селекції.

Інші алгоритми РІ найменш поширені та рідко використовуються [9].

Перелік таких алгоритмів:

- метод крапель води, що знаходить або найближчі, або найбільш оптимальні «шляхи для води», подібно до річок;
- алгоритм зозулі - заснований на паразитуванні, подібно до того, як деякі види цих пташок підставляють яйця в чужі гнізда, з часом навчившись імітувати кольори чужих яєць;
- метод альтруїзму, заснований на тому, що кожен агент «дбає» про оточуючих, не звертаючи уваги на себе;
- метод гравітаційного пошуку - укладено з дотриманням закону всесвітнього тяжіння (всі тіла притягуються один до одного), а саме у пошуках найбільш якісних, «важких», агентів.

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином при вивченні основних алгоритмів PI було проведено їх порівняння, виявлено їх переваги, сфери використання та отримання розвитку алгоритму. Одержані результати демонструє табл. 1.1 [12].

Таблиця 1.1 – Порівняння можливостей алгоритмів PI

	Мурашиний алгоритм	Метод рою частинок	Бджолиний алгоритм	Штучна імунна система
Переваги	<ul style="list-style-type: none"> – Досить ефективний для TSP з невеликою кількістю вузлів; – Використовується у додатках, які можуть адаптуватися до змін; – Завдяки пам'яті всієї колонії і випадковому вибору шляху не так схильний до невдалих початкових рішень. 	<ul style="list-style-type: none"> – Вкрай низька алгоритмічна складність у реалізації; – Досить ефективний для глобальної оптимізації. 	<ul style="list-style-type: none"> – Можливість ефективного поділу на паралельні процеси; – Висока швидкість роботи. 	<ul style="list-style-type: none"> – Параметрична пластичність; – Є дуже гнучкими по відношенню до мінливого зовнішнього середовища.
Застосування	<ul style="list-style-type: none"> – Розрахунки комп'ютерних та телекомунікаційних мереж; – Завдання комівояжера; – Завдання розмальовки графа; – Завдання оптимізації мережевих трафіків. 	<ul style="list-style-type: none"> – Завдання машинного навчання; – Завдання оптимізації функцій багатьох параметрів, форм, розмірів та топологій; – Біоінженерія, біомеханіка, біохімія. 	<ul style="list-style-type: none"> – Оптимізація управління; – Оптимізація класифікаторів. 	<ul style="list-style-type: none"> – Забезпечення комп'ютерної безпеки; – Розпізнавання образів; – Багатовимірні багатоекстремальні оптимізації; – Виявлення аномалій у часових рядах даних.

	Мурашиний алгоритм	Метод рою частинок	Бджолиний алгоритм	Штучна імунна система
Розвиток	<ul style="list-style-type: none"> – Гібридизація з генетичними алгоритмами; – Використання бази нечітких правил. 	<ul style="list-style-type: none"> – Подання як багатоагентної обчислювальної системи; - Можливості включення інших, складніших методів PI. 	<ul style="list-style-type: none"> – Зниження залежно від встановлених параметрів; – Об'єднання з генетичними алгоритми. 	<ul style="list-style-type: none"> – Клональний алгоритм відбору; – Негативний алгоритм відбору; – Імунний мережевий алгоритм; – Дендритний алгоритм.

Було виконано порівняльний огляд алгоритмів, у результаті якого виявлено основні сильні сторони методів, області їх використання і, навіть, перспективи їх розвитку, і найбільш вдалим виявився мурашиний алгоритм. Він і використовуватиметься для виконання завдання на кваліфікаційну роботу.

РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1 Мурашиний алгоритм

2.2.1 Рішення за допомогою алгоритму РІ

Оптимізаційний алгоритм з наслідуванням колонії мурах (або мурашиний алгоритм) - один з найбільш ефективних алгоритмів для вирішення задач з пошуку маршрутів у графах та знаходження наближених рішень для завдання комівояжера. Суть алгоритму полягає у застосуванні моделі функціонування колонії мурах до вирішення різноманітних завдань. У цьому алгоритмі мурашина колонія розглядається як мультиагентна система, в якій усі агенти діють самостійно за дуже простими алгоритмами, але вся система загалом поводить себе дуже розумно. Поведінка колонії мурах ґрунтується на самоорганізації, що досягається за рахунок взаємодії агентів на низькому рівні для загальної мети. Особи можуть взаємодіяти як з допомогою прямого обміну інформацією (хімічний, візуальний контакт), і з допомогою непрямого обміну (стигмергії). Він полягає у тому, що певний агент може змінювати область простору з допомогою деякої речовини (феромона), після чого інші агенти можуть використовувати цю інформацію для визначення свого маршруту. В результаті концентрація феромонів на маршруті визначає пріоритет його вибору. Крім того, «феромон» може випаровуватися, що створює динамічність у цьому алгоритмі.

Першим, хто зумів застосувати поведінку мурах для вирішення задачі про пошук найкоротшого шляху, став Марко Доріго на початку 90-х років ХХ століття [13]. Пізніше також було вирішено багато оптимізаційних завдань за допомогою мурашиних алгоритмів. Нині ці алгоритми показують найкращі результати у деяких задачах. Концепція алгоритму полягає у здатності мурах

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		Лім.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Луговий А.С.						
Керівник.		Баран І.О.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Осухівська Г.М						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41

стрімко знаходити саму коротку дорогу і адаптуватися до різних зовнішніх умов. Під час руху кожна мураха мітить свій шлях феромоном, що надалі застосовується іншими комахами. Це і є простим алгоритмом одного агента, який у сумі всіх агентів колонії дозволяє знаходити найкоротший шлях або змінювати його при виявленні перешкоди (рис. 2.1).

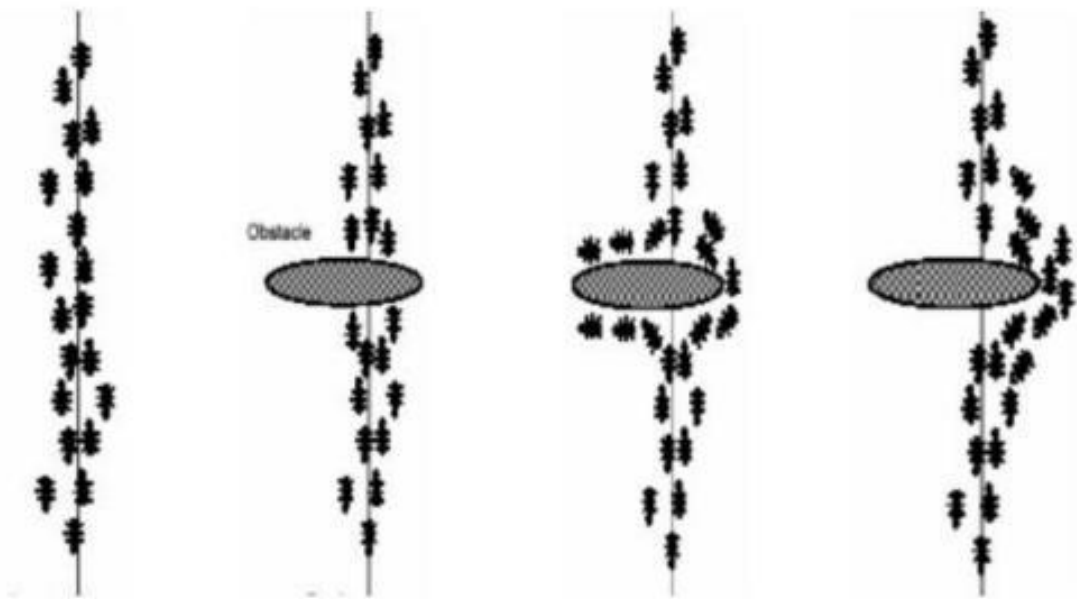


Рисунок 2.1 – Приклад знаходження мурахами нового шляху з появою перешкоди

Розглянемо випадок, коли на шляху від мурашника до джерела їжі зустрічається розвилка і мураха повинна самостійно вибрати один із двох шляхів. Один із шляхів набагато довший, але мураха, що знаходиться на розвилці, не має про це жодного уявлення. Через деякий час виявляється, що так званий «мурашиний трафік» спрямований саме коротким шляхом [5].

У визначеному разі перша мураха, дійшовши до розвилки, вибирає неоптимальний, довгий шлях. Мураха на шляху свого прямування позначає пройдену дорогу, виділяючи речовину під назвою феромон. Феромони допомагають мурахі знайти зворотний шлях, виконуючи таким чином роль зарубок, які мисливець залишає на деревах у лісі. Наступний мураха, дійшовши

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

до роздоріжжя на шляху додому, відчуває запах феромонів, залишених першою мурахою. Найчастіше мураха вибирає шлях, уже пройдений його родичем. Але в мурашиній колонії є особини, які діють протилежно до більшості представників колонії, і вибирають шлях, на якому запах феромону є слабшим або взагалі відсутнім. Не виключено, що така мураха наважиться піти незвіданим шляхом, який є непереважним для більшості мурах, і ця мураха поверне туди, де раніше ще ніхто не ходив. У наступного мурахи вибір буде складнішим: йти довгою дорогою, якою пройшли вже багато, або вибрати короткий шлях, яким пройшла тільки одна мураха і запах феромону є поки що відносно слабким. Навіть, якщо новий мураха знову вибере традиційний маршрут - це не буде проблемою. Імовірність використання альтернативного шляху все одно поступово буде збільшуватися, так як феромони поступово випаровуються, а мурахи, які слідуєть по короткому шляху, встигають оновлювати мітки на короткому шляху [14].

Кожна мураха, яка вибирає короткий шлях на роздоріжжі, поступово підвищує шанси, що цим коротким шляхом підуть і його послідовники. Таким чином, відбувається спрацьовування механізму позитивного зворотного зв'язку, що в результаті призводить до того, що основний потік мурах поступово перемикається з довгого шляху на короткий. Традиції мурашиної колонії, таким чином, роблять добру справу, скорочуючи тим самим відстань від будинку до джерела їжі, а окремі «дослідники», які не визнають догм колонії, що вибирають дорогу, якою ніхто не ходить, або добираються до джерела їжі довше за інших мурах, або зовсім залишаються ні з чим [14].

Мурашиний алгоритм можна представити у вигляді наступного набору команд:

- створення агентів;
- пошук відповідного рішення;
- зміна феромону;
- допоміжні дії (необов'язково).

Розглянемо кожен із кроків докладніше.

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Створення агентів:

- початкове розташування, де розміщується агент, залежить від початкових умов та обмежень завдання. Агенти можуть бути в одній точці, або в різних з повтореннями, або в різних без повторень;

- також вказується початкове значення феромону, щоб значення були нульовими.

Пошук відповідного рішення:

- ймовірність того, що відбудеться перехід із вершини i в j , можна визначити за формулою (2.1) [14]:

$$P_{ij}(t) = \frac{\tau_{ij}(t)^\alpha \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^\beta}{\sum_{j \in \text{allowed nodes}} \tau_{ij}(t)^\alpha \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)^\beta}, \quad (2.1)$$

де $\tau_{ij}(t)$ - рівень феромону;

d_{ij} - евристична відстань;

α, β - сталі параметри.

- якщо $\alpha = 0$, з більшою ймовірністю вибереться найближча вершина;

- якщо $\beta = 0$, вибір ґрунтуватиметься лише на феромоні.

Необхідний знайдений експериментальним способом компроміс між цими двома величинами.

Зміна феромону:

– рівень феромону змінюється за формулою (2.2) [12]:

$$\tau_{ij}(t + 1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k \in \text{Colony that used edge } (i,j)} \frac{Q}{L_k(t)}, \quad (2.2)$$

де ρ – потужність випаровування;

$L_k(t)$ - ціна поточного рішення k -го мурахи;

Q - параметр, який має значення порядку ціни оптимального рішення;

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$Q / L_k(t)$ - феромон, котрий відкладає k -м мураха, яка застосовує ребро.

Допоміжні дії: переважно використовують алгоритми локального пошуку.

Експерименти та спостереження за природою живих організмів часто призводять до незвичайних та цікавих технічних рішень. Так сталося і з такою областю досліджень як M_p : саме мурашиний алгоритм роботи підказав вченим Гіанні Ді Каро (Gianni Di Caro) та Марко Доріго (Marco Dorigo) ідею створення системи M_p , засновану на базі мобільних агентів. Дана система була описана в 1998 році у спільній роботі Ді Каро та Доринго [13].

Створення системи мобільних агентів було першою спробою використання мурашиного алгоритму до задач M_p . Шондерверд (Schoonderwoerd) та його колеги у 1996-1997 роках почали розглядати M_p як область досліджень, для якої можна застосувати ідею мурашиного алгоритму. Ними був придуманий підхід до управління мережею за допомогою мурах (ABC - ant-based control). Цей підхід використовується в телефонних мережах при M_p даних, і цей підхід багато в чому відрізняється від алгоритму роботи системи, вигаданої Ді Каро та Доринго. Крім того, вчені Субраманіан (Subramanian), Чен (Chen) та Друшель (Druschel) у 1997 році запропонували використати свій алгоритм, в основу якого лягла поведінка мурашиної колонії в природі. Цей алгоритм роботи був застосований до мереж з комутацією МП і був розширенням ABC-алгоритму.

2.1.2 Ідея мобільних агентів

Основна ідея - агенти створюються не для вирішення певного завдання, а активізуються самостійно у певні моменти часу. У свою чергу, «мобільні агенти» має на увазі агентів, здатних передати своє виконання іншим процесорам для подальшого виконання там [15].

Головна особливість, що відрізняє мобільні агенти від інших типів програм, - це їхня здатність переміщатися по мережі, причому переміщення відбувається за їхньою власною ініціативою. З цієї причини впливає, що мобільними агентами не можна вважати ні сценарії у складі HTML-сторінок, ні

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аплеті, і навіть об'єкти, що серіалізуються, що допускають копіювання по мережі, не можуть називатися мобільними агентами. На певному етапі свого виконання агент приймає рішення, що для нього буде доцільним змінити місце проживання. Для цього мобільний агент ініціює своє переміщення і на вузлі призначення агент продовжує свою роботу в тому ж стані, в якому він перебував перед початком переміщення [16].

Для створення мобільних агентів підходить мова програмування, що забезпечують реальну переносимість коду. Робилося безліч спроб з реалізації мобільних агентів інтерпретованими мовами, зокрема мовою Tcl, але найчастіше спроби реалізувати мобільний агент робляться за допомогою мови Java. Але яким би вдалим не був вибір мови реалізації агента, які б хороші рішення не приймав розробник, мобільний агент не працюватиме на тому вузлі, де не здійснюється його підтримка. Інакше вся мережа дуже скоро була б наповнена вірусами, створеними за таким принципом. Переміщення мобільного агента можливе лише на той пристрій, де є вся необхідна інфраструктура підтримки агентів даного конкретного типу, яка може бути реалізована через досить складні програми [16].

На сьогоднішній день для Mr MP через мережу часто використовується протокол OSPF [17]. Можна припустити, замість розробки нового протоколу можна модернізувати існуючий протокол OSPF. Але проблема в тому, що написання для нього мобільного агента без серйозних змін його алгоритмів є дуже складним завданням. Вся справа в тому, що у своїх таблицях, що містять інформацію про топологію мережі, OSPF не містить інформації про альтернативні маршрути, що робить відправку мобільних агентів з метою дослідження мережі та збору службової інформації завданням, що важко реалізувати.

2.2 Опис протоколу

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Класичний протокол AntNet – це адаптивний, розподілений алгоритм Mr. Елементи AntNet включають неодмінний атрибут будь-якого маршрутизатора - TMr. Процедура пошуку найкоротших шляхів алгоритму AntNet використовує такі самі принципи, як і колонія мурах при пошуку їжі. Мураха на своєму шляху залишає слід з активних речовин – феромонів. Феромоновий слід у зовнішньому середовищі існує деякий час, і мурахи, які йдуть слідом, з більшою ймовірністю віддадуть перевагу тому напрямку, яким до них пройшли інші мурахи. Ця ймовірність буде тим більше, чим більше мурах пройшло цим шляхом. Таким чином, через деякий час більша частина мурах буде використовувати один, найбільш близький до оптимального маршрут.

Роль мурах у протоколі AntNet виконують активні агенти. Активний агент - це спеціальний МП, який має статистику про стан пройдених мережевих каналів. Такими МП можуть бути МП, які називають ANT_INIT. МП ANT_INIT збирають у внутрішній стек статистику про стан мережі. Не змінюють TMr. При проходженні маршрутизаторів, МП ANT_INIT відчують ті ж самі затримки, як і звичайні МП даних, тому зібрана ними інформація переважно відповідає дійсному стану мережі. Кожен маршрутизатор, що реалізує протокол AntNet, із заданою періодичністю розсилає МП ANT_INIT у різні вузли мережі, цим відстежуючи її стан.

Робота передбачуваного роутера могла бути представлена в такий спосіб. На початковому етапі відбувається ініціалізація мережі, і всі вузли мережі налаштовують TMr з використанням протоколу PI AntNet. Потім маршрутизатор починає передачу корисних даних - IP -МП. Після того, як таймер часу розсилки МП ANT_INIT обнулиться, маршрутизатор створює повідомлення "ANT_INIT", так званого "мурашки", який використовується в протоколі визначення RTT маршрут [18]. RTT є ключовим параметром визначення оптимального маршруту. Після розсилки повідомлень ANT_INIT маршрутизатор продовжує передачу корисних IP-МП за вихідним маршрутом, який було встановлено раніше у TMr.

ANT_INIT розсилається по всіх інтерфейсах маршрутизатора, тобто за

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

допомогою широкомовної передачі. МП буде йти до вузла призначення не завжди оптимальними шляхами, але вузли мережі, які не очікують на прихід даного повідомлення ANT_INIT, просто відкидатимуть такий МП. До вузлів, які відкидають певний МП ANT_INIT, відносяться вузли, які вже отримували цей МП. Це буде можливо через те, що в процесі подорожі в ANT_INIT формується особливий стек, де фіксується інформація про відвідані вузли. Дійшовши до кінцевого вузла, МП ANT_INIT пройде весь шлях у зворотному порядку за пройденим раніше маршрутом. Оскільки ANT_INIT зберігає у своєму стеку пройдені вузли, то вузли, у яких він був, просто відкидатимуть такі МП.

Початковий маршрутизатор, дочекавшись ANT_INIT, отримує необхідну інформацію про час проходження маршруту. Наявні дані можна інтерпретувати як реальну метрику шляху, що враховує поточну конфігурацію та завантаження мережі. Відомості, що надійшли від різних МП ANT_INIT, дозволяють досить точно порівняти вартість проходження МП різними маршрутами і, відповідно, оптимізувати TMr.

Принцип визначення маршрутів, що застосовується в системі AntNet забезпечує рух МП за різними напрямками з урахуванням реального завантаження ліній. Даний алгоритм функціонування протоколу AntNet породжує певні проблеми, оскільки слід враховувати різке збільшення накладних витрат, пов'язаних із збором інформації про мережі. Так само збільшується і обсяг даних про маршрути - адже МП ANT_INIT рухається до вузла призначення не завжди найкоротшим шляхом. Але незважаючи на багаторазове підвищення накладних витрат, дані, що передаються AntNet займають малу частину пропускної спроможності ліній зв'язку, особливо якщо врахувати позитивний ефект від використання протоколу.

2.3 Граф роботи протоколу

Граф роботи протоколу Mr, що базується на PI - протоколу AntNet- може бути поданий так (рис. 2.2):

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

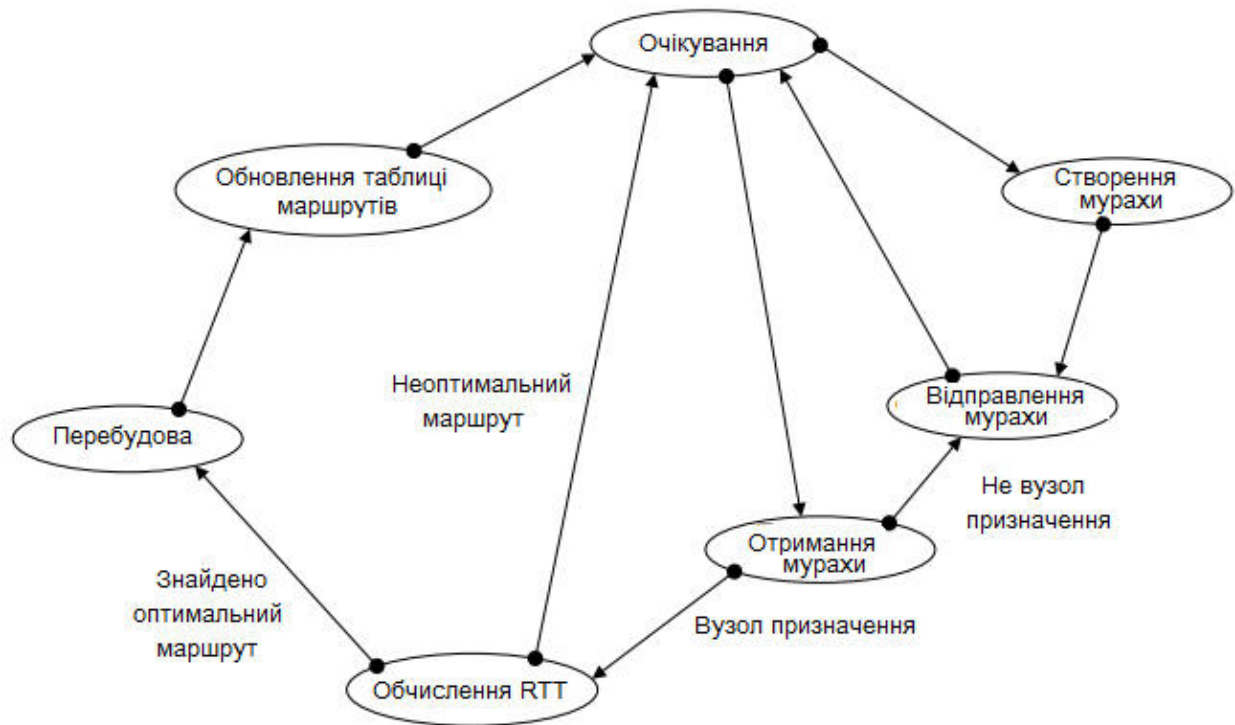


Рисунок 2.2 – Граф роботи протоколу AntNet

Робота протоколу починається у стані «Очікування», тобто у стані очікування на якісь події. У цьому стані протокол може перебувати нескінченно довго.

Після деяких зовнішніх впливів протокол перетворюється на стан «Створення мурахи». Під зовнішнім впливом розуміється обнулення таймера відправлення МП ANT_INIT. У цьому стані протокол генерує МП ANT_INIT, після чого протокол переходить у стан «Відправлення мурахи» і розсилає МП ANT_INIT по всіх інтерфейсах вузла. Після розсилки всіх МП ANT_INIT протокол повертається в початковий стан очікування. МП ANT_INIT розсилаються через мережу, вимірюючи параметр RTT. Після отримання кожного раніше відправленого МП ANT_INIT, протокол переходить у стан «Отримання мурахи», після чого відбувається визначення, чи отриманий МП вузла призначення. Якщо МП не досяг вузла призначення, відбувається перехід у стан «Відправлення мурахи», після чого протокол повертається в стан «Очікування». Якщо МП досяг цільового вузла призначення, то протокол

перетворюється на стан «Обчислення RTT», у якому відбувається підрахунок RTT МП ANT_INIT з виконаного раніше маршруту.

Якщо оптимального маршруту не було виявлено, протокол повертається в стан «Очікування». Якщо ж оптимальний маршрут було знайдено, то протокол перетворюється на стан «Перебудова». У цьому стані відбувається зміна існуючої інформації про маршрути, вибираються найоптимальніші маршрути проходження. Після цього протокол переходить у стан «Оновлення таблиці маршрутів» і оновлює її, після чого маршрут за замовчуванням до цільового вузла змінюється, МП починають передаватися оптимальним маршрутом, а протокол повертається у початковий стан «Очікування». Таким чином, залежно від того, як змінюватиметься завантаження мережі, змінюватиметься і ТМр.

2.4 Алгоритм протоколу

2.4.1 Алгоритм роботи протоколу AntNet

Роботу протоколу РІ можна умовно розбити на три основні етапи:

- ініціалізація мережі;
- підтримання оптимальних маршрутів;
- обробка збоїв.

Етап «Ініціалізація мережі» передбачає початкове налаштування мережі під час її запуску. При запуску мережі необхідно побудувати початкову маршрутизацію для передачі даних по мережі. Для цього необхідно, щоб кожен маршрутизатор отримав початкові відомості про стан мережі і на основі цих даних побудував свою ТМ.

Наступним етапом роботи протоколу РІ є етап, умовно названий «Підтримка оптимальних маршрутів». Основна ідея даного етапу роботи полягає в тому, в процесі роботи та функціонування мережі завантаження каналів зв'язку буде змінюватися, внаслідок чого передача даних через такі канали зв'язку може бути не найоптимальнішою, оскільки корисні МП даних будуть вставати в чергу на передачу, тим самим вони і самі лише збільшуватимуть цю чергу передачі.

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому даний етап роботи мережі необхідний підтримки передачі трафіку мережі за оптимальними маршрутами зв'язку. По суті, даний етап реалізує метод балансування навантаження, основна ідея якого полягає у розподілі завдань між мережними пристроями для оптимізації застосування ресурсів, зменшення часу обслуговування запитів, а також забезпечення стійкості до відмови (резервування).

Етап, званий «Обробка збоїв» є не менш важливим у ході функціонування протоколу РІ, ніж попередні етапи роботи протоколу. Даний етап орієнтований на випадок, коли в мережі відбувається збій у роботі і якийсь із вузлів виходить з ладу, внаслідок чого канал передачі даних теж виходить з ладу і логічна топологія мережі руйнується. У такому разі логічну топологію мережі необхідно перебудувувати, щоб передача даних через мережу могла й надалі відбуватися без втрати корисних МП.

2.4.2 Ініціалізація мережі

Алгоритм роботи протоколу на етапі ініціалізації мережі може бути представлений у вигляді наступного алгоритму:

- адміністратор мережі вручну робить вибір кореневого (головного) маршрутизатора в мережі. Вибір даного маршрутизатора необхідний з огляду на те, що з нього почнеться розсилання МП ANT_INIT;
- після того, як ТМр роутерів порожні, їм необхідно встановити початкові зв'язки з сусідніми маршрутизаторами. Для цього кожен маршрутизатор робить ширококомовне розсилання по всіх інтерфейсах МП ANT_HELLO. Попередньо, перед його відправкою, кожен маршрутизатор позначає час відправлення кожного з МП, для подальшого обчислення часу знаходження МП в дорозі;
- цільові маршрутизатори, отримуючи МП ANT_HELLO, зчитують, звідки він був отриманий (з якого інтерфейсу маршрутизатора), потім здійснюють його знищення та створення його дзеркальної копії, відправляючи копію за тим самим інтерфейсом, за яким і було зроблено отримання цього МП;
- маршрутизатор, отримуючи дзеркальну копію свого МП

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ANT_HELLO, фіксує час його отримання, який порівнює з часом відправлення, отримана різниця цих двох часів і відображає час знаходження МП у дорозі (параметр RTT). RTT зберігається в окремій таблиці, а RTT сусідніх маршрутизаторів не видаляється з таблиці доти, поки між пристроями існує канал логічного зв'язку передачі мережевих даних. Після обчислення RTT для кожного маршруту відбувається оновлення ТМр роутера, всі маршрути до сусідніх маршрутизаторів записуються в ТМр роутера. Після описаних маніпуляцій розпочинається наступний етап роботи протоколу РІ;

- кореневий маршрутизатор робить ширококомвне розсилання МП ANT_INIT за всіма інтерфейсами, фіксуючи у своїй час відправки кожного з них. Кожен із відправлених МП має свій унікальний ідентифікатор, який необхідний у тому, щоб маршрутизатор міг розрізнити відправлені МП;

- сусіди, отримуючи МП ANT_INIT, зчитують, звідки він був отриманий (з якого інтерфейсу маршрутизатора), потім проводять знищення МП та створення його дзеркальної копії, або МП ANT_ECHO, відправляючи копію за тим самим інтерфейсом, за яким і було здійснено одержання даного МП . В той же час, маршрутизатор, який отримав МП ANT_INIT, здійснює його подальше відправлення по всіх своїм мережевим інтерфейсам, крім того інтерфейсу, з якого було отримано МП ANT_INIT. Попередньо маршрутизатор вписується перед відправкою продовження МП ANT_INIT і дзеркального МП ANT_ECHO, фіксуючи тим самим той факт, що отриманий цим роутером МП ANT_INIT проходив саме через цей маршрутизатор. Даний захід необхідний з огляду на те, щоб надалі уникнути появи за кільцьованого трафіку, так маршрутизатор, отримуючи ширококомвні МП ANT_INIT, буде відкидати ті МП, які вже приходили на даний маршрутизатор, не відправляючи МП ANT_INIT і ANT_ECHO далі по мережі;

- МП ANT_ECHO проходить весь шлях у зворотному напрямку. Це можливо у зв'язку з наявністю в його тілі спеціального стека, в якому зберігається по кожному кожний пройдений МП ANT_INIT маршрутизатор. Маршрутизатор, отримуючи МП ANT_ECHO, здійснює аналіз стека, і приймає

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рішення щодо якого інтерфейсу відправити МП ANT_ECHO далі;

- кореневий маршрутизатор, одержуючи МП ANT_ECHO, фіксує час його отримання, який порівнює з часом надсилання, обчислюючи параметр RTT. Знаходячи маршрут до раніше невідомого маршрутизатора, цільовий роутер здійснює оновлення ТМ, вписуючи новий маршрут в таблицю. Знаходячи маршрути до відомих маршрутизаторів, відбувається порівняння RTT маршруту, що використовується за замовчуванням, що міститься в ТМ, і нового маршруту з МП ANT_ECHO. Якщо маршрут, що використовується за замовчуванням, має менший RTT, маршрут за замовчуванням зберігається, інакше відбувається коригування ТМр і маршрутом за замовчуванням до цільового вузла стає новий маршрут, отриманий з МП ANT_ECHO;

- МП ANT_INIT будуть розсилатися доти, доки не досягнуть всіх маршрутизаторів по кожному наявному в мережі маршруту, без утворення петель трафіку;

- кожен маршрутизатор, що не є кореневим, отримуючи свої перші два МП ANT_INIT, крім запису в них позначки про проходження цього цільового роутера додатково вписують свою унікальну мітку. Ця мітка необхідна для того, щоб одержуючи дзеркальні МП, які зберігатимуть у собі цю мітку, маршрутизатор міг відрізнити ці МП від інших дзеркальних МП ANT_ECHO. Позначені МП будуть використовуватися для обчислення маршрутів RTT та оновлення ТМр на цьому цільовому роутері. Перед відправкою поміченого МП ANT_INIT маршрутизатор засікає час його відправлення і зіставляє з унікальною міткою. Мітки для першого та другого МП ANT_INIT будуть різні, щоб розрізнити дзеркальні МП та зіставляти їх RTT;

- отримуючи помічений МП ANT_ECHO маршрутизатор, як і кореневий маршрутизатор, вираховує параметр RTT маршруту і зберігає маршрут, який використовується за замовчуванням, або відбувається коригування ТМр і в таблицю вписується новий маршрут;

- якщо в мережі є маршрутизатор, який має тільки один мережевий інтерфейс, такий маршрутизатор буде свою ТМр через сусідній з ним роутер,

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тобто запитує TMr сусіднього маршрутизатора перед відправкою МП ANT_DB, попередньо зафіксувавши час відправлення МП ANT_DB. Надсилання МП ANT_DB відбувається після того, як даний роутер отримає МП ANT_INIT, але не зможе відповісти на нього наступним надсиланням наступного МП ANT_INIT. Надсилання МП ANT_DB відбувається за хвилину після отримання ANT_INIT. Даний час вибрано з розрахунку, щоб сусідній маршрутизатор встиг побудувати свою TMr і, таким чином, відправив актуальну ТМ;

- цільовий маршрутизатор, отримуючи МП ANT_DB від свого сусіда, здійснює відправку всієї своєї TMr та таблиці RTT назад роутеру, що подав запит, надсилаючи йому МП ANT_DB_ECHO;

- маршрутизатор, одержуючи МП ANT_DB_ECHO, фіксує час прибуття МП, обчислюючи параметр RTT. Потім маршрутизатор виробляє оновлення ТМ, а RTT кожного маршруту вираховується за принципом додавання до кожної комірки отриманої від сусіда таблиці RTT власного параметра RTT, отримуючи, таким чином, реальне для даного маршрутизатора значення кожного показника RTT для кожного маршруту.

Етап ініціалізації мережі буде відбуватися доти, доки кожен маршрутизатор повністю не заповнить свою TMr маршрутами до всіх вузлів, що є в мережі.

2.4.3 Підтримка оптимальних маршрутів

Алгоритм роботи протоколу на цьому для кожного маршрутизатора може бути представлений у вигляді наступного алгоритму:

- протокол має таймер, налаштований на 10 хвилин. Таймер необхідний, щоб кожні 10 хвилин проводить перевірку маршрутів за фактом наявності найбільш оптимального маршруту, або встановлення факту того, що маршрут передачі даних є найбільш оптимальним. Такий час таймера вибрано з розрахунку, що цей час буде найбільш оптимальним. З цією періодичністю алгоритм часто перебудовуватиме TMr на найбільш оптимальний маршрут передачі даних, при цьому це не буде надто часто, створюючи тим самим велике

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

паразитне навантаження на мережу;

- як тільки таймер кореневого маршрутизатора зафіксує факт того, що минуло 10 хвилин, маршрутизатор розсилає по всіх своїх фізичних інтерфейсах МП ANT_INIT, вузлами призначення яких будуть всі вузли мережі, так як ANT_INIT буде передаватися ширококомовно по всіх інтерфейсах роутера. Перед відправкою МП ANT_INIT маршрутизатором буде зафіксовано час їх відправлення, для подальшого обчислення RTT, а також кожному МП буде надано унікальний ідентифікатор, для того, щоб розрізнити ці МП;

- цільові маршрутизатори, що не є корневими, отримуючи МП ANT_INIT, зчитують, звідки був отриманий даний МП (з якого інтерфейсу маршрутизатора), потім здійснюють знищення даного МП та створення його дзеркальної копії, або МП ANT_ECHO, відправляючи копію за тим самим інтерфейсом, за яким і було зроблено отримання цього МП. У той же час, маршрутизатор, який отримав МП ANT_INIT, здійснює його подальше відправлення по всіх своїх мережевих інтерфейсах, крім того інтерфейсу, з якого було отримано МП ANT_INIT. Попередньо маршрутизатор вписується перед відправкою продовження МП ANT_INIT і дзеркального МП ANT_ECHO, фіксуючи тим самим той факт, що отриманий цим роутером МП ANT_INIT проходив саме через цей маршрутизатор. Дана міра необхідна з огляду на те, щоб надалі уникнути появи закільцьованого трафіку, так маршрутизатор, одержуючи ширококомовні МП ANT_INIT буде відкидати ті МП, які вже приходили на цей маршрутизатор, не відправляючи МП ANT_INIT і ANT_ECHO далі через мережу;

- МП ANT_ECHO проходить весь шлях у зворотному напрямку. Це можливо у зв'язку з наявністю в тілі МП спеціального стека, в якому зберігається по кожному кожний пройдений МП ANT_INIT маршрутизатор. Маршрутизатор, отримуючи МП ANT_ECHO, здійснює аналіз стека, і приймає рішення щодо якого інтерфейсу відправити МП ANT_ECHO далі, щоб він пройшов весь шлях у зворотному напрямку, який склав МП ANT_INIT;

- кореневий маршрутизатор, одержуючи МП ANT_ECHO, фіксує час його

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отримання, який порівнює з часом надсилання, обчислюючи параметр RTT. Знаходячи маршрут до раніше невідомого маршрутизатора, цільовий роутер здійснює оновлення ТМ, вписуючи новий маршрут в ТМ. Знаходячи маршрути до відомих маршрутизаторів, відбувається порівняння RTT маршруту, що використовується за замовчуванням, що міститься в ТМ, і нового маршруту з МП ANT_ECHO. Якщо маршрут, що використовується за замовчуванням, має менший RTT, маршрут за замовчуванням зберігається, інакше відбувається коригування ТМр і маршрутом за замовчуванням до цільового вузла стає новий маршрут, отриманий з МП ANT_ECHO;

- МП ANT_INIT будуть розсилатися доти, доки не досягнуть всіх маршрутизаторів по кожному наявному в мережі маршруту, без утворення петель трафіку;

- кожен маршрутизатор, що не є кореневим, отримуючи свої перші два МП ANT_INIT, крім запису в них позначки про проходження цього цільового роутера додатково вписують свою унікальну мітку. Ця мітка необхідна для того, щоб одержуючи дзеркальні МП, які зберігатимуть у собі цю мітку, маршрутизатор міг відрізнити ці МП від інших дзеркальних МП ANT_ECHO. Позначені МП будуть використовуватися для обчислення маршрутів RTT та оновлення ТМр на цьому цільовому роутері. Перед відправкою поміченого МП ANT_INIT маршрутизатор засікає час його відправлення і зіставляє з унікальною міткою. Мітки для першого та другого МП ANT_INIT будуть різні, щоб розрізнити дзеркальні МП та зіставляти їх RTT;

- отримуючи помічений МП ANT_ECHO маршрутизатор, як і кореневий маршрутизатор, вираховує параметр RTT маршруту і зберігає маршрут, який використовується за замовчуванням, або відбувається коригування ТМр і в неї вписується новий маршрут;

- якщо в мережі є маршрутизатор, який має тільки один мережевий інтерфейс, такий маршрутизатор будує свою ТМр через сусідній з ним роутер, тобто запитує ТМр сусіднього маршрутизатора відправкою МП ANT_DB, попередньо зафіксувавши час відправлення МП ANT_DB. Надсилання МП

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ANT_DB відбувається після того, як даний роутер отримує МП ANT_INIT, але не зможе відповісти на нього наступним надсиланням наступного МПа ANT_INIT. Надсилання МПу ANT_DB відбувається за хвилину після отримання ANT_INIT. Даний час вибрано з розрахунку, щоб сусідній маршрутизатор встиг побудувати свою ТМ, і таким чином відправив актуальну ТМ;

- цільовий маршрутизатор, отримуючи МП ANT_DB від свого сусіда, здійснює відправку всієї своєї ТМр та таблиці RTT назад роутеру, що подав запит, надсилаючи йому МП ANT_DB_ECHO;

- маршрутизатор, одержуючи МП ANT_DB_ECHO, фіксує час прибуття МП, обчислюючи параметр RTT. Потім маршрутизатор виробляє оновлення ТМ, а RTT кожного маршруту вираховується за принципом додавання до кожної осередку отриманої від сусіда таблиці RTT власного параметра RTT, отримуючи, таким чином, реальне для даного маршрутизатора значення кожного показника RTT для кожного маршруту.

Як тільки кожен маршрутизатор отримує всі МП ANT_ECHO, які йому призначалися, етап підтримки оптимальних маршрутів на маршрутизаторі завершиться.

Слід зазначити, що на час пошуку оптимальних маршрутів маршрутизаторами мережі передача корисного трафіку в мережі не припиняється. Алгоритм підтримки таблиці оптимальних маршрутів працює паралельно з передачею трафіку по мережі. Тільки в такий спосіб можна відстежити завантаження каналів.

2.4.4 Опрацювання збоїв

Алгоритм роботи протоколу на етапі обробки збоїв у ході функціонування мережі може бути представлений у вигляді наступного алгоритму:

- щоразу, перед початком передачі від вузла джерела до вузла приймача, відбувається процедура установки з'єднання між вузлами через транспортний протокол TCP. Внаслідок даної процедури, якщо два вузли не можуть встановити з'єднання після 6 спроб (що відповідає хвилині астрономічного часу),

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маршрутизатор видаляє цей маршрут з ТМ;

- якщо з'єднання буде розірвано в процесі передачі даних, то вузол джерело зможе відстежити даний збій після того, як вузол призначення не відправить МП, що підтверджує прийом даних. Як МП, що підтверджує факт прийому даних, у протоколі TCP є відлуння МП. Якщо цільовий вузол призначення більше 6 разів поспіль не відправить факт прийому даних, маршрутизатор автоматично видаляє даний маршрут зі своєї ТМ;

- потім, оскільки маршрут за умовчанням був видалений з ТМр джерела маршрутизатора, то даний маршрутизатор робить відправку кореневому роутеру МП ANT_REINIT;

- кореневий маршрутизатор, отримуючи МП ANT_REINIT, ініціалізує перевірку та перебудову мережі. Для цього кореневий маршрутизатор виробляє ширококомвне розсилання МП ANT_INIT за всіма інтерфейсами, фіксуючи при цьому час відправлення кожного МП. Кожен із відправлених МП має свій унікальний ідентифікатор, який необхідний у тому, щоб маршрутизатор міг розрізнити відправлені МП;

- сусіди, отримуючи МП ANT_INIT, зчитують, звідки був отриманий даний МП (з якого інтерфейсу маршрутизатора), потім здійснюють знищення даного МП та створення його дзеркальної копії, або МП ANT_ECHO, відправляючи копію за тим самим інтерфейсом, за яким і було здійснено отримання цього МП. У той же час, маршрутизатор, який отримав МП ANT_INIT, здійснює його подальше відправлення по всіх своїх мережевих інтерфейсах, крім того інтерфейсу, з якого було отримано МП ANT_INIT. Попередньо маршрутизатор вписується перед відправкою продовження МП ANT_INIT і дзеркального МП ANT_ECHO, фіксуючи тим самим той факт, що отриманий цим роутером МП ANT_INIT проходив саме через цей маршрутизатор. Дана міра необхідна з огляду на те, щоб надалі уникнути появи за кільцьованого трафіку, так маршрутизатор, одержуючи ширококомвні МП ANT_INIT буде відкидати ті МП які вже приходили на цей маршрутизатор, не відправляючи МП ANT_INIT і ANT_ECHO далі через мережу;

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- МП ANT_ECHO проходить весь шлях у зворотному напрямку. Це можливо у зв'язку з наявністю в тілі МП спеціального стека, в якому зберігається по кожному кожний пройдений МП ANT_INIT маршрутизатор. Маршрутизатор, отримуючи МП ANT_ECHO, здійснює аналіз стека, і приймає рішення щодо якого інтерфейсу відправити МП ANT_ECHO далі;

- кореневий маршрутизатор, одержуючи МП ANT_ECHO, фіксує час його отримання, який порівнює з часом надсилання, обчислюючи параметр RTT. Знаходячи маршрут до раніше невідомого маршрутизатора, цільовий роутер здійснює оновлення ТМ, вписуючи новий маршрут в ТМ. Знаходячи маршрути до відомих маршрутизаторів, відбувається порівняння RTT маршруту, що використовується за замовчуванням, що міститься в ТМ, і нового маршруту з МП ANT_ECHO. Якщо маршрут, що використовується за замовчуванням, має менший RTT, маршрут за замовчуванням зберігається, інакше відбувається коригування ТМр і маршрутом за замовчуванням до цільового вузла стає новий маршрут, отриманий з МП ANT_ECHO;

- МП ANT_INIT будуть розсилатися доти, доки не досягнуть всіх маршрутизаторів по кожному наявному в мережі маршруту, без утворення петель трафіку;

- кожен маршрутизатор, що не є кореневим, отримуючи свої перші два МП ANT_INIT, крім запису в них позначки про проходження цього цільового роутера додатково вписують свою унікальну мітку. Ця мітка необхідна для того, щоб одержуючи дзеркальні МП, які зберігатимуть у собі цю мітку, маршрутизатор міг відрізнити ці МП від інших дзеркальних МП ANT_ECHO. Позначені МП будуть використовуватися для обчислення маршрутів RTT та оновлення ТМр на цьому цільовому роутері. Перед відправкою поміченого МП ANT_INIT маршрутизатор засікає час його відправлення і зіставляє з унікальною міткою. Мітки для першого та другого МП ANT_INIT будуть різні, щоб розрізнити дзеркальні МП та зіставляти їх RTT;

- отримуючи помічений МП ANT_ECHO маршрутизатор, як і кореневий маршрутизатор, вираховує параметр RTT маршруту і зберігає маршрут, який

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовується за замовчуванням, або відбувається коригування ТМр і в неї вписується новий маршрут;

- якщо в мережі є маршрутизатор, який має тільки один мережевий інтерфейс, такий маршрутизатор будує свою ТМр через сусідній з ним роутер, тобто запитує ТМр сусіднього маршрутизатора відправкою МП ANT_DB, попередньо зафіксувавши час відправлення МП ANT_DB. Відправлення МП ANT_DB відбувається після того, як цей роутер отримає МП ANT_INIT, але не зможе відповісти на нього наступним надсиланням наступного МП ANT_INIT. Надсилання МП ANT_DB відбувається за хвилину після отримання ANT_INIT. Даний час вибрано з розрахунку, щоб сусідній маршрутизатор встиг побудувати свою ТМ, і таким чином відправив актуальну ТМ;

- цільовий маршрутизатор, отримуючи МП ANT_DB від свого сусіда, здійснює відправку всієї своєї ТМр та таблиці RTT назад роутеру, що подав запит, надсилаючи йому МП ANT_DB_ECHO;

- маршрутизатор, одержуючи МП ANT_DB_ECHO, фіксує час прибуття МП, обчислюючи параметр RTT. Потім маршрутизатор виробляє оновлення ТМ, а RTT кожного маршруту вираховується за принципом додавання до кожної осередку отриманої від сусіда таблиці RTT власного параметра RTT, отримуючи, як підсумок, реальну для цього маршрутизатора величину кожного показника RTT для кожного маршруту.

Коригування ТМр на роутерах відбуватиметься доти, доки кожен маршрутизатор повністю не оновить свою ТМр актуальними маршрутами до кожного вузла.

Саме так і відбувається опрацювання збоїв у розробленому протоколі.

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Структури пакетів

Структура МП ANT_HELLO міститься в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Структура МП ANT_HELLO

Біт	0 - 15	16 - 31
0	Тип пакету	Ідентифікатор

Поле «Тип пакету» містить тип ANT -МП. Для МП ANT_HELLO це поле = 1.

Поле «Ідентифікатор» містить унікальний ідентифікатор, який був присвоєний МП джерелом маршрутизатором.

Структура МП ANT_INIT наведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Структура МП ANT_INIT

Біт	0 - 15	16 - 31
0	Тип пакету	Ідентифікатор
32	Мітки некоренових вузлів	
192	Стек пройдених вузлів	
...	...	

Для МП ANT_INIT це поле = 2.

Поле «Ідентифікатор» містить унікальний ідентифікатор, який був наданий МП кореновим маршрутизатором.

Поле "Мітки некоренових вузлів" містить унікальні позначки. У даному полі проміжний вузол прописує свою унікальну мітку для перших двох МП

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Луговий А.С.				Лім.	Арк.	Аркуші		
Керівник.	Баран І.О.								
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41				
Н. Контр.									
Затверд.	Осухівська Г.М								

ANT_INIT.

Поле "Стек пройдених вузлів" містить усі вузли, через які пройшов МП.
Структура МП ANT_ECHO показана в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Структура МП ANT_ECHO

Біт	0 - 15	16 - 31
0	Тип пакету	Ідентифікатор
32	Мітки некореневих вузлів	
192	Стек пройдених вузлів	
...	...	

Для МП ANT_DB це поле = 3.

Структура МП ANT_DB представлена в табл 3.4.

Таблиця 3.4 – Структура МП ANT_DB

Біт	0 - 15	16 - 31
0	Тип пакету	Ідентифікатор

Для МП ANT_DB це поле = 4.

Структура МП ANT_DB_ECHO наведена в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Структура МП ANT_DB_ECHO

Біт	0 - 15	16 - 31
0	Тип пакету	Ідентифікатор
32	Дані	
...	...	

Для МП ANT_DB_ECHO це поле = 5.

Поле "Дані" містить таблицю маршрутизації та таблицю RTT відправника
МП ANT_DB_ECHO.

Структура МП ANT_REINIT показана в табл. 3.6

Таблиця 3.6 – Структура МП ANT_REINIT

Біт	0 - 15	16 - 31
0	Тип пакету	Ідентифікатор

Для МП ANT_REINIT це поле = 6.

3.2 Огляд середовища OMNeT++

Це фреймворк, що модульно розширюється, в основі - елементи бібліотеки C++. Застосовується для створення моделей мережі, є симулятором дискретних подій. ПЗ містить детальне втілення протоколів, починаючи від мережевого рівня, наявність створення та під'єднання особистих модулів, просунутий графічно інтерфейс [19].

Перетворення стану симульованого прикладу проходить дискретно по часу за списком наступних подій, відсортованих за часом. Подією, власне, може бути як початок передачі МП, так і тайм-аут тощо. Вони проходять з урахуванням реалізації простих модулів. Такий модуль має функції ініціалізації, опрацювання повідомлення, дії та закінчення роботи [19].

INET Framework включає моделі різних протоколів Інтернету: IP, IPv6, TCP, UDP, 802.11, Ethernet, PPP, MPLS з LDP та RSVP-TE signalling, OSPF та ін. До комплекту також входять різноманітні достовірні ілюстрації їх застосування [20].

Самим вищим рівнем абстракції при симуляції IP в цьому ПЗ – це мережа, що містить IP -вузли. Кожен з них - це маршрутизатор чи хост. IP -сайт є комп'ютерним представленням стека протоколів Інтернету. Власне ті модулі, які він містить, організовані так, як відбувається обробка IP -дейтаграм в ОС. Варто зауважити, що обов'язковим є модуль, котрий відповідальний за мережевий рівень (власне здійснює опрацювання IP) та модуль "мережевий інтерфейс". На додачу під'єднуються модулі, котрі втілюють протоколи транспортного рівня [20].

Крім модуля INET, для OMNeT++ існує ще кілька модулів, які не використовуватимуться у цій роботі, оскільки у цьому немає потреби. Найменування цих модулів:

- MiXiN є фреймворком OMNeT++. MiXiM створено для симуляції мобільних та бездротових мереж (WSN, вузькоспеціалізованих мереж, автомобільних мереж тощо). MiXiM концентрується на нижніх рівнях стека протоколів, а також пропонує детальні моделі поширення радіохвиль, оцінки перешкод, вбудований радіопередавач енергоспоживанням та бездротових протоколів MAC [21];

Castalia - є симулятором роботи WSN, BAN та загалом мереж малопотужних пристроїв, що вбудовуються [22].

3.3 OMNeT++ модель

Тестова мережа була побудована за допомогою інструмента побудови та моделювання роботи мереж OMNeT++ [19]. Для перевірки працездатності протоколу PI було побудовано таку модель мережі, представлену на рис. 3.1.

Мережа є топологією, що складається з 8 маршрутизаторів. Маршрутизатори мережі мають назви «R*», де символ * - номер маршрутизатора. Так само, в мережі присутні вузли, генератори трафіку - це внутрішні локальні мережі. Вони мають позначення «N*», де символ * так само є номером вузла в отриманій мережі. Таких вузлів у мережі представлено 6 одиниць. Дані вузли необхідні для створення трафіку, який передаватиметься по мережі.

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

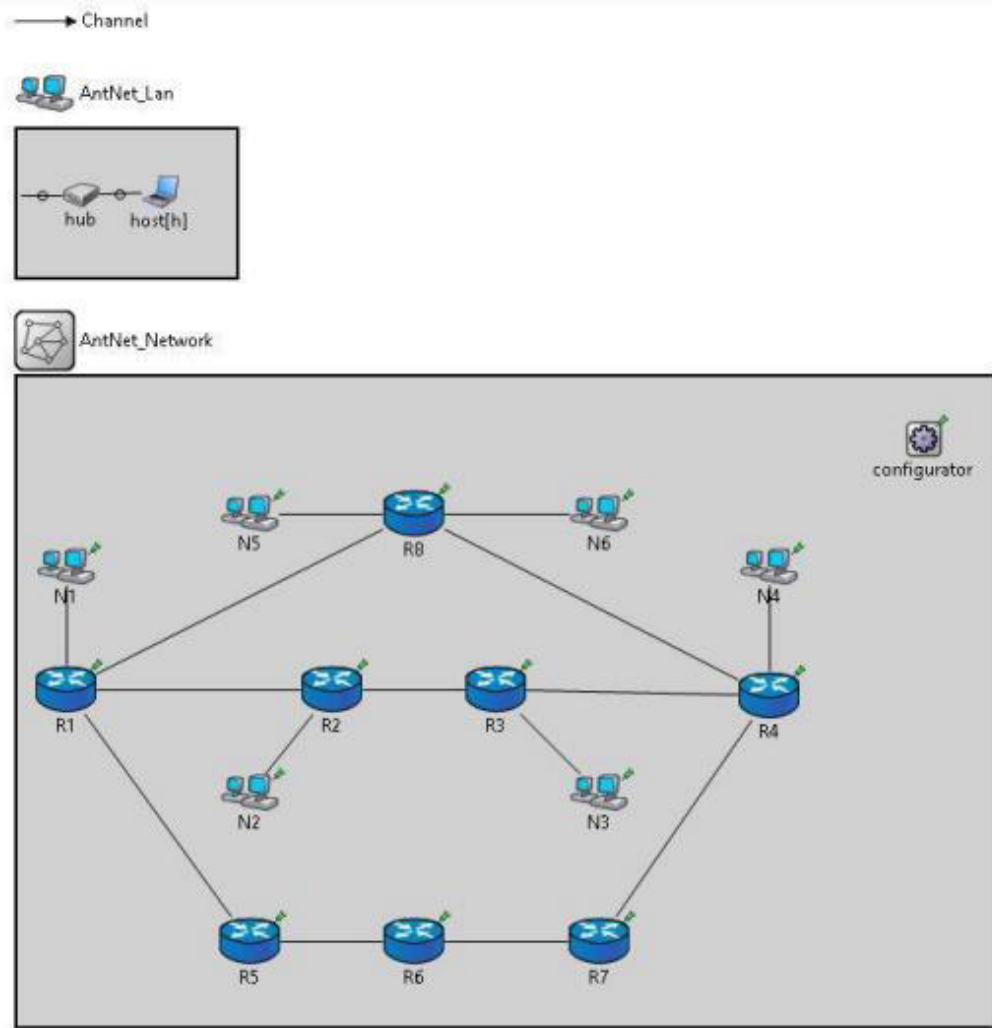


Рисунок 3.1 – Модель мережі, побудована в OMNeT++

Деякі вузли створені для створення паразитного навантаження, щоб продемонструвати алгоритм перебудови на оптимальний маршрут передачі, закладений у протокол AntNet.

Внутрішні локальні мережі (позначення малюнку «N*») мають власну топологію мережі (рис.3.2).

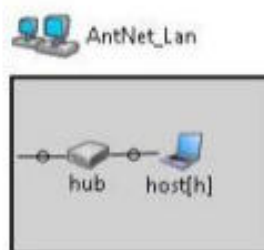


Рисунок 3.2 – Топологія внутрішніх локальних мереж

Дана топологія складається з мережевого комутатора (hub) і деякої кількості хостів (host[h]), які з'єднані з мережним комутатором каналами зв'язку. Кількість хостів може бути від 1 до 2 од.

Також у топології представленої мережі присутній елемент під назвою «configurator», який міститься справа вверху кута мережі. У OMNeT++ цей модуль має назву IPv4NetworkConfigurator. Цей модуль потрібний для видачі маршрутизаторам основних налаштувань, необхідних для роботи в мережах, що підтримують технологію TCP/IP. Основними налаштуваннями, що видаються модулем IPv4NetworkConfigurator, є IP -адреси вузлів версії IPv4, а також IP -адреси кожного інтерфейсу вузла.

У ході роботи мережі буде продемонстровано ініціалізацію мережі та пошук оптимального маршруту для передавання МП від одного вузла до іншого.

Описана вище топологія мережі була побудована з метою перевіряння роботи алгоритмів пошуку найкоротшого маршруту протоколом AntNet та подальшою перебудовою на оптимальний маршрут передачі даних у мережі.

3.4 Результати експерименту

Внутрішня структура роутера, що використовує як протокол маршрутизації протокол AntNet, представлена на рис. 3.3.

З представленої структури видно, що роутер R1 складається з кількох мережевих інтерфейсів, TMr і модулів, серед яких є модуль AntMod, реалізує роботу протоколу AntNet цьому роутері. TMr включає 14 записів. Таблиця інтерфейсів включає інтерфейс loopback та 4 інтерфейси, що з'єднують роутер R1 з іншими елементами мережі.

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

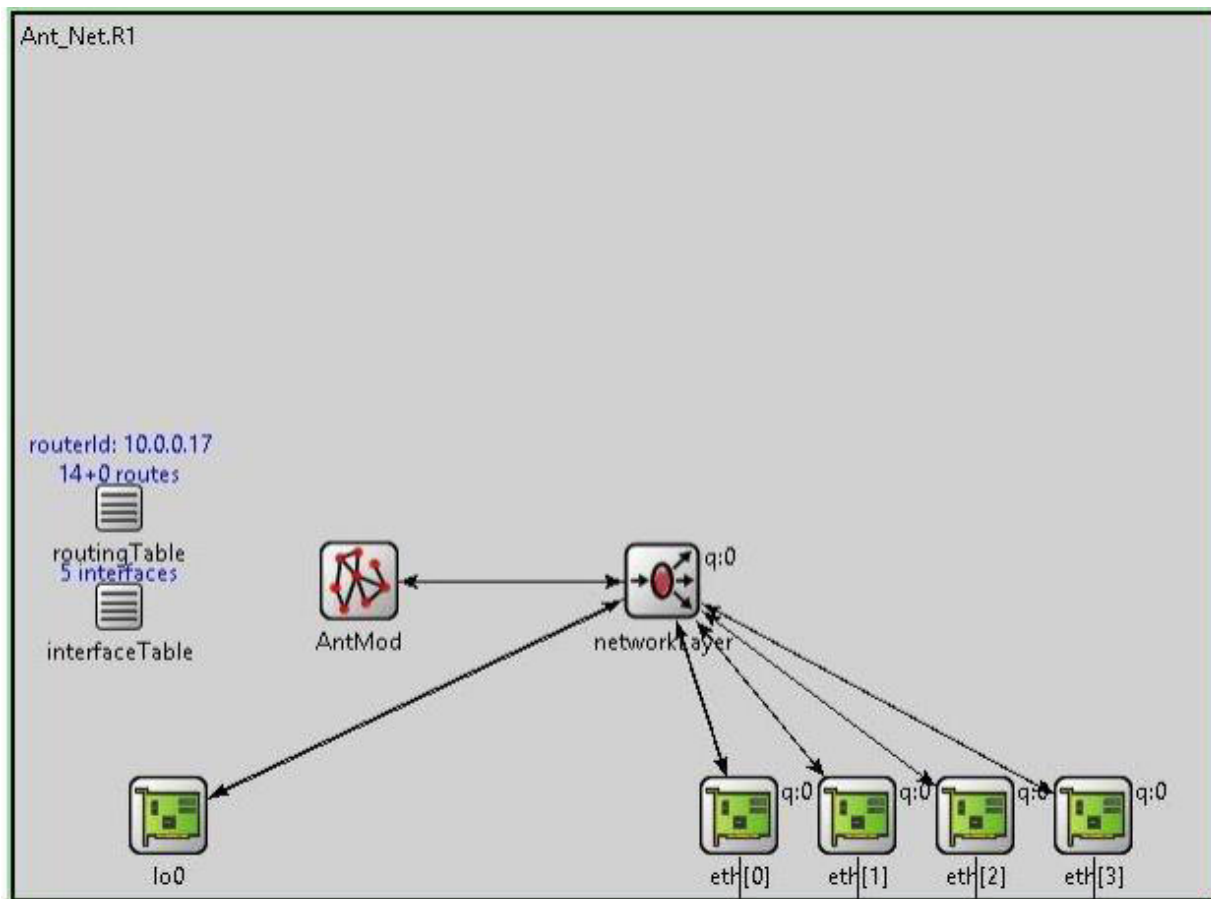


Рисунок 3.3 – Структура роутера R1

Після закінчення процесу симуляції роботи мережі в папці результатів проекту AntProject було отримано файл MyApp-0.vec. Цей файл був використаний для отримання графіка, на якому показаний вектор пропускної спроможності роутера R1.

Графік відображено на рис. 3.4.

По осі абсцис відкладено час симуляції, а по осі ординат - величина пропускної здатності.

У спеціальному файлі ASConfig.xml, що належить проекту мережі, було встановлено початкові параметри маршрутизації для маршрутизатора R1.

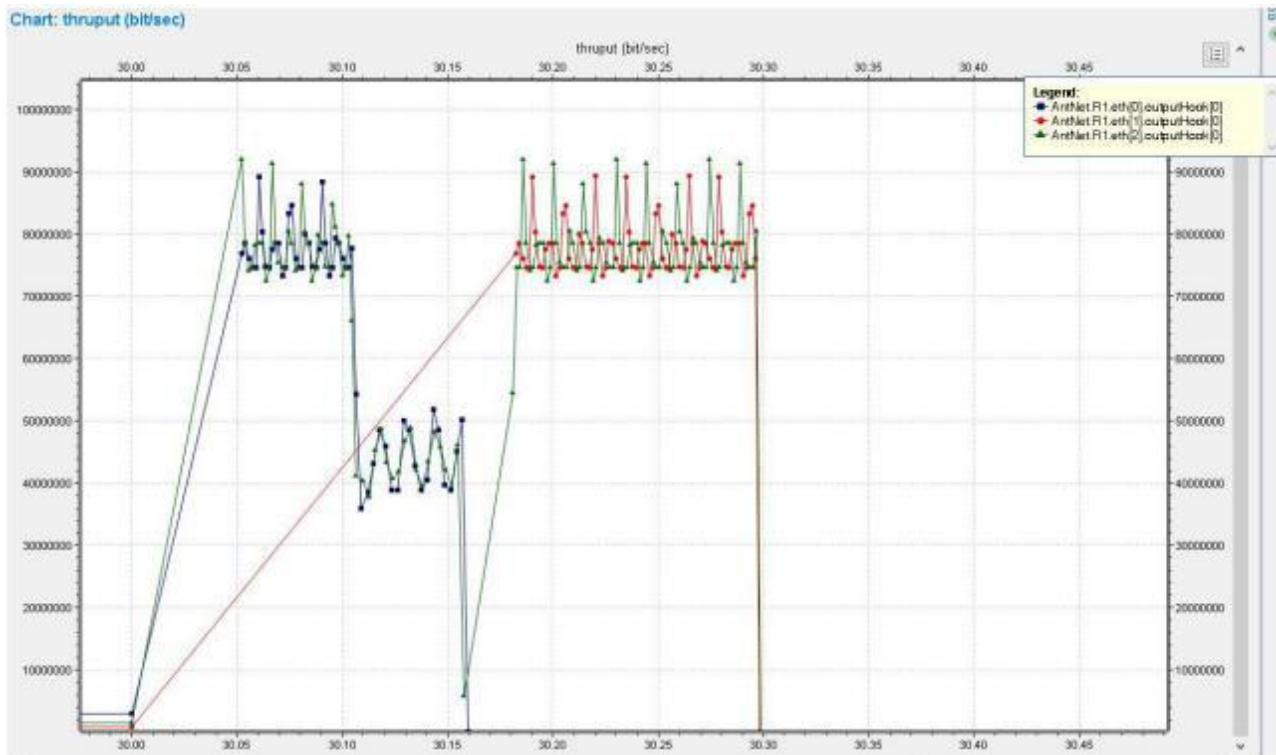


Рисунок 3.4 – Графік, отриманий в результаті моделювання AntNet

На момент часу 30 сек. відбувається ініціалізація та початок передачі корисних повідомлень з мережі N1 на N4. Перед запуском мережі маршрутизація на роутері R1 була налаштована так, що маршрут від мережі N1 на N4 проходить через роутери R1-R2-R3-R4. Модуль AntMod маршрутизатора R1, який є головним, відправить мурах і тим самим виявить, що RTT маршруту за замовчуванням більше, ніж на альтернативному маршруті, що проходить через роутери R1-R8-R4. Після чого буде змінено TMr і МП підуть за маршрутом N1-R1-R8-R4-N4.

На графіці на момент часу 30,1676 с зв'язок обривається внаслідок видалення діючого маршруту та додавання нового. На момент часу 30.1863 с завершується процес оновлення TMr на роутері R1, унаслідок чого дані на маршрутизаторі R1 починають передаватися через шлюз eth[1], який з'єднаний з роутером R8. Пропускна здатність каналів роутера R1 знову використовується за повною величиною.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Працездатність людини – оператора

Під працездатністю людини розуміють можливість її виконувати роботу з необхідною якістю та в установлений час.

Працездатність людини залежить як від зовнішніх чинників, так і від внутрішнього стану (внутрішні чинники). До зовнішніх чинників належать: кількість та форма отриманої інформації, зручність робочого місця, характер взаєностосунків в колективі, вплив чинників середовища існування. До внутрішніх чинників належать: рівень підготовки, тренуваність людини та її емоційна стійкість [23].

У процесі роботи людина переживає різні функціональні стани, які зумовлюють різні рівні її працездатності.

На рисунку 4.1 наведено зміни функціонального стану та якості роботи людини у процесі одного трудового циклу (зміни). Виділяють 4 фази працездатності: пристосування до праці, стійкої працездатності, субкомпенсації, втоми. Тривалість усіх фаз та усього циклу роботи залежить від рівня підготовки людини до роботи [23].

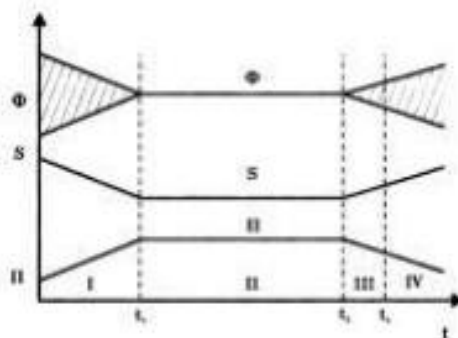


Рисунок 4.1 – Фази працездатності

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Луговий А.С.				Лім.	Арк.
Керівник.		Баран І.О.					Аркушів
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.		Осухівська Г.М					
						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41	

Тут Φ – показник функціонального стану;

Б – помилки роботи;

П – продуктивність праці.

Фаза пристосування до праці (0 – 1) – це час, протягом якого людина адаптується до майбутніх умов праці. Основний показник поступово досягає свого встановленого значення. Тривалість періоду пристосування організму до умов праці залежить від багатьох чинників, серед яких основними є інтенсивність роботи (чим інтенсивніша робота, тим цей період коротший) та рівень готовності людини до майбутньої роботи.

Значного скорочення фази пристосування до праці можна досягти за рахунок попередньої підготовки людини до роботи (виконання фізичних вправ, адаптації зору, слуху та ін.) та шляхом посиленого навчального навантаження. Суть останнього полягає в тому, що оператор перед початком роботи проводить короткочасне тренування щодо розв'язання однієї чи кількох задач підвищеної складності.

Фаза стійкої працездатності ($t_1 - t_2$) характеризується найвищою якістю праці при оптимальних рівнях функціонування фізіологічних систем організму. Тривалість цього періоду залежить від інтенсивності роботи. Чим інтенсивніша праця, тим коротший цей період. Найоптимальніша динамічна робота, коли цей період може бути в десятки разів довшим, ніж при статичній діяльності.

На процес стійкої працездатності великий вплив справляють емоції. Негативні (страх, невпевненість, поганий настрій) знижують працездатність. Позитивні (впевненість, спокій, бадьорий настрій) значно продовжують період стійкої працездатності.

Продовження періоду стійкої працездатності можна забезпечити [23]:

- оптимальним рівнем напруги психофізіологічних функцій;
- комфортними умовами праці;
- правильним поєднанням режимів праці та відпочинку;
- емоційним розвантаженням;

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

– використанням тонізуючих напоїв (кава, чай), фармакологічних засобів, зокрема препаратів рослинного походження (вітаміни, препарати, які впливають на енергетичні та метаболічні процеси);

– інформуванням людини про наслідки її діяльності, наглядом та контролем її роботи.

Практичний досвід свідчить, що вживання легких стимуляторів допомагає знизити сонливість, сприяє підвищенню працездатності на короткий період [24]. Однак активні стимулятори на відповідальних видах робіт здатні викликати негативний ефект – погіршується самопочуття, знижується рухливість та швидкість реакцій. Поширене серед населення вживання транквілізаторів, викликаючи заспокоєння та запобігаючи розвитку неврозів, може знизити психічну активність, сповільнити реакції, спричинити апатію та сонливість.

Фаза субкомпенсації ($t_2 - t_3$) розглядається як початок розвитку втоми. В цей період якість праці ще зберігається на високому рівні, але тільки за рахунок перенапруги відповідних функцій організму.

Фаза втоми (з моменту у характеризується чітко вираженим зниженням якості роботи при подальшому погіршенні функціонального стану людини. Об'єктивними показниками втоми є зміна частоти пульсу, дихання, зорової та слухової чутливості.

Наступною фазою життєдіяльності людини повинна бути фаза відновлення працездатності (відпочинку), яка може тривати від 3 до 5 хвилин; 60 — 90 хв. і навіть декілька діб.

Раціональний режим праці та відпочинку передбачає дотримання певної тривалості безперервної роботи на персональному комп'ютері і перерв, регламентованих з урахуванням тривалості робочої зміни, виду трудової діяльності. Для попередження передчасної стомлюваності операторів ПК рекомендується організувати робочу зміну шляхом чергування робіт з використанням персонального комп'ютера і без нього [24].

При виникненні у працюючих з ПК зорового дискомфорту та інших несприятливих суб'єктивних відчуттів, незважаючи на дотримання

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

санітарногігієнічних і ергономічних вимог, рекомендується застосовувати індивідуальний підхід з обмеженням часу роботи з ПК.

У випадках, коли характер роботи вимагає постійної взаємодії з ВДТ (набір текстів або введення даних тощо) з напругою уваги та зосередженості, при виключенні можливості періодичного перемикання на інші види трудової діяльності, не пов'язані з ПК, рекомендується організація перерв на 10 -15 хвилин через кожні 45-60 хвилин роботи. Тривалість безперервної роботи з ВДТ без регламентованого перерви не повинна перевищувати однієї години.

Сумарний час регламентованих перерв залежить від тривалості роботи, виду та категорії трудової діяльності з використанням ПК (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Сумарний час регламентованих перерв залежно від тривалості роботи, виду та категорії трудової діяльності з ПК

Категорія роботи з ПК	Сумарний час регламентованих перерв, хв	
	при 8-годинній зміні	при 12-годинній зміні
I	50	80
II	70	110
III	90	140

Під час регламентованих перерв з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії та гіпокінезії, запобігання розвитку позотонічної (статичного) втоми доцільно виконувати спеціально розроблені комплекси вправ.

4.2 Вимоги ергономіки до організації робочого місця оператора ПК

Для збереження працездатності й попередження розвитку захворювань опорно-рухового апарату операторів ПК необхідно організувати для них робочі місця, що відповідають вимогам ДСТУ. Виконання цих вимог показані на рис.

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 і приведено конструктивні особливості встановлюваних робочих столів і стільців, що забезпечують можливість індивідуального регулювання відповідно росту працюючих і створення для них зручної пози [24].

При правильній організації робочого місця продуктивність праці оператора зростає на 8 – 20%. Відповідно до ДСТУ конструкція робочого місця й розташування всіх його елементів повинна відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам. Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця оператора ПК повинні бути дотримані наступні основні умови:

- оптимальне розміщення устаткування, що входить до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи й переміщення;
- необхідно природне й штучне освітлення для виконання поставлених завдань;
- рівень акустичного шуму не повинен перевищувати допустимого значення.

Головними елементами робочого місця оператора є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення оператора ПК. Раціональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і сталість розміщення предметів, засобів праці й документації. Те, що потрібно для виконання робіт частіше, розташовано в зоні легкої досяжності робочого простору.

Моторне поле – простір робочого місця, у якому можуть здійснюватися рухові дії людини [24].

Максимальна зона досяжності рук – це частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, описуваними максимально витягнутими руками при русі їх у плечовому суглобі. Оптимальна зона – частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, описуваними передпліччями при русі в

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ліктьових суглобах з опорою в точці ліктя й з відносно нерухомим плечем. Зони досяжності рук у горизонтальній площині зображено на рис. 4.2.

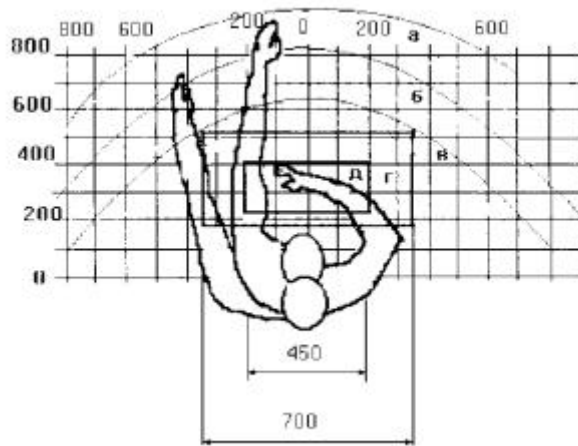


Рисунок 4.2 – Зони досяжності рук у горизонтальній площині

а - зона максимальної досяжності; б - зона досяжності пальців при витягнутій руці; в - зона легкої досяжності долоні; г - оптимальний простір для грубої ручної роботи; д - оптимальний простір для тонкої ручної роботи.

Розглянемо оптимальне розміщення предметів праці й документації в зонах досяжності рук [24]:

- монітор розміщується в зоні а (у центрі);
- клавіатура - у зоні г/д;
- системний блок розміщується в зоні б (ліворуч);
- принтер перебуває в зоні а (праворуч);
- документація - у зоні легкої досяжності долоні - в (ліворуч) - література й документація, необхідна при роботі;
- висота стола повинна бути обрана з урахуванням можливості сидіти вільно, у зручній позі, при необхідності опираючись на підлокітники;
- нижня частина стола повинна бути сконструйована так, щоб користувач ПК міг зручно сидіти, не був змушений підтискати ноги;

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

– поверхня стола повинна мати властивості, що виключають появу відблисків у полі зору користувача;

– конструкція стола повинна передбачати наявність висувних ящиків (не менш 3 для зберігання документації, літератури, особистих речей).

Параметри робочого місця вибираються відповідно до антропометричних характеристик. При використанні цих даних у розрахунках варто виходити з максимальних антропометричних характеристик.

При роботі в положенні сидячи рекомендуються наступні параметри робочого простору: ширина - не менш 700мм; глибина - не менш 400мм; висота робочої поверхні стола над підлогою 700-750мм. Оптимальними розмірами стола є: висота 710мм; довжина стола 1300мм; ширина стола 650мм.

Під робочою поверхнею має бути передбачений простір для ніг: висота - не менш 600мм; ширина - не менш 500мм; глибина - не менш 400мм.

Важливим елементом робочого місця оператора ПК є крісло. При проектуванні крісла виходять із того, що при будь-якому робочому положенні оператора його поза повинна бути фізіологічно правильною, тобто положення частин тіла повинне бути оптимальним.

Для задоволення вимог фізіології, що впливають із аналізу положення тіла людини в положенні сидячи, конструкція робочого сидіння повинна задовольняти наступним основним вимогам:

– допускати можливість зміни положення тіла, тобто забезпечувати вільне переміщення корпусу й кінцівок тіла;

– допускати регулювання висоти залежно від росту працюючої людини (у межах від 400 до 550мм);

– радіус кривизни в горизонтальній площині 400мм;

– кут нахилу спинки повинен змінюватися в межах 90-110° до площини сидіння.

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У роботі було розроблено протокол Mr з урахуванням алгоритму PI - протокол AntNet. Було сформульовано алгоритм роботи протоколу. На основі алгоритму роботи було побудовано граф роботи протоколу. Описано структури МП. Цей протокол був промодельований у середовищі моделювання OMNeT++. Підставою розробки даного протоколу послужила те, що сучасні протоколи Mr нездатні ефективно вирішувати проблему відстеження завантаженості каналів зв'язку й проводити подальшу розбудову ТМ

З допомогою бібліотеки INET Framework для OMNeT++ було реалізовано модуль, котрий забезпечує роботу протоколу AntNet.

Моделювання протоколу PI було виконано на розробленій для цього тестовій мережі. На підставі отриманих результатів були зроблені висновки, що протокол AntNet в певний момент часу відстежив, що на маршруті передачі даних час проходження МП більше, ніж на іншому маршруті. Таким чином протокол відстежив використання неоптимального маршруту передачі даних. Після цього ТMr була перебудована, і дані стали передаватися іншим маршрутом.

В процесі моделювання AntNet були зроблені висновки, що протокол може бути використаний у дослідженнях з підвищення продуктивності мережі при великих навантаженнях за рахунок використання алгоритмів, за допомогою яких вимірюється час проходження МП по мережі і відбувається перенаправлення трафіку за маршрутом з меншим показником RTT.

Для покращення ефективності роботи протоколу AntNe потрібні додаткові дослідження.

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Маршрутизація. URL: <https://www.wiki-data.uk-ua.nina.az/Маршрутизація.html> (дата звернення: 28.03.2023).
2. Призначення та класифікація протоколів маршрутизації. URL: [https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/19416/mod_resource/content/0/Призначення та класифікація протоколів маршрутизації.pdf](https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/19416/mod_resource/content/0/Призначення_та_класифікація_протоколів_маршрутизації.pdf) (дата звернення: 28.03.2023).
3. Різниця між відстанню векторної маршрутизації та маршрутизації стану каналу зв'язку. URL: <https://uk.gadget-info.com/difference-between-distance-vector-routing> (дата звернення: 28.03.2023).
4. AntNet: Adaptive routing in wired networks. URL: <http://www.giannidicaro.com/antnet.html> (дата звернення: 28.03.2023).
5. Електронний журнал ІТС. URL: http://itc.ua/articles/razgovor_o_marshrutizacii_ne_okonchen_25136/ (дата звернення: 30.03.2023).
6. Алгоритми колективної поведінки. URL: https://www.victoria.lviv.ua/library/s_tudents/sss2017/lecture/5.doc (дата звернення: 28.03.2023).
7. Електронна енциклопедія. URL: <https://studfiles.net/preview/933652/page:2/> (дата звернення: 30.03.2023).
8. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы // *Exponenta Pro*. 2003. №4. С. 70–75.
9. Методи та засоби гібридних штучних імунних систем в задачах інтелектуального аналізу даних [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.23 / Литвиненко Володимир Іванович ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Л., 2010. - 36 с.
10. Farmer J. D., Packard N. and Perelson A., (1986) «The immune system, adaptation and machine learning», *Physica D*, vol. 2, pp. 187-204
11. Watkins A., Timmis J. Artificial immune recognition system (AIRS): Revisions and refinements, in *Proceedings of the 1st International Conference on Artificial Immune Systems (ICARIS)*, Timmis J., Bentley P. J. (Eds.), University of Kent at Canterbury, 2002, pp. 173–181.

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Електронний архів Донецького національного технічного університету
URL: http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/5592/1/p_169.pdf (дата звернення: 31.03.2023).

13. AntNet: Distributed Stigmergetic Control for Communications Networks / Gianni Di Caro, Marco Dorigo // *Journal of Artificial Intelligence Research* 9 : IRIDIA, Universite Libre de Bruxelles, 1998. – С. 317–365.

14. Мурашині алгоритми. URL: <https://www.victoria.lviv.ua/library/students/ai/lecture/05.doc> (дата звернення: 10.04.2023).

15. Bradshaw, Jeffrey M. An introduction to software agents. In *Software Agents*, edited by J. M. Bradshaw, 3-46. Cambridge, MA: AAAI Press/The MIT Press, 1997.

16. Ant Colony Optimization and its Application to Adaptive Routing in Telecommunication Networks : дис. д-ра физ.-мат. наук / Gianni Di Caro. – Bruxelles, 2004 – 121 с.

17. Томас М. Томас П. Структура и реализация сетей на основе протокола OSPF, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 816 с.

18. What is round-trip time?. RTT definition. URL: <https://www.cloudflare.com/learning/cdn/glossary/round-trip-time-rtt/> (дата звернення: 18.04.2023).

19. OMNeT++ Discrete Event Simulator. URL: <http://omnetpp.org/> (дата звернення: 24.04.2023).

20. INET Framework. URL: <http://omnetpp.org/> <https://inet.omnetpp.org/> (дата звернення: 24.04.2023).

21. MiXiN. URL: <https://omnetpp.org/download-items/MiXiM.html> (дата звернення: 30.04.2023).

22. Castalia. URL: <https://omnetpp.org/download-items/Castalia.html>(дата звернення: 10.05.2023).

23. Толок А.О., Крюковська О.А. Безпека життєдіяльності: Навч. посібник. 2011. 215 с.

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

					КС КРБ 123.045.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А.
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ ___ ” _____ 2023 р

**РОЗРОБКА ПРОТОКОЛУ МАРШРУТИЗАЦІЇ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ
РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ**

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 8 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н., доц. Баран І.О.

« ___ » _____ 2023 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-41

_____ Луговий А.С.

« ___ » _____ 2023 р.

Тернопіль 2023

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Розробка протоколу маршрутизації на основі алгоритму ройового інтелекту».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.045.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерної інженерії, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Луговий Андрій Сергійович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№ 4/7-228 від 28.02.2023 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 28.02.2023 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 22.06.2023 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

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

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

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

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

2 Призначення і цілі створення розробки

2.1 Призначення розробки

Призначенням протоколу є побудова оптимальних маршрутів передачі даних між вузлами комп'ютерної мережі із врахування завантаженості каналів її зв'язку.

До основних задач, які повинен виконувати розробка, належать:

- відстеження часу проходження пакетів на маршруті передачі даних;
- визначення і використання оптимального маршруту передачі даних;
- перебудова таблиці маршрутизації для забезпечення передачі мережевих пакетів за оптимальним маршрутом.

2.2 Мета створення розробки

Основна мета проектування полягає в розробці протоколу маршрутизації на основі ройового інтелекту, що враховує завантаженість каналів зв'язку мережі, і на підставі цього параметра, будує маршрути передачі даних між її вузлами.

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

- виконати порівняльний аналіз алгоритмів ройового інтелекту;
- розробити граф роботи протоколу ройового інтелекту;
- розробити протокол маршрутизації, алгоритм роботи якого буде заснований на алгоритмі PI;
- провести моделювання розробленого протоколу в мережевому середовищі моделювання OMNeT++.

2.3 Характеристика об'єкту

2.3.1 Основні задачі та функції об'єкту

Основною задачею протоколу, котрий розробляється, є забезпечення ефективного вирішення проблеми відстеження завантаженості каналів зв'язку й проведення подальшої розбудови таблиці маршрутизації. На основі перебудованої таблиці істини протокол повинен забезпечити передачу даних іншим - оптимальним маршрутом.

При проектуванні протоколу, зокрема програмного забезпечення, необхідно проаналізувати предметну область, провести порівняльний аналіз алгоритмів, у визначити основні сильні сторони методів, області їх використання і, перспективи їх розвитку. Сформувані граф роботи протоколу, формати службових пакетів.

3 Вимоги до розробки

3.1 Вимоги до розробки в цілому

Протокол маршрутизації на основі алгоритму ройового інтелекту повинен забезпечувати відстеження та порівняння на маршрутах передачі даних часу проходження пакетів, таким чином після перебудування таблиці істинності визначити оптимальний маршрут.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування протоколу

Роботу протоколу можна умовно розбити на три основні етапи:

- ініціалізація мережі;
- підтримання оптимальних маршрутів;
- обробка збоїв.

Етап «Ініціалізація мережі» передбачає початкове налаштування мережі під час її запуску. При запуску мережі необхідно побудувати початкову маршрутизацію для передачі даних по мережі. Етап «Підтримання оптимальних маршрутів» необхідний підтримки передачі трафіку мережі за оптимальними маршрутами зв'язку. По суті, даний етап реалізує метод балансування навантаження та забезпечення стійкості до відмови (резервування). Етап «Обробка збоїв» орієнтований на випадок, коли в роботі

мережі відбувається збій і якийсь із вузлів виходить з ладу, внаслідок чого канал передачі даних теж виходить з ладу і логічна топологія мережі руйнується. У такому разі логічну топологію мережі необхідно перебудувувати, щоб передача даних через мережу могла й надалі відбуватися без втрати корисних мережевих пакетів.

3.1.2 Вимоги по діагностуванню розробки

Діагностика протоколу маршрутизації на основі алгоритму ройового інтелекту відбувається у відповідності до затвердженого розкладу профілактичних заходів.

3.1.3 Перспективи розвитку, модернізація розробки

Протокол може бути використаний у дослідженнях з підвищення продуктивності мережі при великих навантаженнях за рахунок використання алгоритмів, за допомогою яких вимірюється час проходження мережевого пакету по мережі і відбувається перенаправлення трафіку за маршрутом з меншим показником RTT.

3.1.4 Вимоги до надійності протоколу

Протокол повинен чітко і якісно визначати оптимальний маршрут, перебудувувати таблицю маршрутизації і перенаправляти пакети даних.

3.1.5 Вимоги до апаратного забезпечення

Вимоги до клієнтських робочих станцій:

- процесор – тактова частота $> 1,8$ ГГц з кількістю логічних ядер > 2 ;
- RAM – не менше 4 Гб;
- об'єм жорсткого диску – не менше 240 Гб.

3.1.6 Вимоги до програмного забезпечення

Системне програмне забезпечення.

Програмне забезпечення робочих станцій – Windows 10, .NET Framework та інше програмне забезпечення.

Спеціалізоване середовище моделювання OMNeT++

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 - 1 Методи ройового інтелекту.
 - 2 Граф роботи протоколу.
 - 3 Модель тестової мережі, побудованої в OMNeT++.
 - 4 Структура роутера R1.
 - 5 Графік, отриманий в результаті моделювання AntNet.

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

5 Техніко-економічні показники

Планована собівартість розробки повинна становити не більше 40 000 грн.

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

6 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1.	Ознайомлення із завданням до кваліфікаційної роботи	01.03 – 05.03
2.	Розробка технічного завдання	06.03 – 16.03
3.	Підбір джерел про протоколи маршрутизації та ройовий інтелект	17.03 – 28.04
4.	Опрацювання літературних джерел	29.04 – 10.05
5.	Виконання дослідження щодо розробки протоколу маршрутизації на базі алгоритмів ройового інтелекту	11.05 – 18.05
6.	Розроблення симуляційної моделі мережі	19.05 – 26.05
7.	Оформлення розділу «Аналіз технічного завдання»	27.05 – 30.05
8.	Оформлення розділу «Проектна частина»	30.05 – 02.06
9.	Оформлення розділу «Практична частина»	03.06 – 08.06

10.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	20.05 – 04.06
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи	09.06 – 12.06
12.	Нормоконтроль	12.06 – 16.06
13.	Перевірка на плагіат	16.06 – 18.06
14.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	18.06 – 20.06
15.	Захист кваліфікаційної роботи	23.06

7 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

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