**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО» Факультет інформатики та обчислювальної техніки *Кафедра інформатики та програмної інженерії***

«**До захисту допущено**»

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_Олександра Дифучина\_

\_\_”\_\_\_ ”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023 р\_\_\_

**Курсова робота**

**з дисципліни Моделювання систем**

**за освітньо-професійною програмою «Інженерія програмного**

**забезпечення інформаційних систем»**

**спеціальності «121 Інженерія програмного забезпечення»**

**на тему** *Імітаційна модель роботи транзитних каналів для передачі інформації на основі формалізму мережі Петрі*

**Виконав: студент 4 курсу, групи *ІП-02*** *Терешкович М.О.*

(підпис)

**Керівник** *асистент Дифучина О.Ю.*

(підпис)

**Члени комісії**

(підпис)

(підпис)

Київ 2023

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Кафедра інформатики та програмної інженерії

Дисципліна «Моделювання систем»

Спеціальність Інженерія програмного забезпечення

Курс 4 Група ІТ – 02 Семестр 7

**ЗАВДАННЯ**

на курсову роботу студентки

Терешкович Максим Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема роботи: Імітаційна модель роботи транзитних каналів для передачі інформації на основі формалізму мережі Петрі

2. Термін здачі студентом закінченої роботи "26" грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до проекту

Завдання № 16 з Навчального Посібника

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що розробляються)

1. Розробка концептуальної моделі 2. Розробка формалізованої моделі 3. Програмна реалізація моделі 4. Проведення експериментів 5. Інтерпретація результатів експериментів. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Графічного матеріалу не має.

6. Дата видачі завдання "12" вересня 2023 р.

[**РЕФЕРАТ** 4](#_Toc154017306)

[**ВСТУП** 5](#_Toc154017307)

[**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ** 7](#_Toc154017308)

[**РОЗДІЛ 1. КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ** 8](#_Toc154017309)

[**1.1 Дослідження можливих видів моделювання** 8](#_Toc154017310)

[**1.2 Ціль моделювання** 9](#_Toc154017311)

[**1.3 Концептуальна модель** 11](#_Toc154017312)

[**1.4 Вхідні та вихідні дані, параметри моделі** 12](#_Toc154017313)

[**1.5 Обмеження** 12](#_Toc154017314)

[**1.6 Постановка задачі** 13](#_Toc154017315)

[**РОЗДІЛ 2. ФОРМАЛІЗОВАНА МОДЕЛЬ** 13](#_Toc154017316)

[**2.1 Побудова формалізованої моделі** 13](#_Toc154017317)

[**2.2 Побудова формалізованої моделі** 14](#_Toc154017318)

[**РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ** 18](#_Toc154017319)

[**РОЗДІЛ 4 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ НА МОДЕЛІ** 24](#_Toc154017320)

[**4.1 Постановка задачі** 24](#_Toc154017321)

[**4.2 Тактичне планування** 24](#_Toc154017322)

[**4.3 Стратегічне планування** 25](#_Toc154017323)

[**ВИСНОВКИ** 29](#_Toc154017324)

[**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ** 30](#_Toc154017325)

[**ДОДАТОК А** 31](#_Toc154017326)

**РЕФЕРАТ**

Курсова робота: 31с., 17 рис., 4 табл., 0 додаток, 5 джерело літератури.

Об'єкт дослідження – транзитний канал передачі даних.

Мета роботи – визначення частоту знищення пакетів і частоту підключення ресурсу. Метод дослідження – імітаційне моделювання роботи каналу.

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, МОВА МОДЕЛЮВАННЯ, ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ, ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ, КАНАЛ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ, МЕРЕЖА ПЕТРІ

**ВСТУП**

У даній курсовій роботі проводиться аналіз системи передачі цифрової інформації, яка використовується для передачі мовлення в цифровому форматі. Заснована на принципах ефективності та якості передачі, ця система вимагає детального вивчення її функціональності та оптимізації для досягнення оптимальних показників продуктивності.

Система передачі інформації складається з двох транзитних каналів, які використовуються для передачі мовлення у цифровому форматі. Пакети мовлення буферуються перед кожним каналом, дозволяючи оптимальне керування їхнім потоком. Однак, виникає проблема знищення пакетів, що перебувають в системі більше 10 мс, через ймовірне погіршення якості переданого мовлення. Завданням є визначення частоти знищення пакетів та частоти підключення додаткових ресурсів для оптимізації цієї системи.

В рамках вирішення даної проблеми буде використано метод імітаційного моделювання[1]. Метод імітаційного моделювання дозволяє відтворити функціонал системи та вивчити її характеристики, надаючи можливість оптимізувати та покращити ефективність передачі інформації без прямого впливу на реальну систему.

Крім того, для моделювання використовується формалізм мереж Петрі[2]. Мережі Петрі - це математичний та графічний метод для моделювання та аналізу паралельних та розподілених систем. Цей метод був розроблений німецьким математиком та інженером Карлом Адамом Петрі в 1962 році і знайшов широке застосування в інформаційних технологіях, виробництві, бізнес-процесах, а також у інших областях. Мережі Петрі, як математичний та графічний метод, нададуть можливість відобразити паралельні процеси та взаємодію компонентів системи. Вони складаються з двох основних елементів: місць і переходів. Дуги з'єднують місця і переходи, визначаючи потік ресурсів чи подій в системі. Кожен елемент системи має своє власне значення та роль в процесі моделювання. Застосування цього формалізму спростить аналіз та розуміння динаміки системи передачі цифрової інформації, а також допоможе у виявленні оптимальних стратегій в умовах змінних чинників та обмежень якості передачі мовлення.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

У системі передачі цифрової інформації передається мовлення в цифровому виді. Мовні пакети передаються через два транзитних канали, буферуючись у накопичувачах перед кожним каналом. Час передачі пакета по каналу складає 5 мс. Пакети надходять через 6±3 мс. Пакети, що передавалися більш 10 мс, на виході системи знищуються, тому що їхня поява у декодері значно знизить якість переданого мовлення. Знищення більш 30% пакетів неприпустимо. При досягненні такого рівня система за рахунок ресурсів прискорює передачу до 4 мс на канал. При зниженні рівня до прийнятного відбувається відключення ресурсів.

Визначити частоту знищення пакетів і частоту підключення ресурсу.

**РОЗДІЛ 1. КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ**

## **1.1 Дослідження можливих видів моделювання**

Для аналізу характеристик функціонування будь-якої системи, важливо розробити математичну модель, яка встановлює відповідність між реальною системою та математичним об'єктом, відомим як математична модель.

Математичне моделювання процесів функціонування системи може приймати різні форми, включаючи:

* Аналітичне;
* Імітаційне;
* Комбіноване.

Аналітичне моделювання характеризується записом процесів функціонування елементів системи у вигляді функціональних залежностей, таких як алгебраїчні, диференціальні або інтегральні рівняння. Використання аналітичних моделей включає аналіз систем засобами мереж масового обслуговування, вивчення властивостей систем, описаних мережами Петрі[2], та застосування методів самоорганізації моделей. Аналітичне моделювання дозволяє аналізувати розв'язки математичними методами, але може спрощувати реальні ситуації для отримання аналітичних розв'язків.

Імітаційне моделювання, натомість, використовується для відтворення процесів функціонування системи за допомогою комп'ютерного алгоритму. Цей метод дозволяє враховувати дискретні та безупинні елементи, нелінійні характеристики та випадкові впливи, що може бути важко врахувати при аналітичних дослідженнях. Імітаційні моделі працюють як система, дозволяючи отримувати інформацію про властивості реальної системи[2] через багаторазові прогони. Основна унікальність імітаційного моделювання полягає в тому, що імітаційні моделі можна використовувати для опису та дослідження складних процесів практично на межі можливої формалізації.

Вони використовуються навіть тоді, коли частина процесів досліджуваної системи взагалі не формалізована.

У більшості випадків поведінка системи описується за допомогою станів і переходів між ними. Стан системи в момент часу t визначається як безліч цікавих для нас параметрів системи в момент часу t. Зміна параметрів призводить до зміни станів системи. Експерименти здійснюються шляхом прогонів програм на безлічі вхідних даних. У таких випадках говорять, що модель працює також як система.

Комбіноване (аналітичне-імітаційне) моделювання об'єднує переваги обох підходів, дозволяючи розділити процес функціонування системи на складові частини, для яких застосовуються аналітичні та імітаційні моделі відповідно. Цей метод дозволяє досліджувати нові класи систем, які можуть бути складні для дослідження окремо.

Вибір методу моделювання залежить від завдань дослідження, наявних ресурсів та обмежень часу, що визначає дослідник.

## **1.2 Ціль моделювання**

Однією з ключових цілей нашого дослідження є розкриття ефективних та оптимальних стратегій функціонування системи передачі цифрової інформації для забезпечення максимальної якості переданого мовлення. Конкретно, ми прагнемо досягти наступних цілей:

* *Оцінка Якості Передачі*: Провести комплексний аналіз та оцінку якості передачі мовлення в системі, зокрема, враховуючи вплив часу передачі пакетів та ймовірність їхнього знищення на якість передачі.
* *Визначення Частоти Знищення Пакетів*: Встановити оптимальну частоту знищення пакетів, щоб уникнути погіршення якості мовлення та забезпечити ефективну передачу інформації.
* *Оптимізація Часу Передачі*: У випадку перевищення порогового рівня знищення пакетів, впровадження автоматичного регулювання часу передачі на канал для прискорення передачі і збереження якості мовлення.
* *Дослідження Частоти Підключення Ресурсів*: Визначення оптимальної частоти підключення додаткових ресурсів для забезпечення сталої якості мовлення та уникнення перевищення порогового рівня знищення пакетів.

**1.3 Концептуальна модель**

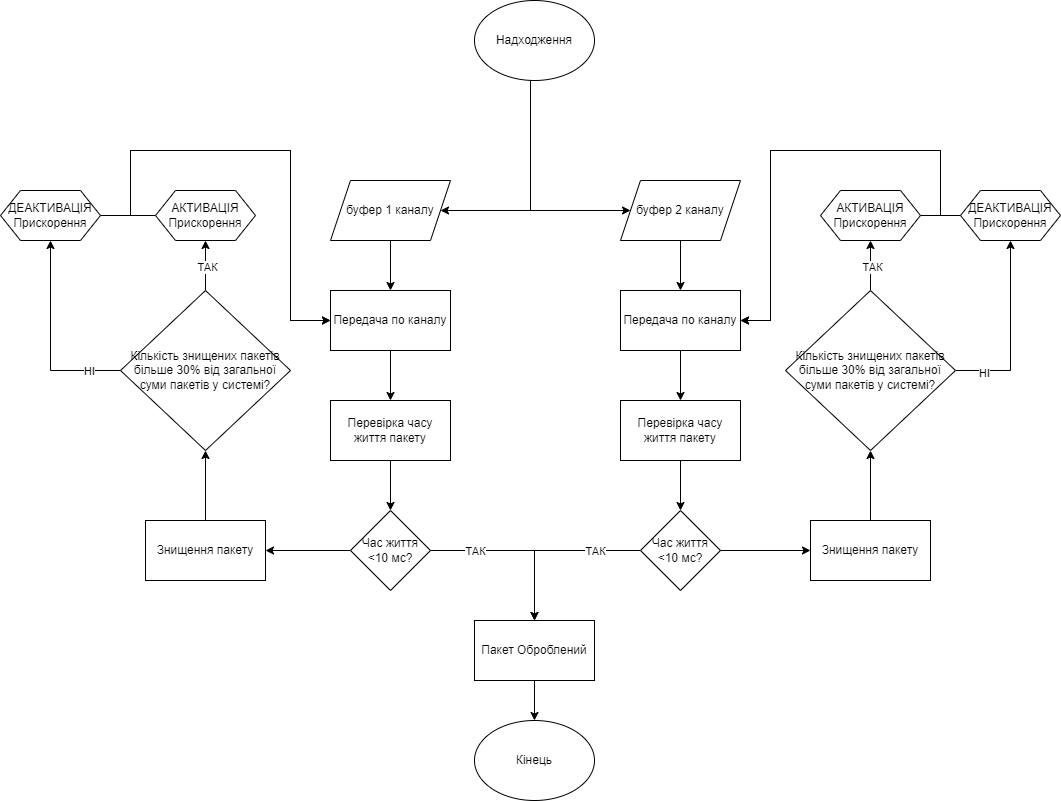


Рисунок 1.3.1 – Концептуальна модель роботи транзитних каналів

На рисунку 1.3.1 показана концептуальна модель поведінки транзитних каналів. Спочатку йде надходження пакетів у буфер перед каналом, після чого пакет передається по каналу. Далі йде перевірка життя пакету, якщо його тривалість життя <10 мс, то все окей він рахується обробленим і йде в кінець, якщо ж ні то пакет рахується знищеним. Після чого йде перевірка на кількість знищених пакетів (все це робиться в продовж роботи програми) і якщо їх кількість по відношенню до всіх створених пакетів буде перевищувати 30% відсотків, то активується прискорення, що прискорює швидкість передачі пакетів у системі на 1 мс. З 5 до 4. Все це відбувається доти доки не вийде зазначений час моделювання системи.

**1.4 Вхідні та вихідні дані, параметри моделі**

Таблиця 1.4.1 – Вхідні параметри моделі

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметри** | **Значення** | **Опис** |
|  | 1 | Кількість пакетів які надходять за раз |
|  | 6±3 мс. | Швидкість надходження одного пакету |
|  | 5 мс. | Стандартний час передачі пакету по каналу |
|  | 4 мс. | Прискорений час передачі пакету по каналу |
|  | 30% | Поріг активація прискорення при заданому відсотку знищення пакетів від загальної кількості |

Таблиця 1.4.2 – Вхідні параметри моделі

|  |  |
| --- | --- |
| **Параметри** | **Опис** |
|  | Кількість згенерованих пакетів |
|  | Кількість знищених пакетів |
|  | Кількість оброблених пакетів |
| V | Частота знищення пакетів |
|  | Кількість активації прискорення першого каналу |
|  | Кількість деактивації прискорення першого каналу |
|  | Кількість активації прискорення другого каналу |
|  | Кількість деактивації прискорення другого каналу |

## **1.5 Обмеження**

Для системи існують наступні обмеження:

* + - N1>0
    - T2> 0
    - T3> 0
    - D1> 0

## **1.6 Постановка задачі**

Цільова функція моделювання системи передачі цифрової інформації це оптимізація якості передачі пакетів, частоту їх знищення та ефективного використання ресурсів. Цільова функція може бути визначена наступним чином:

* *Мінімізація Частоти Знищення Пакетів:*

Забезпечення ефективного функціонування системи шляхом мінімізації частоти знищення пакетів. Це допомагає уникнути втрат інформації та покращити загальну якість передачі.

* *Регулювання Часу Передачі:*

Автоматичне регулювання часу передачі пакетів для оптимізації якості передачі та уникнення знищення пакетів.

Цільова функція враховує баланс між забезпеченням високої якості передачі мовлення та оптимальним використанням ресурсів у системі. Оптимізація цих параметрів дозволить системі ефективно адаптуватися до змінних умов та забезпечити стабільну та надійну передачу цифрової інформації.

**РОЗДІЛ 2. ФОРМАЛІЗОВАНА МОДЕЛЬ**

**2.1 Побудова формалізованої моделі**

Мережі Петрі – це математичний і формальний інструмент, що використовується для моделювання, аналізу та перевірки паралельних та розподілених систем. Вони дозволяють представити конкурентну активність та взаємодію різних компонентів системи у зручній формі. Основними складовими мереж Петрі є позиції, переходи та дуги, які визначають структуру моделі.

Позиції відображають стани системи і мають певну ємність для маркерів, які представляють одиниці інформації чи ресурсів. Кількість маркерів у позиціях відображає стани системи.

Переходи представляють події чи дії, які можуть траплятися в системі та впливати на її стан. Активація переходу відбувається, коли всі його вхідні позиції мають достатню кількість токенів, і маркери переміщуються через вихідні дуги до наступних позицій.

Дуги визначають напрямок переміщення маркерів між позиціями і переходами. Вони можуть бути вхідними (від позиції до переходу) або вихідними (від переходу до позиції).

A diagram of a diagram

Description automatically generated with medium confidence

Рисунок 2.1 – Елементи мережі

На рисунку 2.1 зображені елементи формалізації мережі Петрі.

**2.2 Побудова формалізованої моделі**

Для побудови формалізованої мережі Петрі для даного завдання розглянемо процес передачі цифрової інформації та його ключові етапи:

*Надходження Пакетів:*

Позначимо позицію "Надходження Пакетів", яка буде відображати стани системи, коли нові мовлення підготовлені до передачі. Маркери в цій позиції відповідатимуть пакетам, які надходять до системи з заданою інтенсивністю за рівномірним законом розподілу.

*Транзитні Канали:*

Використовуючи переходи та дуги, позначимо транзитні канали, де рух пакетів відбувається з позиції "Надходження Пакетів" до позицій, які відображають буфери перед кожним транзитним каналом.

*Буфери Каналів:*

Введемо позиції для буферів перед кожним транзитним каналом, де маркери (пакети) можуть тимчасово накопичуватися перед подальшою передачею.

*Система Знищення Пакетів:*

Визначимо переходи та дуги, які вказують на систему знищення пакетів, де пакети, що перебувають у системі більше 10 мс, можуть бути знищені.

*Система Регулювання Часу Передачі:*

Введемо переходи та дуги для системи регулювання часу передачі. Якщо знищення пакетів перевищує 30%, система автоматично прискорює час передачі до 4 мс на канал.

*Система Підключення Ресурсів:*

Додамо переходи та дуги, що регулюють систему підключення додаткових ресурсів. Якщо частота знищення пакетів досягає прийнятного рівня, система може підключити додаткові ресурси для покращення якості передачі.

*Система Відключення Ресурсів:*

Введемо переходи та дуги, що вказують на можливість відключення додаткових ресурсів, коли рівень частоти знищення пакетів знову стає прийнятним.

A diagram of a diagram

Description automatically generated with medium confidence

Рисунок 2.2 – Системи використані в мережі

Система в загальному працює за таким принципом. Я опишу тільки перший канал, бо другий канал працює ідентично:   
Пакет надходить в систему з інтервалом 6±3 мс розподіленим за нормальним законом розподілу , після чого потрапляє в буфер каналу звідки він потрапить на обробку. За раз можна пропустити тільки один пакет через канал, швидкість передачі пакету по каналу становить 5 мс. Взагалі даний функціонал обробки життя пакетів, підрахунку відсотків знищення і тд не підтримується програмним забезпеченням PetriObjModel, але я знайшов вихід (звісно через костилі і інтерпритації, як ми робили в лабараторній роботі з автобусом і підрахунком прибутку). Основна задумка полягає в інтерпритації кожного повідомлення у вигляді очків.

Якщо отримане повідомлення з запізненням, його "кратність" буде 10 очок. У той час, як повідомлення, яке приходить вчасно, має 3 очки. Потім запускається процес, де частина цих "очок" балансується між собою. Наприклад, якщо після обробки повідомлень з запізненням залишається певна кількість очок (у випадку вище - 7 очок), це може вказувати на необхідність активації певного механізму для покращення обробки. У нашому прикладі, використовується поняття "Активація прискорення", повідомляючи, що треба виконати прискорення передачі з 5 мс до 4 мс.

За цим же принципом, якщо повідомлення надходять вчасно, то система вже працює оптимально, і немає потреби в активації додаткових ресурсів. Тобто якщо в нас є хоча б одна фішка в позиції «Повідомлення без запізнення», то в активації прискорення немає ніякого сенсу.

Таким чином, система вирішується динамічно в залежності від ваги та кількості повідомлень, що надходять вчасно чи з запізненням, що визначає подальші дії для оптимізації її функціонування.

A diagram of a diagram

Description automatically generated with medium confidence

Рисунок 2.3 – Схема першого каналу

Схема другого каналу має ідентичний вигляд.

A diagram of a network

Description automatically generated with medium confidence

Рисунок 2.4 – Схема другого каналу

A diagram of a network

Description automatically generated

Рисунок 2.5 – Загальна схема

Загальний вигляд мережі для даної задачі.

**РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ**

Для розробки моделі була використана бібліотека PetriObjModelPaint[4], яка спрямована на моделювання систем на базі об'єктів Петрі. Цей підхід передбачає швидке та гнучке створення коду для моделювання складних систем дискретних подій. Основною ідеєю є використання стохастичної багатоканальної мережі Петрі для опису поведінки моделі, а її композицію базується на об'єктно-орієнтованій технології.

Програмне забезпечення для моделювання об'єктів Петрі написано на мові програмування Java. Воно включає пакет PetriObjLib, що реалізує алгоритм симуляції Петрі-об'єктів, а також пакети для графічного представлення мережі. Важливо відзначити, що виникне помилка, якщо перехід у мережі Петрі не має вхідних або вихідних місць.

Процес створення моделі передбачає підготовку списку Петрі-об'єктів та визначення зв'язків між ними. Для цього використовується клас PetriObjModel. Метод go(double time) цього класу запускає процес моделювання. Важливо відзначити, що виникне помилка, якщо генератор затримки видає від'ємне значення.

Основними завданнями програмного забезпечення є забезпечення правильного алгоритму моделювання та отримання вірних результатів, включаючи середні значення маркерів у місцях мережі Петрі, середнє значення буферів у переходах і стан мережі Петрі в останній момент моделювання.

|  |  |
| --- | --- |
| **Назва класу** | **Опис** |
| ArcIn | Описує параметри та методи вхідної дуги |
| ArcOut | Описує параметри та методи вихідної дуги |
| ExceptionInvalidNetStructure | Обробляє виключення про некоректну структуру мережі |
| ExceptionInvalidTimeDelay | Обробляє виключення про некоректно задану затримку |
| FunRand | Реалізація генераторів за заданими законами розподілу |
| PetriNet | Містить інструменти для конструювання мережі Петрі |
| PetriObjModel | Містить інструменти для конструювання об’єктної моделі Петрі |
| PetriP | Описує параметри та методи позицій |
| PetriSim | Містить інструменти для симуляції мережі Петрі |
| PetriT | Описує параметри та методи переходів |
| StateTime | Визначає поточний час та час імітації |

Таблиця 3.1 – Бібліотека класів PetriObjModelPaint

На рисунку 3.1 зображено графічний інтерфейс PetriObjectModelPaint

* побудованою простою мережею.

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Рисунок 3.1 – Графічний інтерфейс PetriObjectModelPaint

Побудуємо мережу для даної задачі і вона буде мати вигляд як у попередньому розділі:

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Рисунок 3.2 – Мережа Петрі побудована у PetriObjectModelPaint

Запустимо мережу та отримаємо готовий звіт, де є статистика по всім об’єктам(рис. 3.3).

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Рисунок 3.3 – Статистика виконання моделі

A table with numbers and a few different colored squares

Description automatically generated with medium confidence

Таблиця 3.2 – Результати верифікації моделі

Товстим шрифтом виділені параметри, які змінювалися та досліджувалися для проведення верифікації і порівняння з базовою моделлю(з початковими даними). Всі вихідні значення є середнім з 5 прогонів. Тобто тест №1 з параметрами (мат. Сподівання надходження 3, середнє відхилення 3, час передачі по каналу 5 і тд) запускався 5 разів, після чого знаходилося середнє значення і записувалося в таблицю. Для більш детального ознайомлення ось таблиця прогонів кожного з параметрів:

A group of colorful squares

Description automatically generated

Таблиця 3.3 – Детальні результати верифікації моделі

З результатів прогону моделі можна зробити висновок, що швидкість обробки елементу в 5 мс. Цілком вистачає при нормально розподіленій генерації 6 ± 3 мс. Як бачимо при таких значеннях частота підключення ресурсу складає всього 0,003 і зростає відносно того, як зменшується швидкість генерації пакетів, також при зменшені швидкості зростає частота знищення пакетів як і кількість підключень ресурсу . А от якщо зробити генерацію на рівні 5 мс, але збільшити швидкість обробки з 5 до 6 сек, і прискорений варіант з 4 до 5, то частота підключення ресурсу виросте тільки на 500 умовних одиниць симуляції, після чого подальше збільшення часу симуляції немає ніякого сенсу так як система працює динамічно і регулює кількість підключень ресурсу (що на 5000, що на 10000) кількість підключень приблизно однакова.

**РОЗДІЛ 4 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ НА МОДЕЛІ**

## **4.1 Постановка задачі**

Вибір параметрів експерименту. Для початку я звернувся до Пані Інни за порадою, який експеримент мені варто провести і шляхом обговорення прийшли до висновку, що тут потрібен Регресійний експеримент, а от над якими параметрами – вже залишається за мною. Насправді на консульаціях ми прийшли до висновку що тут мало що можна оцінити та порівняти, тому всі подальщі експерименти можуть мати мало чого вагомого для системи. Але основною умовою є те що не можна змінювати час надходження пакетів у систему. Тому давайте подумаємо, які параметри важливі під час передачі інформації в системі? Перше що приходить в голову – це швидкість обробки, адже від цього залежить те скільки пакетів буде оброблено, знищено та як часто буде підключатися ресур прискорення.

## **4.2 Тактичне планування**

Нам потрібно визначити яка кількість прогонів буде оптимальною для визначення статистики. Згідно з наведеною формулою Чебишева 4.2.1, визначено необхідну кількість запусків алгоритму.

(4.2.1),

За умови, що довірча ймовірність дорівнює β=0,95 і точність вимірювання відгуку моделі рівна дисперсії відгуку моделі, то кількість прогонів буде 20 (рис. 4.2.2). Отже для всіх подальших експериментів будемо робити по 20 прогонів.

A table with numbers and symbols

Description automatically generated

Рисунок 4.2.2 — Кількість прогонів за нерівністю Чебишева

## **4.3 Стратегічне планування**

Проведено запуск моделі з різними параметрами. За мету поставлено максимізувати кількість оброблених пакетів і мінімізувати кількість підключень ресурсу. Базові параметри моделі це 5 мс звичайна передача і 4 мс при прискореній передачі. Також час симуляції моделі становив 1000 умовних одиниць.

Для початку визначимо яка залежність становить в кількості підключених ресурсів від кількості знищених пакетів. Графік наведено на рисунку 4.3. Проведено експеримент для пошуку оптимальних значень на деякій множині можливих значень змінної n(standard) and n(speedup). І як ми бачимо кількість активацій прискорення залежить експоненційно від кількості знищених пакетів.

A graph with numbers and a line

Description automatically generated

Рисунок 4.3 — Середній кількість підключення ресурсу від кількості знищених пакетів

Далі подивимося на те, як впливає час передачі пакету по каналу звичайному і прискореному на частоту знищення пакетів.

Звичайний:

A graph with numbers and points

Description automatically generated

Рисунок 4.4 — Вплив швидкості оброблення в звичайному каналі на частоту знищення ресурсів.

Прискорений:

A graph with numbers and points

Description automatically generated

Рисунок 4.5 — Вплив швидкості оброблення в прискореному каналі на частоту знищення ресурсів

Як ми бачимо, то частота знищення пакетів нижча при швидшій швидкості обробки пакету. Хоча загалом це також залежить від швидкості надходження пакетів – проте за умови задачі даний параметр не змінний, тому не можу привести результати його дослідження.

Далі проведемо регресивний аналіз впливу факторів.

У якості вхідних параметрів візьмемо Час звичайної обробки(Х0), Час пришвидшеної обробки(Х1). Вихідні параметри візьмемо: частоту знищення пакетів(У1). Як бачимо це буде лінійна багатофакторна модель.

Всі розрухунки були виконані за допомогою Microsoft Excel (за умовою не було ніяких обмежень на це).

Для початку в нас є задана таблиця:

Зображення, що містить текст, знімок екрана, число, Шрифт

Автоматично згенерований опис

Рисунок 4.6 — Таблиця для регресійного аналізу

Тепер побудуємо Матрицю парних порівнянь для визначення впливу часу обробки на частоту знищення пакетів:

Зображення, що містить текст, знімок екрана, Шрифт, ряд

Автоматично згенерований опис

Рисунок 4.7 — Матриця парних порівнянь

Вже з цієї матриці можна зробити висновок що – час обробки на звичайних і прискорених дуже сильно впливає на частоту знищення пакетів. Тепер побудуємо сам Регресійний Аналіз.

Зображення, що містить текст, знімок екрана, число, Паралель

Автоматично згенерований опис

Рисунок 4.8 — Регресійний Аналіз

З того що R та R^2 майже дорівнюють 0 можна зробити висновок, що наша побудована модель цілком достатня для аргументації залежностей частоти знищення пакетів від часу обробки. Також за критерієм Фішера в нас фийшло 79 і це набагато більше 0,05 – робимо висновок що наша модель адекватна за крітерієм Фішера і наші параметри мають значний вплив на нашу модель.

\*Всі параметри в таблицях – це середнє з 20 прогонів моделі для даного параметра З таблиці також можна зробити висновок, що відсоток похибки всього 0.03 (3 соті відсотка).\*

**ВИСНОВКИ**

Уході виконання даної роботи було розглянуто побудову моделі для роботи системи передачі пакетів. Модель була побудована з використання мереж Петрі. За допомогою цієї моделі ми визначили вплив часу обробки пакетів при різних станах на частоту знищення пакетів, частоту підключення ресурсу, кількість оброблених пакетів, згенерованих та знищених. Також було проведено регресійний аналіз факторів впливу, у ході якого визначили, що час обробки пакету має значний вплив на те, з якою частотою система знищує пакети, які були оброблені.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Економічна енциклопедія: У трьох томах. С. В. та ін. – К.: Видавничий центр “Академія”, 2000. – 864 с.
2. Котів В. Е. Мережі Петрі. - М.: Наука, 1984. - 160 с.
3. Пітерсон Дж. Теорія мереж Петрі та моделювання систем. - М: Світ, 1984. - 264 с.
4. PetriObjModelPaint – Режим доступу: https://github.com/StetsenkoInna/PetriObjModelPaint

**ДОДАТОК А**