

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Моделі представлення елементів систем масового
обслуговування з міжагентним інформаційним обміном

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи КСМм-19-1
Базильський А.А.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва спеціальності)

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

Освітня програма Комп'ютерні системи та мережі
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Янковський О.А.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

Коваленко А.А.
(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 123 – Комп'ютерна інженерія _____
(код і повна назва)

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

Освітня програма _____ Комп'ютерні системи та мережі _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Базильському Антону Андрійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделі представлення елементів систем масового обслуговування з міжагентним інформаційним обміном

затверджена наказом по університету від “ 30 ” жовтня 2020 р. № 1487 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 14 грудня 2020 р.

3. Вхідні дані до роботи _____ мережі Петрі

використання статистики UDP

СМО

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Методи аналітичного, імітаційного та натурального моделювання

Моделювання обчислювальних мереж на основі мереж Петрі

Синтез моделі

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____ арк. ф. А4

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

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання	06.11.2020-12.11.2020	
2	Аналіз науково-технічної літератури	13.11.2020-23.11.2020	
3	Вивчення концепції імітаційного моделювання	24.11.2020-01.12.2020	
4	Розробка моделі	02.12.2020-05.12.2020	
5	Оформлення пояснювальної записки	06.12.2020-10.12.2020	
6	Оформлення графічної частини	11.12.2020-12.12.2020	
7	Представлення роботи науковому керівнику	13.12.2020-14.12.2020	

Дата видачі завдання 3 листопада 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Янковський О.А.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи: 67 с., 10 рис., 6 табл., 1 дод., 15 джерел.

СИСТЕМА МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ, МЕРЕЖА ПЕТРІ,
ОБЧИСЛЮВАЛЬНА СИСТЕМА, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ,
ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОБМІН.

Метою атестаційної роботи є аналіз моделей представлення елементів систем масового обслуговування з використанням мереж Петрі. У роботі запропоновано механізм побудови мереж Петрі для основних об'єктів обчислювальних систем, формалізовані функції мережевих об'єктів у вигляді примітивних функціоналів з використанням мереж Петрі. Запропоновані операції над мережами Петрі, що дозволяють легко конструювати модель обчислювальної системи. Для демонстрації побудованої моделі, наведено приклад побудови мережі Петрі для фрагмента локальної мережі, розглянуті питання маршрутизації в імітаційній моделі, запропонований узагальнений алгоритм роботи імітаційної моделі.

ABSTRACT

Master's thesis: 67 pages, 10 figures, 6 tables, 2 appendices, 15 sources.

CUSTOM SERVICE SYSTEM, PETRI NETWORK, COMPUTER SYSTEM, SIMULATION MODEL, INFORMATION EXCHANGE.

The purpose of the certification work is to analyze the models of representation of elements of queuing systems using Petri nets. The mechanism of construction of Petri nets for the basic objects of computer systems is offered in the work, functions of network objects in the form of primitive functionals with use of Petri nets are formalized. Operations on Petri nets are offered, which allow to easily construct a model of a computer system. To demonstrate the constructed model, an example of constructing a Petri net for a fragment of a local network is given, routing issues in a simulation model are considered, a generalized algorithm of simulation model operation is proposed.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
1 МОДЕЛЮВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ	10
1.1 Методи моделювання мережевого трафіку	10
1.2 Методи аналітичного, імітаційного і натурального моделювання	14
1.3 Аналітичне моделювання на основі теорії систем масового обслуговування.....	16
1.4 Інструментальні засоби імітаційного моделювання обчислювальних мереж	24
2 МОДЕЛЮВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ ПЕТРІ	32
2.1 Інформаційна модель обчислювальної мережі	32
2.2 Математична модель ОС на основі МП.....	34
2.2.1 Основні визначення	35
2.2.2 Подання основних пристроїв мережі.....	37
2.3 Приклади побудови мереж Петрі для різних ОС.....	41
2.3.1 МП для робочої станції з одним мережевим інтерфейсом.....	41
2.3.2 МП для вузла-концентратора.....	42
2.3.3 МП для вузол - міст	43
2.3.4 МП для вузол - маршрутизатора	43
2.3.5 МП для полудуплексного каналу з втратами.....	45
2.3.6 МП для дуплексного каналу з втратами.....	47
3 СИНТЕЗ МОДЕЛІ І МОДЕЛЮВАННЯ ЇЇ РОБОТИ	49
3.1 Алгоритм роботи побудованої моделі на основі МП.....	49
3.2 Загальні принципи застосування моделі	50
3.3 Апробація моделі	53

ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	59
ДОДАТОК А.....	61
Графічний матеріал атестаційної роботи.....	61

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

GMP – узагальнені модульовані випадкові процеси

ММР – пуассоновський процес з марковської модуляцією

ММР – процес з марковської модуляцією

ЛОМ – локальна обчислювальна мережа

МПД – мережа передачі даних

МП – мережа Петрі

ОС – обчислювальна система

СМО – системи масового обслуговування

ВСТУП

У наш час постійний розвиток комп'ютерних технологій дозволяє вирішувати все більш складні завдання. Зараз існує велика кількість важко вирішуваних завдань - це такі завдання, для вирішення яких потрібна значна кількість обчислювальних комп'ютерів і обчислювальних мереж, а також велика кількість часу.

Однією з актуальних важко вирішуваних задач є завдання моделювання комп'ютерних мереж. Це завдання включає в себе тестування різних мережевих компонентів, визначення найкращої топології проєктованих комп'ютерних мереж, проведення досліджень в області мережевих технологій і т.і.

Сьогодні до комп'ютерних мереж як до обчислювальної платформи підприємства пред'являються все більш жорсткі вимоги надійності, швидкості та ефективності. Мережа розглядається як важливий, іноді навіть критично важливий ресурс, який повинен бути використаний максимально ефективно при мінімальних витратах. Високі вимоги до якості роботи мережі забезпечують інтерес до моніторингу та моделювання обчислювальних мереж. Засоби моніторингу доступні сьогодні в широкому асортименті, починаючи від системних консольних утиліт і закінчуючи програмними комплексами з можливістю управління і з застосуванням експертних систем.

В області моделювання обчислювальних систем (ОС) інша справа, оскільки тут потрібні не тільки технічні знання, а й розуміння теоретичних основ процесів передачі та обробки даних, що відбуваються в обчислювальних мережах. У даній роботі представлений імітаційний підхід до моделювання ОС на базі мереж Петрі, в якому використовуються і аналітичні методи, що дозволяє оптимальним чином вирішувати широкий спектр завдань моделювання.

1 МОДЕЛЮВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

1.1 Методи моделювання мережевого трафіку

Останнім часом в мережах передачі даних (МПД) з комутацією пакетів проявляється тенденція до збільшення обсягу переданого трафіку, що призводить до необхідності ретельного планування мережевих ресурсів при побудові та експлуатації МПД. Рішення подібних завдань неможливо без побудови моделей [1], що дозволяють з мінімальними витратами проводити оцінку ефективності функціонування досліджуваної мережі.

Сучасні МПД являють собою складний комплекс елементів, що взаємодіють між собою на різних логічних рівнях. У загальному випадку модель МПД повинна включати в себе сукупність їх моделей, що функціонують в загальній мережевому середовищі. Моделі окремих елементів мережі створюються на підставі аналізу алгоритмів їх роботи, а також результатів тестових випробувань реальних пристроїв, каналів зв'язку та інших елементів мережевої інфраструктури.

При комплексному підході до моделювання МПД обчислення цільових показників виробляються на підставі вихідних даних про мережевий навантаженні (трафіку), створеної усіма споживачами мережевого ресурсу. Тому важливість адекватного моделювання мережевого трафіку складно переоцінити, тому що інформація, отримана в результаті, використовується потім в якості вихідних даних для розрахункових алгоритмів, використовуваних в загальній мережевий моделі.

Таким чином, завдання створення досконалих універсальних моделей трафіку мережевих додатків є однією з ключових завдань в рамках розвитку моделювання МПД.

Методи моделювання мережевого трафіку, концептуально можна розділити на два класи - аналітичні і імітаційні. Аналітичне моделювання

передбачає формальний опис модельованих об'єктів і процесів у вигляді сукупності математичних рівнянь і виразів. Дані моделі зручні для проведення теоретичних досліджень і формальних маніпуляцій, однак, в більшості випадків побудова адекватної аналітичної моделі для багатьох видів мережевого трафіку є практично нездійсненним завданням.

У тому випадку, якщо моделювання ставить перед собою завдання обчислення (оцінку) робочих характеристик (параметрів), що моделюється, найкращим є використання імітаційних моделей. Імітаційні моделі являють собою набір алгоритмів (зазвичай реалізуються за допомогою програмного забезпечення), які крок за кроком відтворюють події, що відбуваються в реальній системі. Суть імітаційного моделювання трафіку полягає в створенні алгоритму (методу), який дозволив би генерувати послідовності величин схожі з послідовностями значень інтенсивності трафіку, що спостерігаються в досліджуваній МПД.

На сьогоднішній день можна виділити чотири класи моделей, що застосовуються для моделювання мережевого трафіку:

- використовують класичні моделі потоків, що застосовуються в теорії масового обслуговування;
- засновані на так званих модульованих випадкових процесах;
- враховують статистичне самоподобу деяких видів трафіку (фрактальні моделі);
- будують імітаційні послідовності за зразком трафіку [2].

Найбільш перспективними на сьогоднішній день вважаються моделі на основі узагальнених модульованих випадкових процесів (Generally Modulated Process - GMP) [3] і фрактальні моделі на основі хаотичних відображень (Chaotic Map - СМАР) [4,5].

Моделі на основі узагальнених модульованих випадкових процесів. В основі GMP лежить ідея управління (модуляції) законом розподілу за допомогою допоміжного стохастичного процесу. При цьому джерело може перебувати в одному з безлічі станів, які задають параметри випадкового

процесу генерації навантаження. Перехід між станами обумовлюється додатковим модульованим випадковим процесом.

Окремим випадком класу GMP є узагальнені процеси з детермінованою модуляцією (Generally Modulated Deterministic Process - GMDP) і процеси з марковської модуляцією (Markov Modulated Process - MMP).

У GMDP моделях джерело трафіку може бути в одному з N станів. Система залишається в i -му стані протягом інтервалу часу t_i , при цьому джерело генерує навантаження з інтенсивністю λ_i . Величини t_i розподілені по геометричному закону [6].

У MMP моделях керуючий процес є марковским процесом $M = \{M(t)\}$ $t \in 0$ з безперервним часом і дискретною безліччю станів $\{0, 1 \dots m\}$. В цьому випадку для MMP, поточний закон розподілу надходження пакетів повністю визначається поточним станом k процесу M (рисунок 1.1).

Також знаходять застосування моделі (Markov Modulated Poisson Process - MMPP), що представляють собою різновид процесів з марковської модуляцією, в яких джерело генерує пуассоновским навантаження з інтенсивністю λ_k , коли допоміжний процес M знаходиться в стані k . Важливим різновидом MMPP є MMPP-2. У MMPP-2 є всього 2 стани - одному з яких відповідає нульова інтенсивність джерела. Тобто в залежності від стану допоміжного процесу M джерело або генерує пуассоновский потік, або не діє.

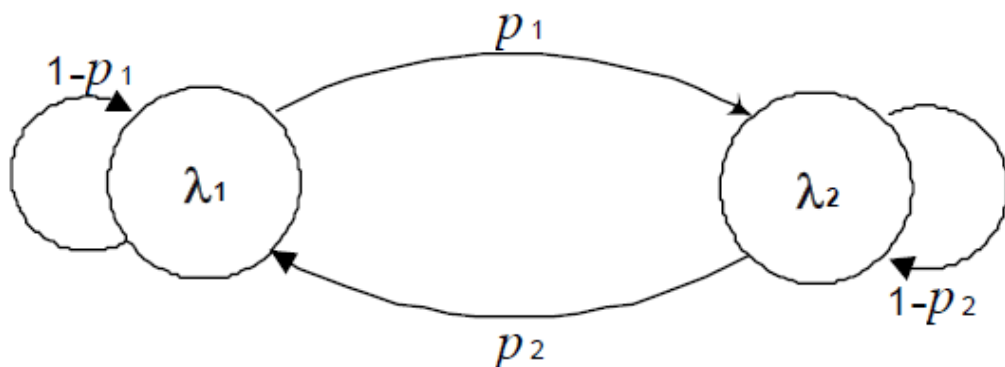


Рисунок 1.1 – Модель MMPP-2

p_1, p_2 - ймовірності переходу; λ_1 і λ_2 інтенсивності пуассоновського потоку, створюваного джерелом, що знаходиться в належному стані. Допускається нульове значення однієї з інтенсивностей

Останні дослідження мереж з комутацією пакетів говорять про статистичному самоподобу деяких видів трафіку та наявності ефекту довгострокової залежності (Long Range Dependency - LRD) [7].

Самоподібний трафік має наступні статистичні властивості, важливими з точки зору моделювання:

- розподілу часових проміжків надходження пакетів повільно зменшуються і мають т.зв. «важкі хвости»;
- розподілу часових проміжків надходження пакетів мають нескінченними моментами (починаючи з деякого порядку);
- повільною швидкістю ($\sim n^{-1}$) зменшення дисперсії обчисленої на основі зразка трафіку при збільшенні довжини зразка.

Слід зазначити, що в умовах самоподібного трафіку класичні методи розрахунку параметрів комп'ютерної мережі (пропускної спроможності каналів, ємності буферів та ін.), Засновані на пуассонівських потоках, часто дають невиправдано оптимістичні рішення і призводять до недооцінки навантаження.

Фрактальні моделі. Найбільш поширеними моделями, призначеними для імітації фрактального трафіку, є:

- хаотичні відображення;
- фрактальное броунівський рух (ФБД) (Fractional Brown Motion - FBM);
- фрактальний гауссовський шум (ФГШ) (Fractional Gaussian Noise - FGN);
- ФГШ - стаціонарний в широкому сенсі стохастичний процес $X = \{X(t)\} t \in \mathbb{R}$ із середнім значенням μ_X , дисперсією σ_X^2 і автокорреляційною функцією ρ .
- ФГШ є процесом, самоподібним у вузькому сенсі (з параметром

самоподібності H).

- ФГШ з нульовим середнім використовується в якості процесу збільшень в ФБД.

- ФБД - гауссовский процес з нульовим середнім і безперервним часом $BH = \{BH(t)\}_{t \in 0}$

- ФГШ і ФБД успішно використовувалися в гідрологічних дослідженнях, звідки їх застосування було перенесено в область моделювання трафіку. Складнощі їх використання в даній області обумовлені визначенням найкращих для наближення до характеристик вихідного трафіку значень параметрів μ_x , σ_{2x} і H .

Найбільш поширеними і концептуально простими моделями, що дозволяють генерувати самоподібний трафік, є моделі, побудовані на так званих хаотичних відображеннях (СМАРPs). Ці моделі використовують менше число параметрів, ніж ФГШ і ФБД, і їх вибір має більш наочну трактування. Вперше використання хаотичних відображень в якості моделей трафіку було запропоновано Egramilli в 1990 році [8].

1.2 Методи аналітичного, імітаційного і натурного моделювання

Моделювання являє собою потужний метод наукового пізнання, при використанні якого досліджуваний об'єкт замінюється простішим об'єктом, званим моделлю. Основними різновидами процесу моделювання можна вважати два його види - математичне і фізичне моделювання. При фізичному (натурному) моделюванні досліджувана система замінюється відповідною їй іншою матеріальною системою, яка відтворює властивості досліджуваної системи зі збереженням їх фізичної природи. Прикладом цього виду моделювання може служити пілотна мережа, за допомогою якої вивчається принципова можливість побудови мережі на основі тих чи інших комп'ютерів, комунікаційних пристроїв, операційних систем і додатків.

Можливості фізичного моделювання досить обмежені. Воно дозволяє

вирішувати окремі завдання при завданні невеликої кількості поєднань досліджуваних параметрів системи. Дійсно, при натурному моделюванні обчислювальної мережі практично неможливо перевірити її роботу для варіантів з використанням різних типів комунікаційних пристроїв - маршрутизаторів, комутаторів і т.п. Перевірка на практиці близько десятка різних типів маршрутизаторів пов'язана не тільки з великими зусиллями і тимчасовими витратами, але і з чималими матеріальними витратами.

Але навіть і в тих випадках, коли при оптимізації мережі змінюються не типи пристроїв і операційних систем, а тільки їх параметри, проведення експериментів в реальному масштабі часу для величезної кількості всіляких поєднань цих параметрів практично неможливо за доступне для огляду час. Навіть проста зміна максимального розміру пакета в будь-якому протоколі вимагає переконфігуруванні операційної системи в сотнях комп'ютерів мережі, що вимагає від адміністратора мережі проведення дуже великої роботи.

Тому, при оптимізації мереж у багатьох випадках переважним виявляється використання математичного моделювання. Математична модель являє собою сукупність співвідношень (формул, рівнянь, нерівностей, логічних умов), що визначають процес зміни стану системи залежно від її параметрів, вхідних сигналів, початкових умов і часу.

Особливим класом математичних моделей є імітаційні моделі. Такі моделі являють собою комп'ютерну програму, яка крок за кроком відтворює події, що відбуваються в реальній системі. Стосовно до обчислювальних мереж їх імітаційні моделі відтворюють процеси генерації повідомлень додатками, розбиття повідомлень на пакети і кадри певних протоколів, затримки, пов'язані з обробкою повідомлень, пакетів і кадрів всередині операційної системи, процес отримання доступу комп'ютером до розділяється мережевому середовищі, процес обробки вступників пакетів маршрутизатором і т.д. При імітаційному моделюванні мережі не потрібно купувати дороге обладнання - його роботи імітується програмами, досить

точно відтворюють всі основні особливості і параметри такого устаткування.

Перевагою імітаційних моделей є можливість підміни процесу зміни подій в досліджуваній системі в реальному масштабі часу на прискорений процес зміни подій в темпі роботи програми. В результаті за кілька хвилин можна відтворити роботу мережі протягом декількох днів, що дає можливість оцінити роботу мережі в широкому діапазоні змінних параметрів.

Результатом роботи імітаційної моделі є зібрані в ході спостереження за протікають подіями статистичні дані про найбільш важливі характеристики мережі: часах реакції, коефіцієнтах використання каналів і вузлів, ймовірності втрат пакетів і т.п.

Існують спеціальні мови імітаційного моделювання, які полегшують процес створення програмної моделі в порівнянні з використанням універсальних мов програмування. Прикладами мов імітаційного моделювання можуть служити такі мови, як SIMULA, GPSS, SIMDIS.

Існують також системи імітаційного моделювання, які орієнтуються на вузький клас досліджуваних систем і дозволяють будувати моделі без програмування.

1.3 Аналітичне моделювання на основі теорії систем масового обслуговування

При аналітичному моделюванні дослідження процесів або об'єктів замінюється побудовою їх математичних моделей і дослідженням цих моделей. В основу методу покладено ідентичність форми рівнянь і однозначність співвідношень між змінними в рівняннях, що описують оригінал і модель. Оскільки події, що відбуваються в локальних обчислювальних мережах, носять випадковий характер, то для їх вивчення найбільш відповідними є імовірнісні математичні моделі теорії масового обслуговування. Об'єктами дослідження в теорії масового обслуговування є системи масового обслуговування (СМО) і мережі масового обслуговування

(Мемо).

Системи масового обслуговування класифікуються за такими ознаками:

- закону розподілу вхідного потоку заявок;
- числу обслуговуючих приладів;
- закону розподілу часу обслуговування в обслуговуючих приладах;
- числу місць в черзі;
- дисципліни обслуговування.

Для стисЛОМті запису при позначенні будь СМО прийнята система кодування А/В/С/Д/Е, де на місці букви ставляться відповідні характеристики СМО: А - закон розподілу інтервалів часу між надходженнями заявок. Найбільш часто використовуються наступні закони розподілу: експоненціальне (М), ерланговський (Е), гіперекспоненціальне (Н), гамма-розподіл (Г), детерміноване (D). Для позначення довільного характеру розподілу використовується символ G; В - закон розподілу часу обслуговування в приладах СМО.

Тут прийняті такі ж позначення, як і для розподілу інтервалів між надходженнями заявок; С - число обслуговуючих приладів. Тут прийняті наступні позначення: для одноканальних систем записується 1, для багатоканальних в загальному випадку - l (число каналів); D - число місць в черзі. Якщо число місць в черзі не обмежена, то дане позначення може опускатися. Для кінцевого числа місць у черзі в загальному випадку прийняті позначення r або n (число місць); Е - дисципліна обслуговування. Найбільш часто використовуються наступні варіанти дисципліни обслуговування: FIFO (першим прийшов першим вийшов), LIFO (останнім прийшов - першим вийшов), RANDOM (випадковий порядок обслуговування). При дисципліни обслуговування FIFO дане позначення може опускатися.

Приклади позначень:

- М/М/1 - СМО з одним обслуговуючим приладом, нескінченної чергою, експонентними законами розподілу інтервалів часу між

надходженнями заявок і часу обслуговування, дисципліною обслуговування FIFO;

- E/H/I/r/ LIFO - СМО з кількома обслуговуючими приладами, кінцевою чергою, ерланговським законом розподілу інтервалів між надходженнями заявок, гіперекспоніональним розподілом часу обслуговування в приладах, дисципліною обслуговування LIFO;

- G/G/I - СМО з кількома обслуговуючими приладами, нескінченної чергою, довільними законами розподілу часу між надходженнями заявок і часу обслуговування, дисципліною обслуговування FIFO.

Для моделювання ЛОМ найбільш часто використовуються наступні типи СМО:

- одноканальні СМО з очікуванням представляють собою один обслуговуючий прилад з нескінченною чергою. Дана СМО є найбільш поширеною при моделюванні. З тією або іншою часткою наближення з її допомогою можна моделювати практично будь-який вузол ЛОМ ;

- одноканальні СМО з втратами - представляють собою один обслуговуючий прилад з кінцевим числом місць у черзі. Якщо число заявок перевищує число місць в черзі, то зайві заявки втрачаються. Цей тип СМО може бути використаний при моделюванні каналів передачі в ЛОМ ;

- багатоканальні СМО з очікуванням представляють собою кілька паралельно працюючих обслуговуючих приладів із загальною нескінченною чергою. Даний тип СМО часто використовується при моделюванні груп абонентських терміналів ЛОМ , що працюють в діалоговому режимі;

- багатоканальні СМО з втратами - представляють собою кілька паралельно працюючих обслуговуючих приладів із загальною чергою, число місць в якій обмежено. Ці СМО, як і одноканальні з втратами, часто використовуються для моделювання каналів зв'язку в ЛОМ ;

- одноканальні СМО з груповим надходженням заявок представляють собою один обслуговуючий прилад з нескінченною чергою. Перед обслуговуванням заявки групуються в пакети за певним правилом;

- одноканальні СМО з груповим обслуговуванням заявок представляють собою один обслуговуючий прилад з нескінченною чергою.

Заявки обслуговуються пакетами, які складаються за певним правилом. Останні два типи СМО можуть використовуватися для моделювання таких вузлів ЛОМ, як центри (вузли) комутації.

Локальна обчислювальна мережа в цілому може бути представлена у вигляді мережі масового обслуговування. Розрізняють відкриті, замкнуті і змішані мережі.

Відкритою називають мережу масового обслуговування, що складається з M вузлів, причому хоча б в один з вузлів мережі надходить ззовні вхідний потік заявок, і є стік заявок з мережі. Для відкритих мереж характерно те, що інтенсивність надходження заявок в мережу не залежить від стану мережі, тобто від числа заявок, вже надійшли в мережу. Відкриті мережі використовуються для моделювання ЛОМ, що працюють в неоперативному режимі. Кожна заявка надходить на вхід відповідного вузла комутації, де визначається місце її обробки. Потім заявка передається на "свій" сервер або по каналу зв'язку - на "сусідній" сервер, де обробляється, після чого повертається до джерела і покидає мережу.

Замкнутою називають мережу масового обслуговування з безліччю вузлів M без джерела і стоку, в якій циркулює постійне число заявок. Замкнені Мемо використовуються для моделювання таких ЛОМ, джерелами інформації для яких служать абонентські термінали, що працюють в діалоговому режимі. У цьому випадку кожна група абонентських терміналів представляється у вигляді багатоканальної системи масового обслуговування з очікуванням і включається до складу пристроїв мережі.

Розрізняють простий і складний режими роботи діалогових абонентів. У простому режимі абоненти не проводять ніяких дій, крім посилки завдань у ЛОМ і обмірковування отриманої відповіді.

Абоненти з терміналів посилають запити, які по каналах зв'язку надходять на вузли комутації, а звідти - на обробку на "свій" або "" сусідній

"сервер. Подальша обробка здійснюється так само, як у відкритій мережі.

При складному режимі діалогу робота абонентів представляється у вигляді сукупності операцій деякого процесу, званого технологічним процесом. Кожна операція технологічного процесу моделюється відповідної СМО. Частина операцій передбачає звернення до ЛОМ, а частина операцій може такого звернення не передбачати.

Алгоритм роботи самої ЛОМ такий же, як для замкнутої мережі.

Змішаної називається мережу масового обслуговування, в якій циркулює кілька різних типів заявок (трафіку), причому щодо одних типів заявок мережа замкнута, а щодо інших типів заявок мережа відкрита. За допомогою змішаних Семо моделюються такі ЛОМ, частина абонентів яких працює в діалоговому, а частина - в неоперативне режимі. Для діалогових абонентів також розрізняють простий і складний режим роботи. Часто змішані Семо моделюють ЛОМ, в яких сервер додатково завантажується завданнями, які розв'язуються на тлі роботи самої мережі.

Алгоритм роботи мережі для діалогових абонентів аналогічний алгоритму роботи замкнутої мережі, а алгоритм роботи мережі для неоперативних абонентів - алгоритму роботи відкритої мережі.

Розрізняють експонентні і неекспонентні моделі ЛОМ.

Експонентні моделі засновані на припущенні про те, що потоки заявок, що надходять в ЛОМ, є пуассоновским, а час обслуговування в вузлах ЛОМ має експоненційний розподіл.

Для таких мереж отримані точні методи для визначення їх характеристик; трудомісткість отримання рішення залежить в основному від розмірності мережі.

Однак в більшості мереж (і локальних мереж зокрема) потоки не є пуассоновским. Моделі таких мереж називаються неекспоненціальними. При аналізі неекспоненціальних мереж в загальному випадку відсутні точні рішення, тому найбільше застосування тут знаходять наближені методи.

Одним з таких методів є метод дифузійної апроксимації. Використання

дифузійної апроксимації дозволило, до теперішнього часу отримати наближені аналітичні залежності для визначення характеристик всіх типів СМО, розглянутих вище.

При цьому не потрібно точного знання функцій розподілу випадкових величин, пов'язаних з даною СМО (інтервалів між надходженнями заявок часом обслуговування в приладах), а досить лише знання першого (математичного очікування) і другого (дисперсії або квадрата коефіцієнта варіації - ККВ) моментів цих величин.

Застосування дифузійної апроксимації при аналізі ЛОМ засноване на наступному:

- по кожному типу заявок обчислюється інтенсивність надходження заявок даного типу у вузли мережі так, як якщо б цей потік заявок циркулював в мережі тільки один;
- за певним правилом, залежному від типу СМО і дисципліни обслуговування, складаються потоки заявок від усіх джерел;
- за певним правилом визначається середній час обслуговування в кожному вузлі ЛОМ ;
- отримані значення підставляються у відповідну дифузійну формулу і визначаються характеристики вузлів ЛОМ ;
- визначаються характеристики ЛОМ в цілому.

Постановка завдання аналізу ЛОМ при цьому приймає наступний вигляд.

Дано:

- число вузлів ЛОМ ;
- тип кожного вузла ЛОМ (тип СМО, що моделює даний вузол);
- дисципліна обслуговування в кожному вузлі ЛОМ ; загальне число типів джерел заявок, що працюють в діалоговому режимі;
- загальне число типів джерел заявок, що працюють в неоперативне режимі;
- для діалогових джерел у випадку складного режиму роботи число

технологічних процесів кожного типу, число операцій в кожному технологічному процесі, середнє і ККВ часу виконання кожної операції, матриця ймовірностей передач між операціями, а також наявність або відсутність на кожній операції звернення до ЛОМ ; для діалогових джерел у разі простого режиму роботи число джерел (терміналів) кожного типу, середнє і ККВ часу реакції абонента на відповідь мережі; для неоперативних абонентів - середня інтенсивність надходження заявок і ККВ часу між надходженнями заявок; по кожному типу заявок (діалогового і геоперативного) середня інтенсивність обслуговування в кожному вузлі ЛОМ , ККВ часу обслуговування в вузлах ЛОМ та матриця ймовірностей передач між вузлами.

Потрібно знайти: середнє значення і дисперсію (або стандартне відхилення) часу затримки заявки кожного типу в ЛОМ в цілому; середнє значення і дисперсію (або стандартне відхилення) часу затримки в вузлах ЛОМ ; завантаження вузлів ЛОМ ; ймовірність втрати заявки у вузлі ЛОМ (для вузлів, що моделюються СМО з втратами).

Обмеження можуть бути наступними:

- завантаження вузлів не повинна перевищувати 1;
- ймовірність втрати заявки не повинна перевищувати 1;
- все характеристики повинні бути позитивні.

Іноді становить інтерес визначення такого показника, як максимальний час затримки заявки кожного типу в ЛОМ. Максимальний час це такий час, перевищення якого припустиме лише для деякого, наперед заданого відсотка заявок кожного типу. Для визначення загальної тривалості використовується методика, заснована на апроксимації функції розподілу часу затримки в мережі ерланговський або гіперекспоненціальне розподілом, при цьому необхідно ставити частку (відсоток) заявок, для яких розраховується максимальний час.

Використовувані в даний час в локальних мережах протоколи каналного рівня використовують методи доступу до середовища, засновані

на її спільне використання декількома вузлами за рахунок розділення в часі. У цьому випадку, як і у всіх випадках поділу ресурсів з випадковим потоком запитів, можуть виникати черги. Для опису цього процесу зазвичай використовуються моделі теорії масового обслуговування.

Механізм поділу середовища протоколу Ethernet спрощено описується найпростішою моделлю типу $M / M / 1$ - одноканальною моделлю з пуассоновським потоком заявок і показовим законом розподілу часу обслуговування. Вона добре описує процес обробки випадково вступників заявок на обслуговування системами з одним обслуговуючим приладом з випадковим часом обслуговування і буфером для зберігання вступників заявок на час, поки обслуговуючий прилад зайнятий виконанням іншої заявки (малюнок 1.2). Передає середовище Ethernet представлена в цій моделі обслуговуючим приладом, а пакети відповідають заявкам.

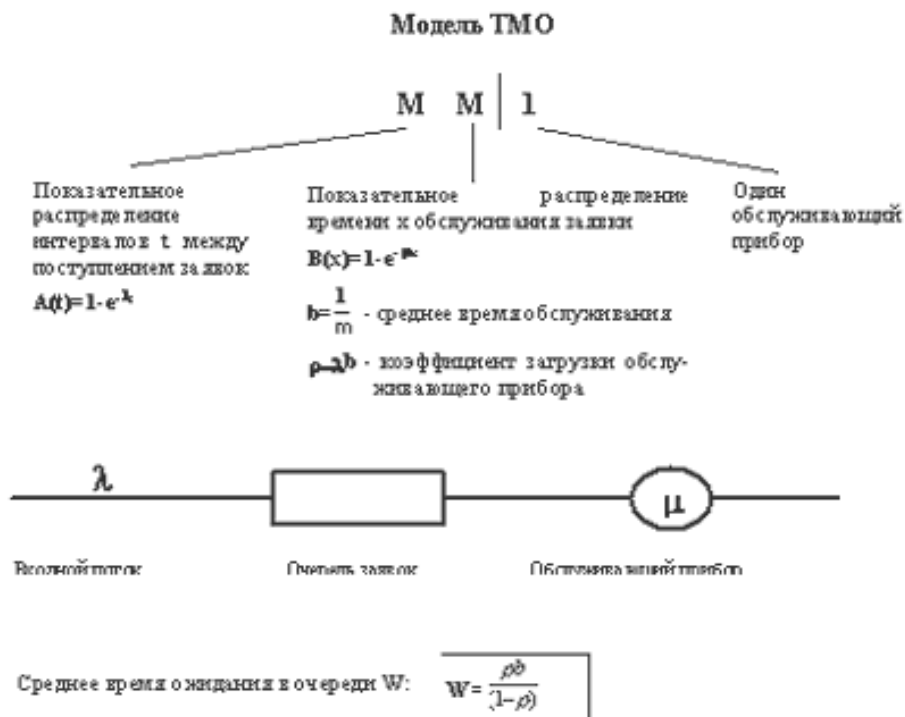


Рисунок 1.2 – Застосування моделі теорії масового обслуговування $M/M/1$ для аналізу трафіку в мережі Ethernet

Введемо позначення:

λ - інтенсивність надходження заявок, в даному випадку це середнє число пакетів, які претендують на передачу в середовищі в одиницю часу, b - середній час обслуговування заявки (без урахування часу очікування обслуговування), тобто середній час передачі пакета в середовищі з урахуванням паузи між пакетами в 9.6 мкс, r - коефіцієнт завантаження обслуговуючого приладу, в даному випадку це коефіцієнт використання середовища, $r = \lambda b$.

У теорії масового обслуговування для даної моделі отримані наступні результати: середній час очікування заявки в черзі (час очікування пакетом доступу до середовища) W дорівнює

$$W = pb/(1 - p)$$

1.4 Інструментальні засоби імітаційного моделювання обчислювальних мереж

Аналізатори протоколів незамінні для дослідження реальних мереж, але вони не дозволяють отримувати кількісні оцінки характеристик для ще не існуючих мереж, що знаходяться в стадії проектування. У таких випадках можна використовувати засоби моделювання, за допомогою яких розробляються моделі, що відтворюють інформаційні процеси, що протікають в мережах.

Моделювання являє собою потужний метод наукового пізнання, при використанні якого досліджуваний об'єкт замінюється простішим.

Існують спеціальні, орієнтовані на моделювання обчислювальних мереж програмні системи, в яких процес створення моделі спрощений. Такі програмні системи самі генерують модель мережі на основі вихідних даних про її топології і використуваних протоколах, про інтенсивностях потоків запитів між комп'ютерами мережі, протяжності ліній зв'язку, про типах

використовуваного обладнання і додатків. Програмні системи моделювання можуть бути вузько спеціалізованими і досить універсальними, що дозволяють імітувати мережі найрізноманітніших типів. Якість результатів моделювання в значній мірі залежить від точності вихідних даних про мережі, переданих в систему імітаційного моделювання.

Програмні системи моделювання мереж - інструмент, який може стати в нагоді будь-якому адміністратору корпоративної мережі, особливо при проектуванні нової мережі або внесенні кардинальних змін в уже існуючу. Продукти цієї категорії дозволяють перевірити наслідки впровадження тих чи інших рішень ще до оплати придбаного обладнання. Звичайно, більшість з цих програмних пакетів коштують досить дорого, але і можлива економія може бути теж вельми відчутною.

Програми імітаційного моделювання мережі використовують в своїй роботі інформацію про просторове розташування мережі, зокрема вузлів, конфігурації зв'язків, швидкостях передачі даних, що використовуються протоколах і типі обладнання, а також про виконувани в мережі додатках.

Зазвичай імітаційна модель будується не з нуля. Існують готові імітаційні моделі основних елементів мереж: найбільш поширених типів маршрутизаторів, каналів зв'язку, методів доступу, протоколів і т.п. Ці моделі окремих елементів мережі створюються на підставі різних даних: результатів тестових випробувань реальних пристроїв, аналізу принципів їх роботи, аналітичних співвідношень. В результаті створюється бібліотека типових елементів мережі, які можна налаштовувати за допомогою заздалегідь передбачених в моделях параметрів.

Системи імітаційного моделювання зазвичай включають також набір засобів для підготовки вихідних даних про досліджувану мережі - попередньої обробки даних про топологію мережі і измеренном трафіку. Ці кошти можуть бути корисні, якщо моделируемая мережа являє собою варіант існуючої мережі і є можливість провести в ній вимірювання трафіку і інших параметрів, потрібних для моделювання. Крім того, система забезпечується

коштами для статистичної обробки отриманих результатів моделювання.

Уведені характеристики декількох популярних систем імітаційного моделювання різного класу - від простих програм, призначених для установки на персональному комп'ютері, до потужних систем, що включають бібліотеки більшості наявних на ринку комунікаційних пристроїв і дозволяють в значній мірі автоматизувати дослідження досліджуваної мережі.

Сьогодні до комп'ютерних мереж як до обчислювальної платформи підприємства пред'являються все більш жорсткі вимоги надійності, швидкості та ефективності. Мережа розглядається як важливий, іноді навіть критично важливий ресурс, який повинен бути використаний максимально ефективно при мінімальних витратах. Найчастіше до основних параметрів роботи мережі відносять [9]:

- пропускну здатність (ємність);
- швидкість;
- надійність.

Високі вимоги до якості роботи мережі забезпечують інтерес до моніторингу та моделювання обчислювальних мереж. Засоби моніторингу доступні сьогодні в широкому асортименті, починаючи від системних консольних утиліт і закінчуючи програмними комплексами з можливістю управління і з застосуванням експертних систем (HP OpenView NNM, NetView (Tivoli) від IBM, Spectrum від Cabletron). В області моделювання ВС інша справа, оскільки тут потрібні не тільки технічні знання, а й розуміння теоретичних основ процесів передачі та обробки даних, що відбуваються в обчислювальних мережах.

До групи засобів, що моделюють роботу мереж, можна віднести ComNet від CACI Products Company, OPNET від OPNET Technologies (раніше - MIL3), NetCracker, OMNeT ++, NS-2, NS-3 і інші (таблиця 1.2).

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз програмних засобів моделювання ОС

Продукт	COM NET	Net Maker	OPNet	OMNeT ++	SES /Strategizer	NS- 2	NET Cracker
Виробник	+	+	+	+	+	+	+
Наявність бібліотеки пристроїв	+	+	+	+	+	+	+
Налаштування бібліотеки пристроїв	+	+	-	+	+	+	-
Покрокове трасування	+	-	-	+	+	+	+
Генерація звітів	+	+	-	+	+	-	+

Кожна з цих систем призначена для вирішення конкретних завдань різного ступеня абстракції. Проект COMNET позиціонувався як система моделювання ВС з розвиненими засобами візуалізації і модульною структурою, що дозволяє полегшити працю системних адміністраторів. Серед основних підсистем COMNET можна виділити блок стохастичного моделювання, підсистему швидкого тимчасового аналізу Predictor, підсистему моніторингу Enterprise Profiler, пакет аналізу продуктивності мережі NETWORK. В даний час пакет COMNET не підтримується, компанія розвиває симуляції пакет SIMPROCESS.

Система Opnet Modeler оперує вузлами трьох типів - процесорними вузлами, вузлами-маршрутизаторами і комутаторами. Вузли можуть приєднуватися за допомогою портів до комунікаційних каналах будь-якого типу, від каналів локальних мереж до супутникових ліній зв'язку. Вузли і канали можуть характеризуватися середнім часом напрацювання на відмову і

середнім часом відновлення для моделювання надійності мережі.

Моделюється не тільки взаємодія комп'ютерів в мережі, але і процес поділу процесора кожного комп'ютера між його додатками. Канали зв'язку моделюються шляхом завдання їх типу, а також двох параметрів - пропускної здатності і вноситься затримки поширення. Одиницею переданих по каналу даних є кадр. Пакети при передачі по каналах сегментуються на кадри. Кожен канал характеризується мінімальним і максимальним розміром кадру, накладними витратами на кадр і інтенсивністю помилок в кадрах.

Робоче навантаження створюється джерелами трафіку. Кожен вузол може бути з'єднаний з декількома джерелами трафіку різного типу. Джерела планованої навантаження генерують дані, використовуючи залежне від часу розклад. При цьому джерело генерує дані періодично, використовуючи певний закон розподілу інтервалу часу між порціями даних. Джерела «клієнт-сервер» дозволяють задавати не трафік між клієнтами і сервером, а додатки, які породжують цей трафік.

До сильних сторін OPNET Modeler можна віднести графічні засоби побудови моделі ВС. Система дозволяє вирішувати наступні завдання: планування та оптимізація мережі; створення і перевірка аналітичних моделей мережі; створення і перевірка протоколу зв'язку.

До недоліків відносяться відсутність трасування моделей і недостатня гнучкість: використовується власна, нерозширювана бібліотека пристроїв і обмежений набір звітів.

З безкоштовних пакетів для задач імітаційного моделювання можна відзначити такі кошти зарубіжних розробників, як jist / swans, NS-2, NS-3, GloMoSim, Parsec.

NS-2 (Network Simulator 2) - безкоштовний пакет, ядро якого реалізовано на мові C ++. Характерною властивістю програмного забезпечення OSS є можливість модифікації ядра програми і гнучке налаштування відповідно до вимог конкретного користувача, а також мультиплатформеність - працездатність існуючих версій для SunOS, Solaris,

Linux, FreeBSD, Windows 5/98 / ME / NT / 2000.

Також потрібно від користувача наявність навичок програмування на C++ і OTcl (Object oriented Tool Command Language), який використовується в якості інтерпретатора. За рахунок використання дворівневого програмування забезпечується висока ступінь настройки моделі. Серед слабких місць пакету відзначають також складність використання OTcl, проблеми переносимості коду, обмежені можливості ефективного використання пам'яті при моделюванні, недостатня розвиненість режиму трасування і засобів збору статистики при роботі моделі, а також слабку візуалізацію.

Висока вартість, складність впровадження і інтеграції, обмежені можливості деяких існуючих програмних продуктів, в сукупності з існуючим попитом, змушує дослідників шукати нові рішення для аналізу і моделювання ВС.

Один з них, досить простий і зручний у використанні, - ППП "ДІФАР". В основу його побудови покладені викладені вище положення моделювання систем і мереж масового обслуговування.

- Пакет ДІФАР призначений для аналітичного моделювання та оптимізації систем, мереж масового обслуговування та мережевих систем. Він дозволяє розраховувати ймовірно-тимчасові характеристики СМО, Мемо і мережевих систем, задаючи в якості параметрів два моменти вхідних потоків і обслуговування, що дозволяє досліджувати поведінку систем в широкому діапазоні змін як середніх значень, так і дисперсій потоків і обслуговування, а також знайти оптимальне побудова мережевих систем за значеннями ймовірнісно-часових характеристик (ВВХ), адекватних фактичним розподілом.

- Пакет ДІФАР забезпечує розрахунок:

- системних характеристик для одноканальних і багатоканальних систем масового обслуговування без обмежень на ємності буферних накопичувачів (середнє значення і дисперсія часу перебування, максимальний час перебування для g відсотків заявок, завантаження);

системних характеристик для одноканальних і багатоканальних систем масового обслуговування, які враховують обмеження на ємності буферних накопичувачів (середнє значення і дисперсія часу перебування, максимальний час перебування для g відсотків заявок, ймовірність відмови в обслуговуванні, завантаження);

системних характеристик для одноканальних систем масового обслуговування з груповим надходженням заявок або груповим обслуговуванням заявок (середнє значення і дисперсія часу перебування заявки, максимальний час перебування для g відсотків заявок, завантаження);

системних і мережевих характеристик відкритих неоднорідних мереж масового обслуговування з вузлами різних типів (середнє значення і дисперсія часу перебування в мережі, максимальний час перебування в мережі для g відсотків заявок, середнє значення і дисперсія часу перебування в кожному вузлі мережі, максимальний час перебування в кожному вузлі для g відсотків заявок, завантаження вузлів мережі, ймовірності відмов в обслуговуванні у вузлах);

- системних і мережевих характеристик замкнутих і змішаних неоднорідних мереж масового обслуговування з вузлами різних типів, з простим режимом роботи діалогових абонентів (середнє значення і дисперсія часу перебування в мережі заявки кожного типу, максимальний час перебування в мережі для g відсотків заявок кожного типу, середнє значення і дисперсія часу перебування в кожному вузлі мережі, завантаження вузлів мережі, ймовірності відмов в обслуговуванні у вузлах);

- системних і мережевих характеристик замкнутих і змішаних неоднорідних мереж масового обслуговування з вузлами різних типів зі складним режимом роботи діалогових абонентів (середнє значення і дисперсія часу циклу технологічного процесу роботи кожного діалогового абонента, максимальний час циклу для g відсотків технологічних процесів кожного типу, середнє значення і дисперсія часу перебування в мережі заявки кожного типу, максимальний час перебування в мережі для g відсотків

заявок кожного типу, середнє значення і дисперсія часу перебування в кожному вузлі мережі, завантаження вузлів мережі, ймовірності відмов в обслуговуванні у вузлах);

- показників ефективності мережевих систем, в якості моделей яких використовуються відкриті, замкнуті і змішані мережі масового обслуговування (локальні обчислювальні мережі, інформаційно-обчислювальні мережі, центри комутації пакетів і ін.).

Пакет програм дозволяє проводити аналіз мережевих систем, що включають від 30 (замкнуті і змішані мережі зі складним режимом роботи діалогових абонентів) до 500 вузлів СМО (відкриті, замкнуті і змішані мережі з простим діалогом).

2 МОДЕЛЮВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ ПЕТРІ

2.1 Інформаційна модель обчислювальної мережі

Будемо розглядати обчислювальну мережу, що складається з пристроїв різних типів, в якій циркулюють пакети даних. Модель обчислювальної мережі, в загальному вигляді, можна уявити в нотації RDF [7] (Рисунок 2.1).

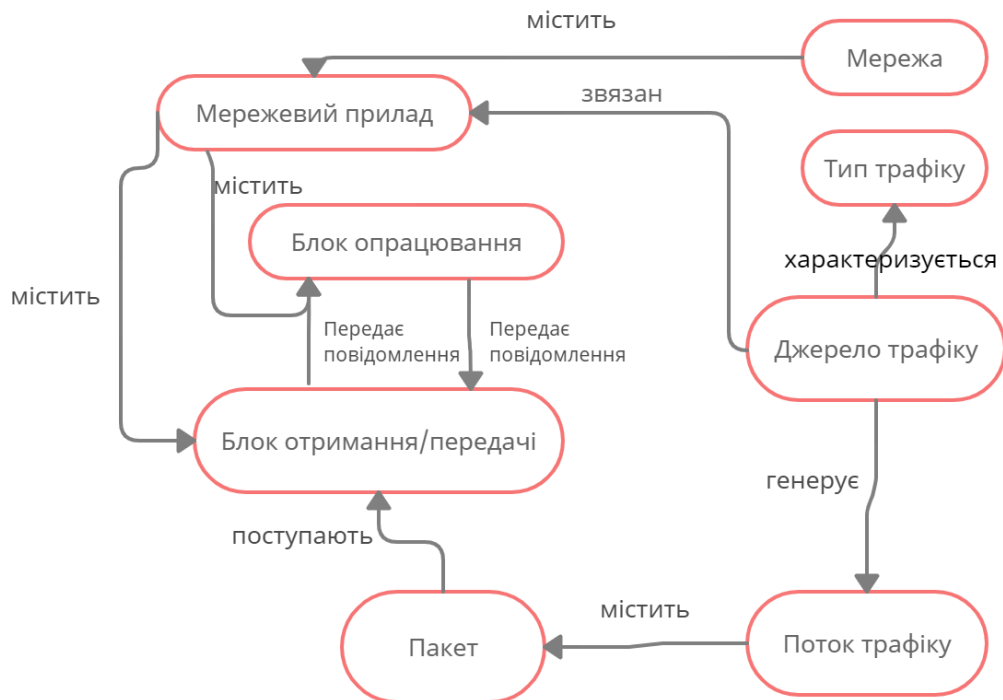


Рисунок 2.1 – Інформаційна модель мережі

Тут представлені основні інформаційні об'єкти і зв'язки між ними.

Об'єкт «Мережа» описує реальну ВС і може включати в себе як підмережі інші об'єкти цього типу.

Об'єкт «Мережевий прилад» моделює пристрої, що входять до складу мережі. Це абстрактний об'єкт, функцією якого є обробка пакетів, тобто

затримка у пристрій на деякий час і можлива модифікація пакета (наприклад, зміна його типу). Кожен екземпляр об'єкта характеризується в першу чергу значенням свого параметра «тип». Типами мережевого пристрою можуть бути: робочі станції, комунікаційне, периферійне устаткування, канали передачі даних. Тип визначає конкретну структуру «Мережевого приладу».

Об'єкт «Блок обробки пакетів» характеризує основний елемент мережевого пристрою, відповідальний за швидкість і дисципліну обробки мережевих пакетів. Для однопроцесорних мережевих пристроїв «Блок обробки» моделює роботу центрального процесора і містить дані про його потужності (в операціях в секунду). Для багатопроцесорних пристроїв кожен «Блок обробки» характеризує один процесор. Для мережевих каналів передачі даних «Блок обробки» є віртуальним об'єктом і характеризує швидкість передачі даних (байт (біт) / секунда).

Об'єкт «Блок отримання/передачі» входять до складу «Мережевого приладу» і служить для опису входу і виходу потоку мережевого трафіку. Блок отримання/передачі для мережевих вузлів пов'язаний з їх мережевими інтерфейсами.

Власне досліджуваний мережевий трафік описується об'єктами «Тип трафіку», «Джерело трафіку», «Поток трафіку» і «Пакет».

Об'єкт «Тип трафіку» містить інформацію про групу потоків повідомлень в мережі, що володіють загальними параметрами.

До цих параметрів відносяться:

- використовувані протоколи;
- служби або програми, що створюють цей трафік (наприклад, службовий, передача відео, ftp-трафік);
- пріоритет даного типу трафіку;
- коефіцієнт затримки, пов'язаний з обслуговуванням даного типу трафіку (наприклад, sql-запити можуть обслуговуватися довше, ніж службовий трафік навіть при однаковому розмірі пакетів);
- закон розподілу, що характеризує кількість пакетів, згенерованих в

одиницю часу;

- закон розподілу, що характеризує розмір пакетів, згенерованих в одиницю часу.

Об'єкт «Джерело трафіку» є відправною точкою декількох потоків однотипного трафіку з одного пристрою до кількох. Джерело трафіку характеризується «Блоком прийому-передачі» пристрою, з яким він пов'язаний, «Типом трафіку» а також моментом початку генерації повідомлень, який може здаватися статично або визначатися в момент роботи пристрою. Всі повідомлення, згенеровані «Джерелом трафіку», в загальному випадку з різною ймовірністю надходять до декільком адресатам (якщо адресат один, то і ймовірність надходження кожного повідомлення до нього відповідно дорівнює 1).

Об'єкт «Поток трафіку» служить для загального опису всіх повідомлень, згенерованих одним «Джерелом трафіку» і спрямованих до одного «Блоку прийому-передачі» вузла по одному маршруту, тобто через деяку однозначно визначену в певний момент часу послідовність «Мережевих пристроїв».

Об'єкт «Пакет» описує один мережевий пакет потоку. Деталізація до цього рівня необхідна тільки при імітаційному моделюванні, оскільки її запуск пов'язаний з відстеженням шляху кожного пакета. В результаті формується статистика по трафіку в цілому.

2.2 Математична модель ОС на основі МП

Для моделювання використовуються ієрархічні розфарбовані МП з тимчасовим механізмом [4, 6], де колір (тип міток) відповідає типу трафіку. Мітки можуть бути двох типів - «повідомлення» і «службові маркери», які означають факт зайнятості ресурсу обробкою меток- «повідомлень». Кількість міток в позиціях відповідає стану мережі, переходи змінюють цей стан, переміщаючи мітки в інші позиції.

Час в моделі приймається дискретним і вимірюється тактами.

Протягом одного такту мітка може зробити не більше одного переміщення через дозволений перехід. У класичних МП без тимчасових затримок один такт відповідає спрацьовуванню одного (будь-якого) дозволеного переходу. Але оскільки МП цінні саме для моделювання паралельних систем, в більшості інтерпретацій і розширень МП такт розуміється ширше - як проміжок, протягом якого спрацьовують всі дозволені в початковому стані переходи. Кожен мережевий об'єкт (робоча станція, канал передачі, комунікаційний пристрій) моделюється як підмережа Петрі.

2.2.1 Основні визначення

Теоретико-множинне визначення МП можна представити в наступному вигляді [4, 6]:

$$W = \{P, T, I, O, M\},$$

де $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ – кінцева безліч позицій;

$T = \{t_1, \dots, t_m\}$ – кінцева безліч переходів мережі;

$I_-: T \rightarrow P^*$ – вхідна функція інцидентності, що зіставляє переходу безліч його вхідних позицій ($I_-(t, p) = 1$, якщо p – вхідна позиція для t , $I_-(t, p) = 0$ в іншому випадку);

$I_+: T \rightarrow P^*$ – вихідна функція інцидентності, що зіставляє переходу безліч його вихідних позицій ($I_+(t, p) = 1$, якщо p – вихідна позиція для t , $I_+(t, p) = 0$ в іншому випадку);

$M = (M(p_1), \dots, M(p_n))$ – вектор розподілу міток по позиціях (маркування).

Однак для цілей моделювання ОС в нашому випадку зручніше ввести наступне визначення:

$$W = \{P, T, D, TR\},$$

де P - безліч позицій;

T - безліч переходів;

D - безліч дуг;

TR - безліч типів трафіку;

$TR(p)$ - безліч типів міток, які можуть перебувати в позиції p ;

$m(tr, p)$ - мітка типу tr , що знаходиться в позиції p .

Інцидентність в даному визначенні виражається за допомогою дуг, наявність дуги від переходу до позиції рівнозначно твердженню про те, що дані перехід і позиція інцидентні один одному в такий спосіб:

$$d(t, p) \Leftrightarrow I + (t, p) = 1 \Leftrightarrow I - (p, t) = 1,$$

$$d(p, t) \Leftrightarrow I + (p, t) = 1 \Leftrightarrow I - (t, p) = 1.$$

$\forall(\tau, r), t \in T, r \in TR, \exists\theta \in R$ - тимчасова затримка на кожному переході визначається для кожного типу трафіку.

Введемо поняття черги для типів міток для опису ситуації, коли в момент обробки мітки у вхідні позицію переходу можуть надходити нові мітки різних типів. Логічно мітки «повідомлення» повинні оброблятися в порядку прямої або зворотної черзі (можливі і інші дисципліни обслуговування). У тому випадку, коли в даній позиції присутній тільки один тип трафіку, поняття черги анулюється, бо з точки зору мережі Петрі мітки одного типу принципово не відрізняються один від одного і, таким чином, при наявності декількох міток у вхідній позиції і дозволеному переході переміщається будь-яка мітка з них. Якщо ж через позицію проходить змішаний трафік, вибір типу мітки для переходу повинен враховувати черговість їх надходження:

$$\forall p \in P, \forall \tau r_1, \dots, \tau r_N \in Tr : M(p) = \{\tau r_1, \dots, \tau r_N\}$$

$$\exists \{ \{k_i; tr_i\} \}, i = 1, \dots, N : k_i \in Z = t(m(tr, p)).$$

Тобто для будь-якої позиції p і дозволених для неї типів трафіку визначений набір пар $\{k; tr_i\}$, де k - момент часу надходження мітки типу tr_i . Тип наступної мітки для обробки вибирається вибором tr_i при мінімальному k .

Перехід є дозволеним, якщо у всіх вхідних позиціях знаходяться мітки і перехід не знаходиться в стані «зайнято». Це можна виразити таким чином:

$$R(t) = 1 \Leftrightarrow (S(t) = 1) \& (\prod M(p_i) > 0),$$

де $p_1, \dots, p_k \in P$ – вхідні позиції для переходу t ;

$R(t)$ – функція «дозволеності» переходу t , а $S(t)$ - функція «незайнятості» переходу t .

Перехід знаходиться в стані «зайнято» протягом часу обслуговування, після чого переходить в стан «вільний».

Передбачається, що в початковий момент часу роботи імітаційної моделі перехід знаходиться в стані «вільний» ($S(t) = 1$).

2.2.2 Подання основних пристроїв мережі

Функціонально кожний мережевий пристрій може виступати в кількох «ролях»: передавача, приймача або генератора трафіку. Причому один і той же пристрій може поєднувати в собі кілька ролей, при цьому набір ролей носить статичний характер, тобто визначається в момент моделювання пристрою і не змінюється протягом роботи моделі. Мережа Петрі, що виконує одну з перерахованих функцій, будемо називати рольовим функціоналом. Це поняття вводиться для зручності моделювання мережевих пристроїв, кожне з яких може виступати в одній або декількох з перерахованих ролей.

При такому підході модель будь-якого мережевого пристрою будується з таких рольових функціоналів за допомогою операцій, наведених нижче.

Формально визначення рольового функціоналу для нерозфорбованої МП можна представити таким чином:

$$F: \{m(pin1), \dots, m(pinn)\} \rightarrow \\ \rightarrow \{m'(pin1), \dots, m'(pinn); m''(pout1), \dots, m''(pouts)\},$$

де $pin1, \dots, pinn$ – вхідні позиції F; $pout1, \dots, pouts$ – вихідні позиції F; $m(p)$ – кількість міток, які входять в позицію p ззовні; $m'(p)$ – кількість міток, які залишаються в позиції p після одного спрацьовування всіх дозволених переходів в F;

$m''(p)$ – кількість міток, які виходять з позиції p за межі F після одного спрацьовування всіх дозволених переходів в F.

Визначимо основні рольові функціонали і представимо їх у вигляді простих МП.

Функціонал - приймач / передавач трафіку (рисунок 2.2, а): елементарна мережа Петрі, на основі якої будуються всі інші функціонали. Складається з двох позицій 1 і 2, переходу t і двох дуг (від позиції 1 до переходу t і від переходу t до позиції 2). Трафік буде надходити в позицію 1 і передаватися в позицію 2, тобто при наявності мітки в позиції 1 мітка потрапляє через перехід в позицію 2. З переходом пов'язана затримка обслуговування.

$F(n, 0) = (0, n)$, тобто при вході в позицію 1 n міток і після спрацьовування t у вхідній позиції залишиться 0 повідомлень, а у вихідній позиції 2 з'явиться n міток.

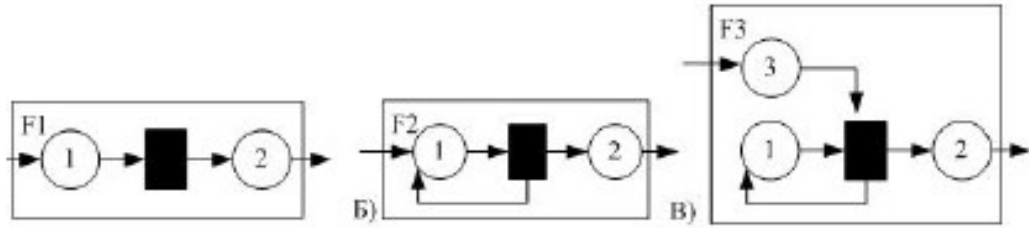


Рисунок 2.2 – Рольові функціонали: а) приймач / передавач трафіку; б) незалежний генератор трафіку; в) залежний генератор трафіку

Функціонал - генератор трафіку незалежний варіант (рисунок 2.2, б): момент надходження нових міток в позицію 2 залежить тільки від тимчасової затримки переходу.

$F(n, 0) = (n, n)$; тобто при вході в позицію р1 n міток і після спрацювання t1 у вхідній позиції знову буде n повідомлень, а у вихідній позиції з'являться n міток.

Функціонал - генератор трафіку залежний варіант (рисунок 2.2, в): момент надходження нових міток в позицію 2 залежить від тривалості затримки переходу і від наявності в позиції 3 мітки.

$F(n, 0, m) = (n, 0, m + n)$, однак якщо для позицій 3 і 2 є дозволеним трафік тільки типу А, для позиції 1, відповідно, - тільки трафік типу Б, то, з урахуванням цих накладених обмежень, $F(n, 0, m) = (n, 0, m)$.

Операції з мережами Петрі:

Для цілей моделювання ВС визначимо (за аналогією з алгеброю мереж Петрі, що породжує клас регулярних мереж [4, 6]) такі операції над елементами мереж A_i - позиціями p_j , переходами t_k , дугами d_l ($i, j, k, l \in \mathbb{Z}$).

Ототожнення позицій « \sim » з параметрами ($A_1, p_k \in A_1; A_2, p_n \in A_2$) і аналогічно - ототожнення переходів « \sim » з параметрами ($A_1, t_1 \in A_1; A_2, t_2 \in A_2$). Ототожнення позицій з мереж A_1 і A_2 дає в результаті одну загальну мережу A зі спільною позицією p_{kn} . Запис: $(p_k(A_1) \sim p_n(A_2)) (p_{kn})$. При цьому за замовчуванням визначимо, що $M(p_{kn}) = M(p_k) \in M(p_n)$. Якщо нове

найменування позиції (p_{kn}) пропущено, то вважаємо, що позиція зберігає найменування з першої мережі. Для одночасного ототожнення декількох позицій (переходи аналогічно) запис буде виглядати наступним чином:

$$((p_{k1}(A_1) \sim p_{n1}(A_2)); \dots; (p_{kM}(A_1) \sim p_{nM}(A_2)))(p_{k1,n1}), \dots, (p_{kM,nM}).$$

Інцидентні які ототожнюються переходах і позиціях дуги зливаються, якщо мають одні і ті ж входи і виходи.

Додавання дуги «->» з параметрами ($A_1, t_k \in A_1; A_2, p_j \in A_2$). Запис: $(t_k(A_1) \rightarrow p_n(A_2))$ - для зв'язування переходу і позиції; запис: $(p_k \rightarrow A_2 t_n)$ з параметрами ($A_1, p_k \in A_1; A_2, t_j \in A_2$) - для зв'язування позиції і переходу.

Операція за замовчуванням не зачіпає зміни безлічі типів міток, допустимих для переходів або позицій.

Звиключення дуги «! ->» з параметрами ($A, d \in A$), запис: $(! \rightarrow d(A))$. Операція за замовчуванням не зачіпає зміни безлічі типів міток, допустимих для переходів або позицій.

Перейменування позицій «/» з параметрами ($A, p_1 = p'_1$) і аналогічно - перейменування переходів «/» з параметрами ($A, t_1 = t'_1$). Запис - $(p_k / p'_k)(A)$. Ця дія може бути корисно для підготовки підмереж до ототожнення при позиціях / переходах, мають аналогічні імена в об'єднуються мережах. За замовчуванням перейменування ніяк не впливає на безліч типів міток, допустимих для перейменовувати позицій і переходів. Для конструювання ієрархічних СП, які моделюють ВС, будемо використовувати також операції об'єднання СП і їх розщеплення. Об'єднання є ототожненням позицій і переходів в об'єднуються СП:

Об'єднання СП «&» з параметрами ($A_1, A_2; p_1, \dots, p_k \in A_1, p'_1, \dots, p'_k \in A_2; t_1, \dots, t_s \in A_1, t'_1, \dots, t'_s \in A_2$).

Об'єднання в загальному випадку є груповий операцією ототожнення множин позицій і переходів двох мереж.

$$A' = ((p_1(A_1) \sim p'_1(A_2))(p'_1); \dots; (p_k(A_1) \sim p'_k(A_2))(p'_k)); \\ (t_1(A_1) \sim t'_1(A_2))(t'_1); \dots; (t_s(A_1) \sim t'_s(A_2))(t'_s)).$$

Розщеплення МП «%» з параметрами $(A_1, A_2; t \in A_1, t'_1, t'_2 \in A_2)$, де t - перехід з першої мережі, який замінюється на другу мережу в переходах t'_1 і t'_2 . Записується як $A = A_1 (t)\% A_2 (t'_1, t'_2)$. Розщеплення можна уявити через операції « \sim » і « $! \rightarrow$ », позначивши за $d_{-1}(t), \dots, d_{-k}(t)$ дуги з A_1 , що є вхідними для t ($d(p_1 t), \dots, d(p_k t)$), і за $d_{+s}(t), \dots, d_{+r}(t)$ - дуги з A_2 , які є вихідними для t .

$$(d_{+s}(t), \dots, d_{+r}(t)).$$

$$A' = ((t(A_1) \sim t'_1(A_2))(t'_1); (t(A_1) \sim t'_2(A_2))(t'_2)),$$

$$A'' = (!\rightarrow (d_{-1}(t'_2), \dots, d_{-k}(t'_2))(A')),$$

$$A = A''' = (!\rightarrow (d_{+s}(t'_1), \dots, d_{+r}(t'_1))(A'')).$$

Тобто мП A' виходить ототожненням переходу t вихідної СП A і переходів t'_1 і t'_2 мережі A_1 . При такому ототожненні замість дуг $d_{-1}(t), \dots, d_{-k}(t)$ і $d_{+s}(t), \dots, d_{+r}(t)$ в новій мережі A' з'являються дуги $d_{-1}(t'_1), \dots, d_{-k}(t'_1)$, $d_{+s}(t'_1), \dots, d_{+r}(t'_1)$, а також $d_{-1}(t'_2), \dots, d_{-k}(t'_2)$, $d_{+s}(t'_2), \dots, d_{+r}(t'_2)$.

Тепер будь-який об'єкт в моделі ОС може бути представлений за допомогою вищеописаних функціоналів F_1, F_2, F_3 (рисунок 2.3) і операцій $\sim, \rightarrow, ! \rightarrow, /$. Наведемо кілька прикладів.

2.3 Приклади побудови мереж Петрі для різних ОС

2.3.1 МП для робочої станції з одним мережевим інтерфейсом

Нехай розглядається мережевий вузол приймає повідомлення-запити, обробляє їх і відправляє в мережу повідомлення-відповіді. В цьому випадку

вузол є приймачем трафіку типу α і залежним від міток типу α генератором трафіку типу β (рисунок 2.3а). Отримаємо мережу D шляхом зв'язування позиції 1 мережі B і позиції 3 мережі C' (додана дуга α).

$$D = p_1(B) \rightarrow p_3(C'), \text{ где } M(B) = \alpha, M(C') = \beta. M(D)$$

змінимо наступним чином:

$$M(p_1) = M(p_2) = M(p_3) = \alpha;$$

$$M(p_4) = M(p_5) = \beta.$$

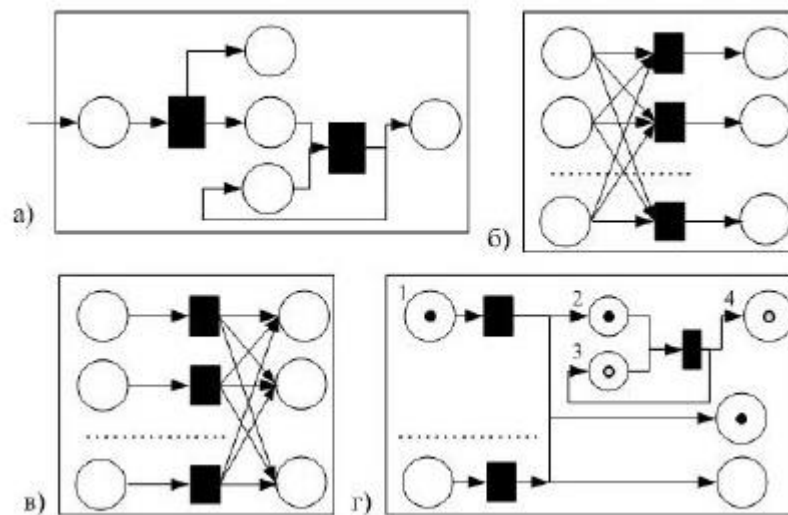


Рисунок 2.3 - Моделі мережевих пристроїв: а) робоча станція; б) концентратор; в) комутатор-міст; г) маршрутизатор

2.3.2 МП для вузла-концентратора

Вузол-концентратор (hub) приймає повідомлення з одного порту, передає на все. Кожен порт виконує функцію розгалуженого передавача трафіку (рисунок 2.3б). Для кожного i (лічильник портів концентратора) спочатку задається початкова мережу типу А - передавач трафіку (рис. 2а).

На кожному кроці циклу по j (лічильник портів) нова мережа типу A об'єднується з мережею, отриманої на попередньому кроці, шляхом ототожнення вхідних позицій i переходів. В результаті для кожного i виходить МП, відповідна одному вхідному порту з вихідними позиціями для всіх інших портів. Далі ці мережі об'єднуються шляхом ототожнення відповідних вихідних позицій.

Алгоритм побудови пристрою типу hub:

- Для ($i = 1; i \leq \text{NumPorts}; i ++$) Цикл
- $A_i = A_i, 1 = A(p1 / p1, i, p2 / p2, 1);$
- Для ($j = 1; j < \text{NumPorts}; j ++$) Цикл
- $A_{i, j + 1} = A(p1 / p1, i, p2 / p2, j + 1);$
- $A_i = (A_i, p1, i \sim A_{i, j + 1}, p1, i; A_{i, t} \sim A_{i, j + 1}, t) (p1, i) (t_{ij})$
- Кінець Циклу по j
- Якщо ($i = 1$) Тоді
- $A = A_i;$
- інакше
- $A = (A, p2, 1 \sim A_{i, p2, 1}; A, p2, 2 \sim A_{i, p2, 2}; \dots$
- $A, p2, \text{NumPorts} \sim A_{i, p2, \text{NumPorts}});$
- кінець Якщо
- Кінець Циклу по i .

2.3.3 МП для вузол - міст

Вузол-міст (switch) приймає повідомлення, аналізує, передає на один / кілька / все порти (рисунок 2.3в).

2.3.4 МП для вузол - маршрутизатора

Вузол-маршрутизатор (router) приймає повідомлення, аналізує i , при передачі з одного середовища передачі в іншу, перетворює повідомлення,

передає його на один, кілька або всі порти (рисунок 2.3г).

Позиції 1-4 на малюнку 2.3г разом з переходами моделюють ситуацію переходу пакета в мережу з іншою середовищем передачі (наприклад, що входить в позицію 1 пакет є пакетом Ethernet, кінцевий адресат пакету знаходиться в мережі Token Ring), в цьому випадку механізм перетворення наступний:

- пакет з позиції 1 переходить в позицію 2 з затримкою обробки;
- позиція 2 є стоком для повідомлень Ethernet, після того, як для цього пакета згенерований новий пакет Token Ring;
- в позиції 3 знаходиться мітка - пакет Token Ring;
- миттєвий перехід до позиції 4 стає дозволим, і у вихідній позиції 4 з'являється пакет Token Ring, за рахунок того, що для позиції 4 заборонені пакети типу Ethernet;
- якщо перетворення типів не потрібно, пакет відразу переходить від вхідних позиції до вихідній (наприклад, з позиції 1 в 5).

Наведемо алгоритм побудови МП для маршрутизатора на основі аналогічного алгоритму для концентратора. Відзначимо, що в даному випадку для моделювання зв'язку між різними середовищами передачі використовується мережу типу «приймач» замість мережі типу «передавач», щоб не залишати відкриту дугу з вихідній позиції. У той же час за рахунок злиття підмережі «приймач» і підмережі «залежний генератор» отримуємо мережу, яка транслює трафік.

Для ($i = 1; i \leq \text{NumPorts}; i++$) Цикл

Якщо (вихідний порт j підключений до іншої середовищі передачі, ніж вхідний порт i), Тоді

$$A'1 = B(p1 / p1, i, p2 / pi, 3);$$

$$A'2 = C'(p1 / p3, i, p2 / p2,1, p3 / pi, 3);$$

$$Ai = Ai, 1 = (A'1, pi, 3 \sim A'2, pi, 3); M(pi, 3) = M(p1, i);$$

$$M(p3, i) = M(p2,1)$$

Інакше // середовище передачі однакова

$A_i = A_i, 1 = A(p_1 / p_1, i, p_2 / p_2, 1);$

Кінець Якщо;

Для ($j = 1; j < \text{NumPorts}; j ++$) Цикл

Якщо (вихідний порт j підключений до іншої середовищі передачі ніж вхідний порт i), поді

$A'1 = B(p_1 / p_1, i, p_2 / p_i, 3);$

$A'2 = C'(p_1 / p_3, i, p_2 / p_2, j + 1, p_3 / p_i, 3);$

$A_{i, j + 1} = (A'1, p_i, 3 \sim A'2, p_i, 3); M(p_i, 3) = M(p_1, i);$

$M(p_3, i) = M(p_2, j + 1)$

Інакше // середовище передачі однакова

$A_{i, j + 1} = A(p_1 / p_1, i, p_2 / p_2, j + 1);$

Кінець Якщо;

$A_i = (A_i, p_1, i \sim A_{i, j + 1}, p_1, i)$

Кінець Циклу по j

Якщо ($i = 1$) Тоді

$A = A_i;$

інакше

$A = (A, p_2, 1 \sim A_i, p_2, 1; A, p_2, 2 \sim A_i, p_2, 2; \dots;$

$A, p_2, \text{NumPorts} \sim A_i, p_2, \text{NumPorts});$

кінець Якщо

Кінець Циклу по i

2.3.5 МП для полудуплексного каналу з втратами

Напівдуплексний канал з втратами (рисунок 2.4 а).

Позиція 8 - містить мітку особливого типу - ознака зайнятості ресурсу. Переходи t_{10}, t_{40} - миттєві, t_2, t_3 - з затримками обслуговування. Позиція 7 - «стік» для недоставлених повідомлень.

Прямий алгоритм побудови такої мережі наступний:

Крок 1. $V_1 = B(t/t_{10});$

Крок 2. $V_2 = A(p_1/p_2, p_2/p_3, t/t_2)$;

Крок 3. $V_3 = B(p_1/p_8, t/t_{10})$;

Крок 4. $V_4 = B(p_1/p_2, p_2/p_8, t/t_2)$;

Крок 5. $V_5 = B(p_1/p_2, p_2/p_7, t/t_2)$;

Крок 6. $V' = (p_2(V_1) \sim p_2(V_2))$;

Крок 7. $V'' = (t_{10}(V') \sim t_{10}(V_3))$;

$p_2(V') \sim p_2(V_3)$;

Крок 8. $V''' = (t_2(V'') \sim t_2(V_4))$;

$p_2(V'') \sim p_2(V_4)$; $p_8(V'') \sim p_8(V_4)$;

Крок 9. $V = (p_2(V''') \sim p_2(V_5))$;

$t_2(V''') \sim t_2(V_5)$;

Крок 10. $W_1 = B(p_1/p_4, p_2/p_5, t/t_{40})$;

Крок 11. $W_2 = A(p_1/p_5, p_2/p_6, t/t_2)$;

Крок 12. $W_3 = B(p_1/p_8, t/t_{40})$;

Крок 13. $W_4 = B(p_1/p_5, p_2/p_8, t/t_3)$;

Крок 14. $W_5 = B(p_1/p_5, p_2/p_7, t/t_3)$;

Крок 15. $W' = p_5(W_1) \sim p_5(W_2)$;

Крок 16. $W'' = (t_{40}(W') \sim t_{40}(W_3))$;

$p_5(W') \sim p_5(W_3)$;

Крок 17. $W''' = (t_3(W'') \sim t_3(W_4))$;

$(p_5(W'') \sim p_5(W_4))$;

$p_8(W'') \sim p_8(W_4)$;

Крок 18. $W = (p_5(W''') \sim p_5(W_5))$;

$t_3(W''') \sim t_3(W_5)$;

Крок 19. $VW = (p_8(V) \sim p_8(W); p_7(V) \sim p_7(W))$.

Можна побудувати більш короткий алгоритм, використовуючи операцію розщеплення переходів на підмережі.

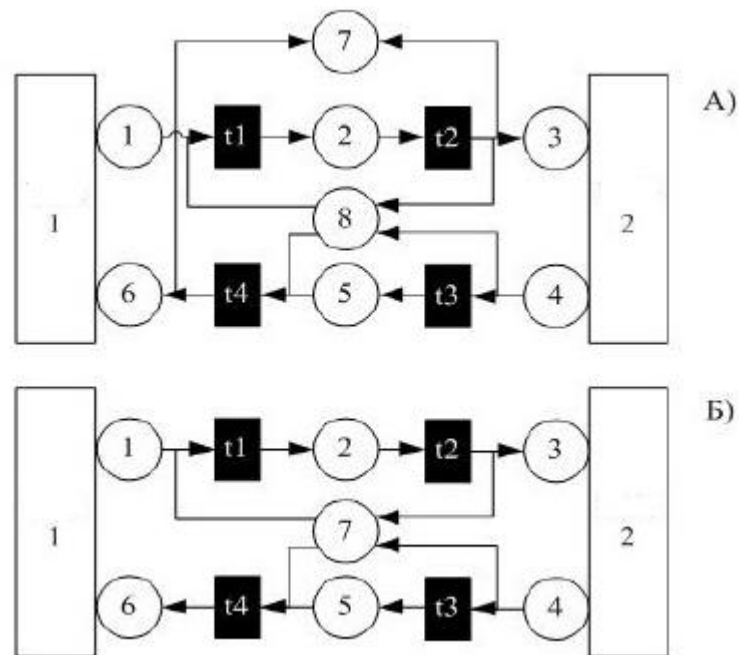


Рисунок 2.4 – Канали зв'язку: а) напівдуплексний; б) повнодуплексний

2.3.6 МП для дуплексного каналу з втратами

Двобічний канал з втратами. Будується аналогічно напівдуплексному, але має більш просту структуру (рисунок 2.4 б), так як не містить позиції для міток поділу ресурсу і відповідних зв'язків (дуг і переходів).

Аналогічним чином можна показати конструювання та інших типів мережевих пристроїв.

Наведені алгоритми наочно демонструють простоту реалізації і мають лінійну складність для всіх представлених типів пристроїв.

Можна узагальнити запис операції ототожнення, якщо опустити параметри ототожнюються позицій і пристроїв і визначити в цьому випадку ототожнення по всіх позиціях і переходах з ідентичним найменуванням. Тоді запис « $Z = ((A, t1; B, t1); (A, p2; B, p2))$ » буде аналогічна записи « $C = (A; B)$ » за умови, що всі елементи (позиції і переходи) в обох мережах мають різне найменування, крім $t1$ і $p2$.

Можна також визначити операцію макетування на основі операції

перейменування, наприклад, для мережі типу В «приймач»: « $C = ((B, 1 / B, p1); (B, 2 / B, p2))$ », буде аналогічна записи « $C = B(p1, p2, t)$ ».

Крок 1. $V1 = B(p1/p5, t/t4, p2/p6)$;

Крок 2. $V2 = B(p1/p5, t/t4, p2/p7)$;

Крок 3. $V3 = B(p1/p8, t/t6, p2/p6)$;

Крок 4. $V4 = B(p1/p8, t/t6, p2/p7)$;

Крок 5. $V5 = B(p1/p6, t/t3, p2/p5)$;

Крок 6. $V6 = B(p1/p6, t/t5, p2/p8)$;

Крок 7. $V' = (p5(V1) \sim p5(V2))$;

$(t4(V1) \sim t4(V2))$;

Крок 8. $V'' = (p5(V') \sim p5(V5))$;

$p6(V') \sim p6(V5)$;

Крок 9. $V^* = (B, t1) \% (V'', t3, t4)$;

Крок 10. $V' = (p8(V3) \sim p8(V4))$;

$t6(V3) \sim t6(V4)$;

Крок 11. $V'' = (p6(V') \sim p6(V6))$;

$p8(V') \sim p8(V6)$;

Крок 12. $V^{**} = (B(p1/p3, t1/t2, p2/p4), t4) \%$

$\% (V'', t5, t6)$;

Крок 13. $W = (p6((V^*) \sim p6(V^{**}))$;

$p7(V^*) \sim p7(V^{**}))$.

3 СИНТЕЗ МОДЕЛІ І МОДЕЛЮВАННЯ ЇЇ РОБОТИ

3.1 Алгоритм роботи побудованої моделі на основі МП

Приведено загальний алгоритм для реалізації процесів передачі повідомлень у імітаційній моделі на основі сконструйованої та розміченої МП. Під подіями розуміємо переміщення меток з однієї позиції в другу, тобто множину виду $S = \langle P_1, P_2, T, tr, t \rangle$, де P_1, P_2 - відповідно вхідна та вихідна позиції; T - перехід; tr - тип трафіку; t - момент часу, в який відбудеться подія.

Загальний алгоритм:

- Визначення розміру тимчасового кроку для моделі.
- Визначення кількості кроків N (часу моделювання).
- Установка ознаки модифікування мережі Петрі. $ОММП = 1$;

Для $i = 1$ по N Цикл (i - лічильник кроків)

Перевірка модифікування мережі Петрі, установка $ОММП = 0/1$.

Якщо $ОММП = 1$, тоді

Цикл по всім джерелам трафіку.

Цикл по всім потокам

Обчислення маршрутів.

Кінець циклу

Кінець Циклу;

Кінець Якщо;

Отримання списку подій для даного кроку.

Якщо крок нульовий, тоді

Формування списку подій:

Цикл по всім джерелам трафіку

Цикл по всім потокам

Обчислення події $S (P_1)$:

Вибір наступного переходу і дотримуюся щей позиції (з маршруту),
розрахунок моменту t ;

Додавання S в список

Кінець Циклу;

Кінець Циклу;

Інакше

Якщо список порожній і крок не нульовий перехід на наступний крок;

Інакше

Цикл по подіям зі списку

Перевірка на дозволеність події (відповідного переходу)

Якщо Подія дозволена - виконання:

Формування наступної події S_{next} :

Вибір наступного переходу і такої позиції (з маршруту), розрахунок
моменту S_{next} .

Додавання S_{next} в список

кінець Якщо

Кінець Циклу;

Кінець Якщо;

Кінець Циклу по i .

3.2 Загальні принципи застосування моделі

Практичне застосування запропонованого імітаційного моделювання
ВС передбачає наступні етапи:

а) Визначення модельної платформи ОС.

б) Імітація процесів і подій, що відбуваються в ОС.

в) Аналіз результатів і верифікацію моделей.

Визначення модельної платформи ОС спирається на загальну RDF-
модель і включає в себе наступні завдання:

- створення структурної моделі ОС: визначення топології ОС, що

входять в її склад підмереж, пристроїв обробки трафіку (робочих станцій, серверів, периферійного і комунікаційного устаткування), каналів передачі трафіку.

- Створення структурно-функціональних моделей пристроїв ОС: Опис тих, що входять до складу ОС пристроїв з точки зору його функцій по обробці трафіку;

- виділення в пристрої взаємопов'язаних блоків різних типів: прийому-передачі трафіку, його обробки, генерації.

- Створення моделей потоків мережевого трафіку:

- опис типів, джерел, потоків трафіку і характеристик мережевих пакетів;

- опис маршрутів потоків трафіку.

На поточному етапі реалізації підсистема імітаційного моделювання та аналізу ОС МодМП дозволяє визначити таким чином модельну платформу досліджуваної ОС.

Мережевий трафік, який циркулює в ОС, змодельованої в такий спосіб, може бути в загальному випадку, описаний процесами і подіями, наведеними в таблиці 3.1.

Ці події можуть бути деталізовані або навпаки, агреговані та формалізовані в залежності від цілей моделювання. Оскільки пріоритетним напрямком системи МодМП є розрахунок і аналіз затримок на обробку та передачу трафіку в мережі, в ній моделюються такі процеси і події (таблиця 3.1).

Таким чином, процеси 1 і 2 об'єднуються, і виключається процес моделювання розбиття повідомлення на пакети.

Також на даному етапі реалізації МодМП об'єднуються процеси обробки повідомлення в мережевому інтерфейсі і на рівні додатку в мережевому пристрої. Такий підхід дозволяє розрахувати затримки на передачу пакета і на обробку його в мережевому пристрої. Модель допускає в майбутньому більш високий рівень деталізації процесів за рахунок

ускладнення структури мереж Петрі для пристроїв ОС.

Таблиця 3.1 – Загальні процеси та події передачі та обробки мережевого трафіку

Процеси	Подія
1. Процес генерації мережевого повідомлення	Визначення джерела повідомлення
	Визначення моменту генерації повідомлення
	Визначення адресата повідомлення
	Визначення характеристик повідомлення: розмір, пріоритет
2. Процес формування мережевих пакетів з повідомлення	Розбиття повідомлення на пакети
	Додавання до кожного пакету заголовків у відповідності з використовуваними в мережі протоколами
3. Передача мережевого пакету в залежності від використовуваної в мережі технології передачі даних (каналів зв'язку, мережевих інтерфейсів, комунікаційного обладнання)	Вибір маршруту
	Передача пакета до чергового вузла
4. Обробка мережевого пакету	Обробка на рівні мережного інтерфейсу
	Обробка на рівні додатку

Аналіз результатів. Реалізована система використовує комплекс методів моделювання ВС. Крім імітаційного моделювання застосовується аналітичне моделювання, а також вейвлет-аналіз часових рядів, отриманих

шляхом заміру показників мережевого трафіку.

Таблиця 3.2 – Процеси і події передачі та обробки мережевого трафіку МодМП

Процес	Подія
Процес генерації мережевих пакетів відповідно до використовуваних в мережі протоколами	Визначення джерела пакетів
	Визначення моменту генерації пакетів
	Визначення адресата пакетів
	Визначення характеристик пакетів: розмір, пріоритет
Передача мережевого пакету в залежності від використовуваної в мережі технології передачі даних (каналів зв'язку, мережевих інтерфейсів, комунікаційного обладнання)	Вибір маршруту
	Передача пакета до чергового вузла з затримкою передачі
Обробка мережевого пакету	Обробка в мережевому пристрої з затримкою обробки

3.3 Апробація моделі

Наведемо результати практичного використання описаного в статті імітаційного підходу, який реалізується в програмному комплексі МодМП (Моделювання на мережах Петрі).

Для розрахунків використовувалася мережева статистика по протоколу UDP за 2,5 години в навчальній аудиторії. На основі зібраних даних аналітично (метод «аналізу середніх» [1]) розраховувалися середня черга повідомлень в кожному вузлі L_i (N) і середній час власне обробки

повідомлень (без урахування очікування в черзі) $T_i(N)$. У прикладі оцінюються параметри робочих станцій і комунікаційного пристрою типу міст для однорідного трафіку.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані вимірів

Мережевий вузол	Середня тривалість обслуговування з очікуванням
1	4,101213
2	1,327422
3	2,732321
4	7,739902
5	7,471218
6	0,939744

Маршрутна матриця P_{ij} потоків задається наступним чином:

$$\begin{pmatrix}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 P_{11} & P_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 P_{21} & P_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{pmatrix}$$

У таблиці 3.4 наведені результати аналітичних розрахунків.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунків

Номер мережевого вузла	Середній розмір черги повідомлень в вузлі	Середній час обробки повідомлень в вузлі
1	0,011213	0,25717
2	1,810152	2,07996
3	7,326853	2,66351
4	0,011125	0,14035
5	0,221498	0,1645
6	0,669921	1,76645

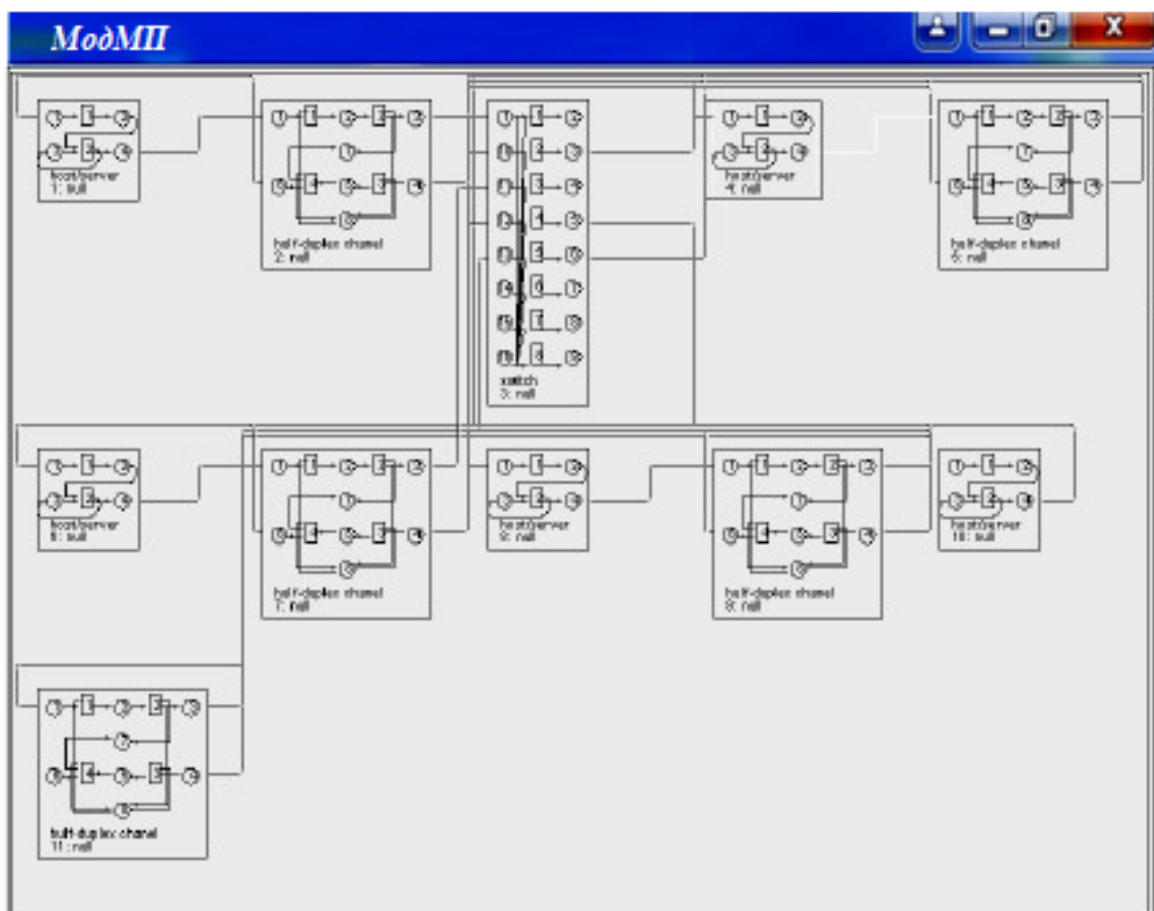


Рисунок 3.1 – Імітаційна модель ОС в середовищі МодМІП

Таблиця 3.5 – Результати роботи імітаційної моделі (T = 100)

Номер мережевого вузлу		1	2	3	4	5	6
Середній Розмір черги повідомлення	T=100	0,0234	2,172	5,994	0,0689	0,3701	0,899
	T=1000	0,013	2,023	6,782	0,0681	0,21	0,676
	T=5000	0,128	1,1985	7,221	0,0381	0,241	0,661
Середній час обробки повідомлення в вузлі	T=100	0,3453	1,8794	2,7581	0,0901	0,1001	2,1122
	T=1000	0,234	1,8432	2,49	0,1212	0,1571	1,8119
	N=5000	0,215	2,1001	2,71	0,1299	0,1703	1,8012

№ вузлу		1	2	3	4	5	6	Max. E (%)
Черга відн. пох. (E)	T = 100	0,672	0,193	-0,172	0,717	0,662	0,331	72
	T = 1000	-0,105	0,114	-0,057	0,151	-0,077	0,071	15
	T = 5000	-0,037	0,09	-0,01	0,076	0,019	-0,015	9
Час обробки відн. пох. (E)	T = 100	0,479	-0,103	-0,0001	-0,257	-0,38	0,202	48
	T = 1000	-0,174	-0,055	-0,053	-0,123	0,051	0,059	17
	T = 5000	-0,128	-0,002	0,006	0,006	0,031	0,028	13

Рисунок 3.2 – Розрахунок відносної похибки

Модель ОС на основі МП відображена рисунку 3.1.

Для отримання результатів модель запускалася на виконання для двох значень часу виконання: T = 100. T = 1000 і T = 5000 тактів. Для кожного значення модель виконувалася по три рази, після чого розраховувалися

середні значення, наведені в таблиці 3.5.

Дані рисунку 3.2 показують відносну похибку і її максимальні значення першій-ліпшій нагоді роботи моделі ($T = 100$, $T = 1000$, $T = 5000$).

Зі збільшенням кількості тактів похибка зменшується, і результати імітаційного моделювання сходяться до результатів аналітичного моделювання.

ВИСНОВКИ

В даній атестаційній описаний підхід до імітаційного моделювання архітектури та передачі даних в обчислювальних мережах з використанням модифікованих мереж Петрі. Цей механізм доцільно використовувати для складних завдань проектування мереж і аналізу потоків трафіку або поєднувати описаний підхід з аналітичним моделюванням (застосовуючи аналітичні методи для розрахунку деяких характеристик і використовуючи ці результати для імітаційного моделювання).

У роботі запропоновано механізм побудови мереж Петрі для основних об'єктів ОС, формалізовані функції мережеских об'єктів у вигляді примітивних МП - функціоналів. Запропоновані операції над МП, що дозволяють легко конструювати модель ОС. Для демонстрації побудованої моделі, наведено приклад побудови МП для фрагмента локальної мережі, розглянуті питання маршрутизації в імітаційній моделі, запропонований узагальнений алгоритм роботи імітаційної моделі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вишнеvский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей [Текст] / В.М. Вишнеvский. – М.: Техносфера, 2003.– 348 с.
2. Дубинин В.Н. Организация и проектирование интеллектуальных распределенных вычислительных систем с групповыми взаимодействиями [Текст]/ В.Н. Дубинин // Вычислительная техника в автоматизированных системах контроля и управления: Межвуз. сб. науч. тр. – Пенза: ПГУ, 1999. – Вып.26. – С. 31–38.
3. Ильницкий С.В. Работа сетевого сервера при самоподобной нагрузке. [Электронный ресурс] / С.В. Ильницкий – URL: <http://314159.ru/ilnickis/ilnickis1.pdf>.
4. Котов В.Е. Сети Петри [Текст]/ В.Е.Котов. – М.: Наука, 1984.- 295 с.
5. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем [Текст]/ Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984.- 418 с.
6. Шиндер Д. Основы компьютерных сетей [Текст] / Д. Шиндер – М.: Диалектика-Вильямс, 2002. – 656 с.
7. Олифер В. Г. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы [Текст] / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер – Учебник для ВУЗов, СПб.: 2004. – 864 с.
8. HP OpenView Network Node Manager [Электронный ресурс] – URL: [http:// www.openview.ru/nnm_2.htm](http://www.openview.ru/nnm_2.htm) .
9. Базильський А.А., Янковський О.А., Дяченко В.О. Моделі представлення елементів систем масового обслуговування // Проблеми інформатизації. Тези доповідей восьмої міжнародної науково-технічної конференції / Черкаси-Харків-Баку-Бельсько-Бяла, 2020 – Т1.– С.47
10. Гольдштейн А.Б. Механизм эффективного туннелирования в MPLS // Вестник связи. – 2004. – №2.

11. Гольдштейн Б.С. Программные коммутаторы Softswitch: вчера, сегодня и... // Технологии и средства связи. – 2005. – №2.
12. Руководящий документ (РД) 45.333-2002 Оборудование связи, реализующее функции гибкого коммутатора (Softswitch). Технические требования. // Минсвязи РФ, 2012.
13. Пролетарский А.В., Баскаков И.В., Федотов Р.А., Мельников С.А. IP-телефония в компьютерных сетях [Электронный ресурс] / Учебный Internet-курс. – Режим доступа: [www/ URL: http://www.intuit.ru/studies/courses/8/8/info](http://www.intuit.ru/studies/courses/8/8/info) – 13.08.2008 – Загол. з экрану
14. Построение сети IP-телефонии с устройствами Softswitch [Электронный ресурс] / Generally Tech: Проектирование и разработка современных технологий. – Режим доступа: [www/ URL: http://www.generallytech.ru/gentecs-642-1.html](http://www.generallytech.ru/gentecs-642-1.html) – 2017 р. – Загол. з экрану
15. Построение сети с устройствами Softswitch [Электронный ресурс] / Generally Tech: Проектирование и разработка современных технологий. – Режим доступа: [www/ URL: http://www.generallytech.ru/gentecs-641-1.html](http://www.generallytech.ru/gentecs-641-1.html) – 2017 р. – Загол. з экрану.