

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОТОКОЛУ
ОРГАНІЗАЦІЇ ВІРТУАЛЬНИХ ПІРИНГОВИХ КАНАЛІВ
В ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ**

Одним з основних способів апробації програмної реалізації будь-якого механізму обміну інформацією є проведення експериментальних досліджень, направлених на виявлення відповідності цієї реалізації тим принципам, що покладено в основу механізму. Основною метою досліджень є порівняння певних характеристик, одержаних в результаті експерименту з еталонними параметрами математичної моделі. Таке порівняння дозволяє в цілому оцінити ступінь відповідності реалізованого програмного забезпечення тим принципам, алгоритмам, а також характеристикам протоколів зв'язку, що використовувалися на етапі проектування механізму.

Проведення експериментальних досліджень програмної реалізації протоколу організації віртуальних пірингових каналів в локальних комп'ютерних мережах (ЛКМ) є логічним продовженням загальних досліджень, направлених на створення принципово нового, пірингового механізму обміну інформації в ЛКМ.

1. Теоретичні відомості. Як відомо з [1] в основу реалізованого механізму покладено принцип створення віртуальних пірингових каналів. Загальна схема функціонування віртуального пірингового каналу (ВПК) складається з декількох етапів:

- запит-відповідь – формування та розповсюдження широкомовного запиту та отримання відповідей на нього від певної кількості вузлів ЛКМ;
- встановлення віртуального з'єднання – процес узгодження необхідних параметрів та уточнення предмета запиту;
- передавання даних – обмін інформацією в межах утвореного ВПК між двома вузлами ЛКМ;
- руйнування з'єднання – вивільнення зарезервованих ресурсів в межах вузлів, між якими було створено ВПК.

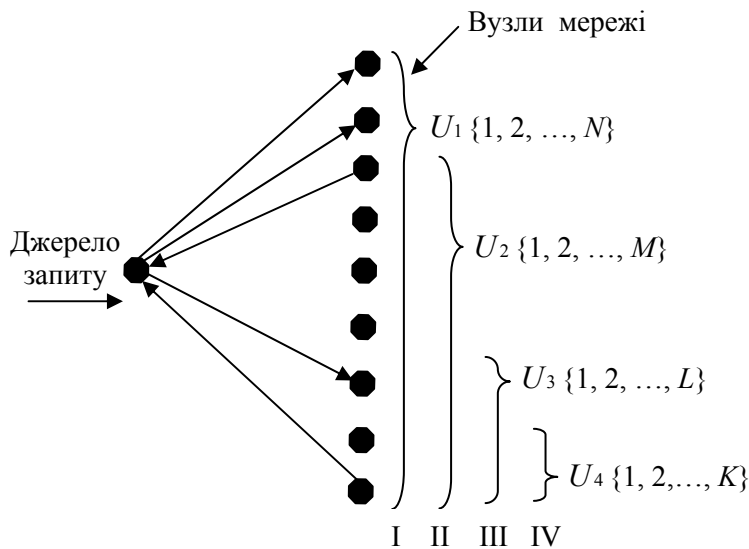


Рисунок 1 – Процес організації віртуального пірингового каналу на етапах «запит-відповідь» та встановлення з'єднання

Для пошуку необхідного ресурсу в межах ЛКМ вузол, який здійснює пошук, бере на себе функції джерела запиту. Джерело надсилає широкомовний запит всім вузлам ЛКМ та може в подальшому послужити основою для формування відразу декількох ВПК з різними вузлами, які відповідають умовам надісланого запиту. Слід зауважити, що процес функціонування пірингового механізму в ЛКМ дещо ускладнюється за рахунок того, що будь-який вузол в мережі може одночасно виступати як в ролі джерела запиту, так і в ролі звичайного вузла. Однак, зважаючи на те, що при цьому

використовується той самий процес створення ВПК, що і в випадку з одним джерелом, то для більш детального розуміння принципів роботи пірингового механізму розглянемо процес організації ВПК в межах простішої пірингової ЛКМ. На рис. 1 зображена схема процесу створення ВПК.

2. Часові характеристики процесу створення віртуальних пірингових каналів в ЛКМ. Однією з основних характеристик якості обслуговування під час використання запропонованого механізму можна вважати час, що витрачається на створення ВПК ($T_{ВПК}$). Згідно з запропонованою у [2] математичною моделлю час створення ВПК буде складатися із часу обробки запиту $T_{зап1}$ та

відповідей $T_{відп1}$ на першому етапі його організації, а також часу обробки запиту $T_{зап2}$ та відповідей $T_{відп2}$ на створення віртуального каналу на другому етапі організації пірингового каналу, тобто може бути розрахований за формулою:

$$T_{ВПК} = T_{зап1} + T_{відп1} + T_{зап2} + T_{відп2} \quad (1)$$

Час створення ВПК за стадіями згідно з математичною моделлю, що основана на використанні теорії масового обслуговування, визначається формулами Літгла:

$$T_{зап1} = \frac{\rho_1}{\lambda_1(1-\rho_1)},$$

$$T_{відп1} = \frac{\bar{z}}{m\lambda_2}, \quad (2)$$

де $\bar{z} = \bar{k} + \bar{r}$ – середня кількість відповідей, що обслуговуються та очікують в черзі;

$\bar{k} = 1 - \frac{1-\rho_2}{1-\rho_2^{m+2}}$ – середня кількість відповідей, що обслуговуються в системі масового обслуговування (СМО);

$\bar{r} = \frac{\rho_2^2 [1 - \rho_2^m (m + 1 - m\rho_2)]}{(1 - \rho_2^{m+2})(1 - \rho_2)}$ – середня кількість відповідей, що очікують в черзі.

Залежність часу створення ВПК від інтенсивності запитів на першій стадії його створення наведена на рис. 2.

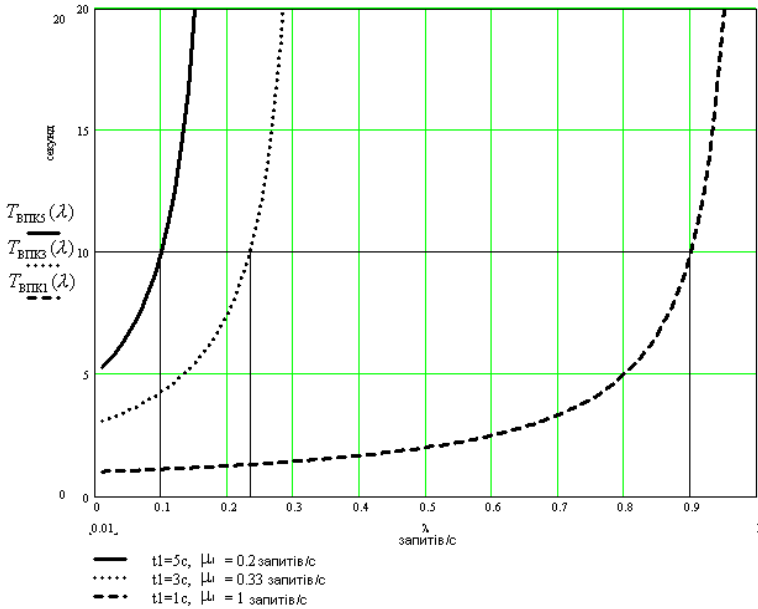


Рисунок 2 – Залежність часу організації ВПК від інтенсивності потоку запитів

Умови існування стаціонарного режиму роботи СМО:

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} < 1, \quad \rho_2 = \frac{m\lambda_2}{\mu_2} < 1,$$

$$\rho_3 = \frac{\lambda_3}{\mu_3} < 1, \quad \rho_4 = \frac{k\lambda_4}{\mu_4} < 1.$$

3. Протокол організації віртуальних пірингових каналів в мережі Ethernet. Протокол, детально описаний в [3], характеризується своїми логічними та процедурними характеристиками. Основною логічною характеристикою протоколу є формат пірингового повідомлення (модифікованого кадру Ethernet), який визначає тип та зміст службової інформації, що необхідна для створення та підтримки роботи ВПК (рис. 3).

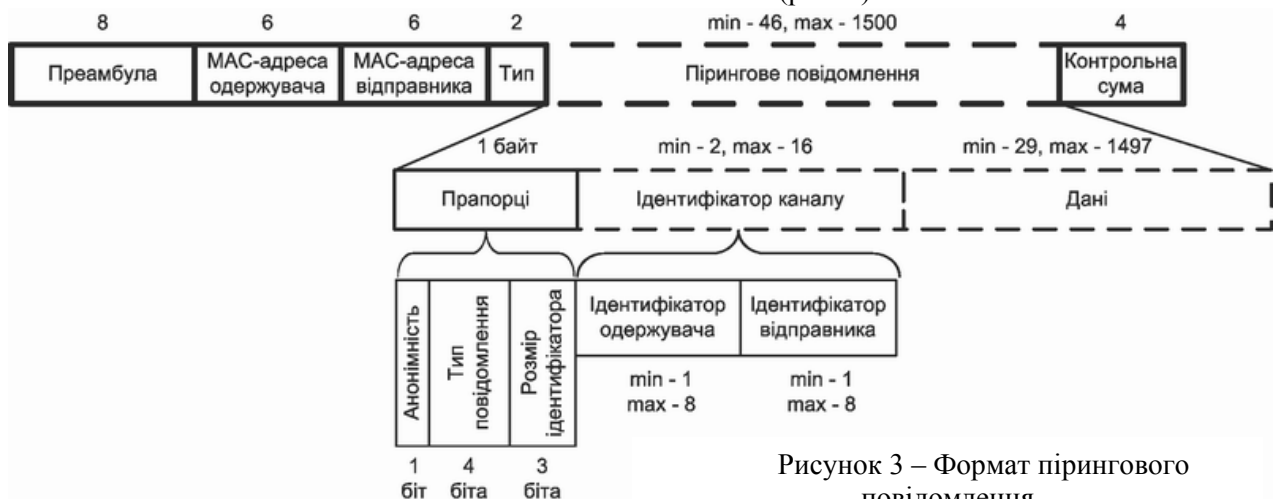


Рисунок 3 – Формат пірингового повідомлення

4. Програмна реалізація.

Зважаючи на особливості механізму організації ВПК, а також на необхідність використання для його реалізації специфічних для технології Ethernet можливостей, найбільш доцільною формою його програмної реалізації була розробка бібліотеки функцій програмного інтерфейсу API (Application Programming Interface) [4]. Організація взаємодії бібліотеки з іншими об'єктами мережної операційної системи (драйверами, застосуваннями (applications) тощо) зображена на рис. 4.



Рисунок 4 – Схема взаємодії бібліотеки організації ВПК в межах мережної операційної системи

5. Експериментальні дослідження.

Одним з основних способів апробації програмної реалізації телекомунікаційних механізмів є проведення експериментальних досліджень функціонування тієї або іншої послуги в реальній мережі. Проведення таких досліджень дозволяє визначити типи та параметри потоків запитів на надання послуги (в тому числі в різні періоди доби), провести вимірювання впливу послуги на загальну завантаженість мережі тощо. При цьому важливою умовою таких досліджень є наявність реалізованої послуги та сформованого середовища користувачів, що її використовують. Проведення ж експериментальних досліджень нових телекомунікаційних механізмів, яке ставить за мету насамперед визначення можливості реалізації певних видів послуг за рахунок використання його функціональних особливостей, неможливе без розробки спеціального програмного забезпечення, що імітує роботу таких послуг в реальних мережах.

Для проведення експериментальних досліджень роботи запропонованого телекомунікаційного механізму було розроблено допоміжне програмне забезпечення, яке своєю функціональністю відтворювало роботу пірингової послуги, що реалізує роботу системи відстеження змін інформаційного наповнення на вузлах мережі. Програмне забезпечення складалося з двох частин: *джерела* та *вузла* і таким чином в сукупності являло собою типовий приклад реалізації пірингової послуги.

Після запуску клієнтська частина ПЗ періодично надсилала інформативні запити (із зазначенням часу останнього опитування) всім вузлам мережі з метою одержати від них інформацію про наявні інформаційні ресурси (перелік файлів в заданому каталозі), серверна частина кожного вузла обробляла прийнятий запит на протязі певного часу (час обробки визначався усередненим параметром та змінювався для кожного разу на випадковий відсоток). У випадку, якщо з моменту останнього запиту наповнення каталогу було змінено – вузол відповідав джерелу (клієнтській частині), зазначаючи, які саме файли було змінено (імовірність такої відповіді зазначалась серед вихідних даних та рішення приймалося на основі роботи датчика псевдовипадкових чисел). Джерело, в свою чергу, аналізувало всі одержані відповіді та утворювало ВПК з вузлами, на яких було виявлено зміни, з метою синхронізувати інформативне наповнення. При цьому середній час затримки на кожній із стадій організації ВПК, а також імовірність переведення процесу в наступний стан визначались вихідними даними. Таким чином, серед вихідних даних, якими оперує *джерело* слід зазначити: середню інтенсивність запитів (запитів/с), максимальний час організації ВПК (с), імовірність позитивної обробки відповіді, середній час обробки відповіді, тривалість проведення експерименту. Вихідні дані *вузлової* частини було представлено такими параметрами: середній час обробки запитів (с), імовірність позитивної обробки запиту, середній час обробки запиту на організацію ВПК (с), імовірність надсилання підтвердження на організацію ВПК.

Протягом роботи дослідного ПЗ фіксувалися такі параметри, як: кількість надісланих запитів, кількість одержаних запитів, кількість організованих ВПК, загальний час організації всіх ВПК. На підставі зазначених параметрів кожної секунди проводилося обчислення середньої інтенсивності надісланих та одержаних запитів, середньої імовірності організації ВПК, а також середнього часу організації ВПК.

Для проведення експериментальних досліджень розроблене програмне забезпечення послідовно встановлювалося на 12 робочих станціях досліджуваної мережі (рис. 5). Це дозволило визначити реальний вплив кількості вузлів мережі на такі параметри, як середній час організації ВПК, середню інтенсивність запитів та середню кількість організованих ВПК.

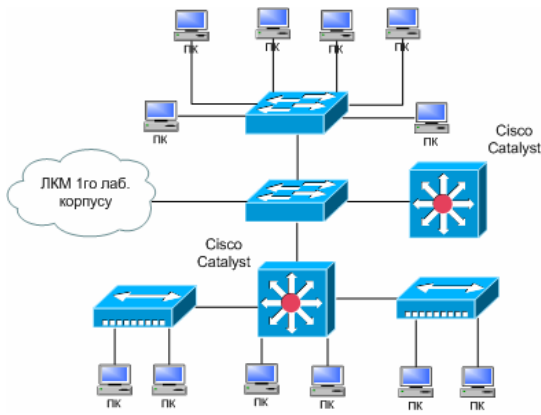


Рисунок 5 – Схема організації зв'язку в дослідній мережі

Під час проведення експериментальних досліджень було використано параметри пірингової послуги, зведені до табл. 1.

Вибір саме таких значень параметрів обумовлено подібністю до параметрів функціонування реальної послуги, що реалізує роботу системи відстеження змін інформаційного наповнення з тією лише різницею, що середня інтенсивність запитів від одного вузла була витримана на дещо завищеному рівні (0,09 запитів/с). Вибір такої інтенсивності визначається необхідністю простежити зміни, що відбуваються в мережі під час перевищення загальною інтенсивністю запитів рівня середньої інтенсивності їх обробки на кожному з вузлів мережі.

Таблиця 1 – Вихідні параметри експериментальних досліджень

Назва параметра	Значення
Середня інтенсивність запитів від одного вузла	0,09 запитів/с
Час обробки запиту на першій стадії	1,5 с
Час обробки відповіді на другій стадії	1 с
Час обробки запиту на організацію ВПК на третій стадії	0,5 с
Час обробки підтвердження на четвертій стадії	0,1 с
Імовірність відправлення відповіді	0,7
Імовірність відправлення запиту на організацію ВПК	0,7
Імовірність відправлення підтвердження	0,9
Максимальний час організації ВПК	10 с
Максимальний час очікування відповіді на першій стадії	50 с
Тривалість кожного експерименту	4500 с

Для кожної кількості вузлів мережі було проведено по два експерименти тривалістю 4500 секунд кожний. Перший експеримент здійснювався без використання контролю забезпечення заданої якості обслуговування, другий – із застосуванням роботи відповідного модуля. При цьому якщо в першому випадку інтенсивність надсилання запитів кожним вузлом зазначалася у вихідних параметрах, то під час другого експерименту вона визначалася заданим класом обслуговування (максимальним часом організації ВПК) і контролювалася модулем забезпечення заданого рівня якості обслуговування.

З використанням одержаних результатів було розраховано усереднені для кожного вузла та узагальнені для всієї мережі параметри інтенсивності запитів та середнього часу організації ВПК.

На основі розрахованих усереднених значень було побудовано графіки залежності середнього часу організації ВПК (рис. 6), а також загальної кількості організованих за період в 4500 секунд ВПК (рис. 7). На кожному з графіків штрих-пунктирною лінією

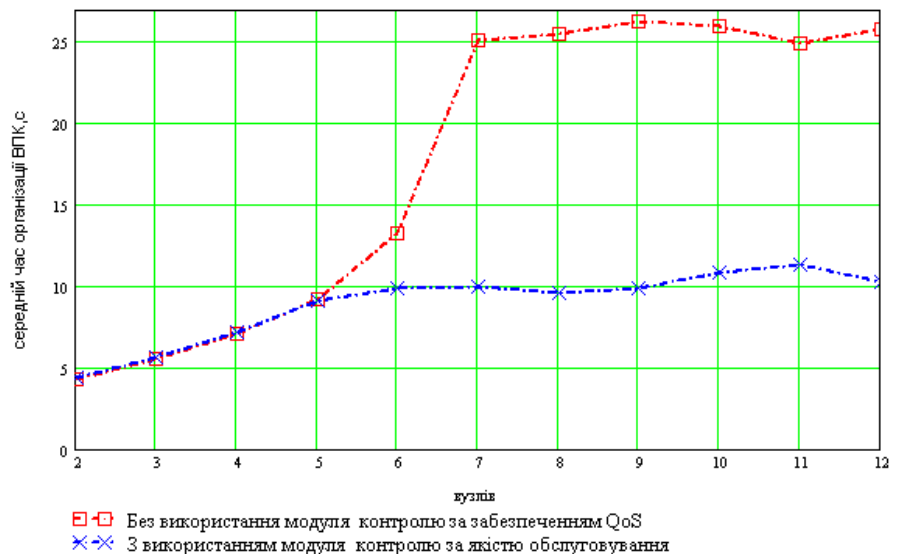


Рисунок 6 – Залежність середнього часу організації ВПК від кількості вузлів експериментальної мережі

позначено результати досліджень без використання модуля забезпечення якості обслуговування, а звичайним пунктиром позначено результати, одержані при застосуванні відповідного модуля.

З наведених на рис. 6 графіків видно, що в звичайному режимі час організації ВПК різко зростає при збільшенні кількості вузлів та обмежується лише штучним способом, шляхом обмеження часу очікування відповідей на етапі «запит-відповідь» (відповіді очікуються лише перші 50 с). Однак, при застосуванні підсистеми контролю забезпечення якості обслуговування середній час організації ВПК залишається майже незмінним.

Певні зміни, при досяганні бар'єрного значення загальної інтенсивності запитів, можна спостерігати і в залежності кількості організованих ВПК від кількості вузлів мережі (рис. 7).

Це пояснюється тим, що різке зростання кількості створених каналів різко обрізається тими обмеженнями, які накладаються на час організації ВПК. Якщо для випадку з використанням модуля забезпечення заданого класу обслуговування спостерігається повільне зростання (загальна інтенсивність залишається на одному рівні, а кількість вузлів поступову збільшується), то для випадку без використання обмежень на інтенсивність кількість мала б зростати значно швидше, однак за рахунок використання штучного обмеження на час очікування відповідей від вузлів на першій стадії організації ВПК значна кількість надісланих запитів не призводить до організації ВПК тому що залишаються не обробленими.

Такі значення середнього часу організації ВПК, а також кількість організованих ВПК за певний період часу для випадків з використанням та без використання контролю за забезпеченням заданого класу обслуговування, пояснюються тими змінами, що відбувалися із загальною інтенсивністю запитів при збільшенні кількості вузлів мережі. Так, для випадку, коли середня інтенсивність запитів від кожного вузла задавалася у вихідних даних, при збільшенні кількості вузлів загальна інтенсивність запитів на кожен вузол лінійно зростала (за рахунок агрегації потоків), що негативно впливало як на час організації ВПК (стрімке зростання), так і на кількість організованих ВПК (збільшена кількість нерезультативних запитів). В свою чергу при застосуванні модуля забезпечення заданого класу обслуговування загальна (сумарна) інтенсивність запитів підтримувалася на одному рівні за рахунок зменшення інтенсивності запитів від кожного вузла (штучного збільшення розміру паузи між запитами).

Слід зазначити, що проведені експериментальні дослідження дозволяють дослідити роботу пірингових послуг в невеликій комп'ютерній мережі, однак не дозволяють оцінити зміну основних статистичних параметрів мережі при великій кількості вузлів, або при змінюванні доступної пропускної спроможності та застосуванні декількох пірингових послуг одночасно, що можливо лише за умов створення імітаційної моделі пірингової мережі.

Література

1. Каптур В.А., Нечипорук О.Л. Механизм создания пиринговых каналов в Ethernet сетях // Зв'язок. – 2005. – № 4. – С. 28–33.
2. Каптур В.А., Нечипорук О.Л. Моделирование процессов создания виртуальных пиринговых каналов в локальных компьютерных сетях // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2005. – № 2. – С. 14–21.
3. Каптур В.А. Протокол організації віртуальних пірингових каналів в локальних комп'ютерних мережах // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2006. – № 2. – С. 85–95.
4. Комп'ютерний програмний комплекс «Імітаційне моделювання та бібліотека створення віртуальних пірингових каналів»: А.с. 20359. Україна. Нечипорук О.Л., Каптур В.А.; Опубл. 03.05.07, Бюл. № 13.

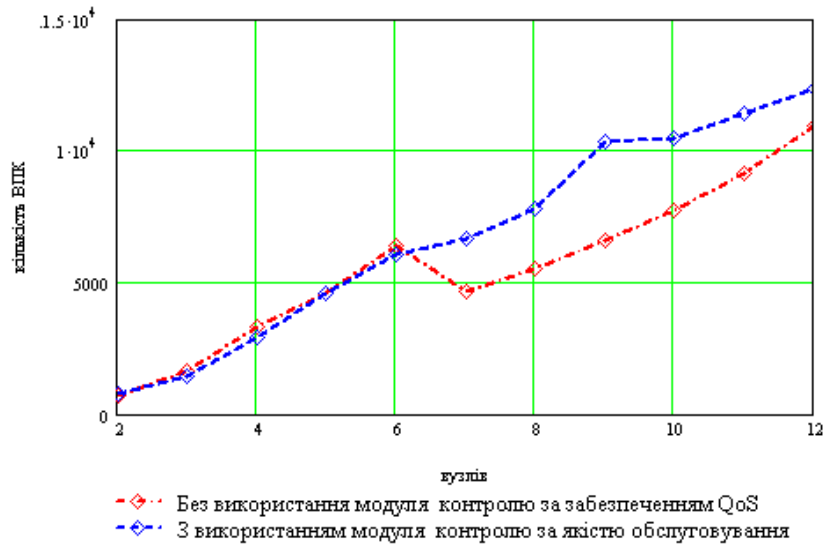


Рисунок 7 – Залежність кількості організованих ВПК від кількості вузлів експериментальної мережі