

**ПРОТОКОЛ ОРГАНІЗАЦІЇ ВІРТУАЛЬНИХ ПІРИНГОВИХ КАНАЛІВ
У ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ****THE VIRTUAL PEERING CHANNELS ORGANIZATION PROTOCOL
IN A LOCAL AREA NETWORKS**

Анотація. Наведено специфікацію протоколу організації віртуальних пірингових каналів в локальних комп'ютерних мережах. Розглянуто основні параметри ефективності протоколу. Розглянуто основні засади програмної реалізації протоколу та зазначено можливі шляхи оптимізації пірингового механізму обміну інформацією.

Summary. Specification of the virtual peering channels organization protocol in a local area networks (LAN) is resulted. Key parameters of efficiency of the protocol are considered. Basic principles of protocol software implementation are considered and possible ways of optimization peering mechanism of information interchange are specified.

Сьогодні не можливо переоцінити важливість локальних комп'ютерних мереж (ЛКМ) у процесі розвитку інформаційного суспільства. З використанням ЛКМ пов'язана найбільш важлива діяльність сучасних підприємств, при цьому ефективність роботи підприємства прямо пов'язана з вирішенням проблеми підвищення ефективності роботи його корпоративної мережі та ЛКМ, що входять до її складу. Серед значної кількості складових, що впливають на ефективність роботи ЛКМ, можна підкреслити, насамперед, механізм обміну інформацією, який використовується для організації взаємодії вузлів ЛКМ між собою.

Одним з можливих шляхів підвищення ефективності ЛКМ при вирішенні таких важливих завдань, як пошук інформації та її ефективне передавання, може бути використання пірингового механізму обміну інформацією. Основні особливості цього механізму, такі як використання ширококомовних повідомлень для створення логічних з'єднань, а також можливість організації анонімних (закритих) та неанонімних (відкритих) віртуальних пірингових каналів (ВПК) в Ethernet мережах, розглянуто в [1]. При розгляданні мережної та математичної моделі механізму [2] викладено основні принципи організації зв'язку між вузлами ЛКМ та надано рекомендації щодо його програмної реалізації.

Однак невід'ємною частиною практичної реалізації будь-якого механізму обміну інформацією є специфікація алгоритмів його роботи та характеристик протоколів зв'язку. Впровадження пірингового механізму обміну інформацією в ЛКМ потребує розробки відповідного протоколу та програмних модулів, що підтримують обмін інформацією в мережі Ethernet з використанням цього механізму.

Метою роботи є розробка протоколу організації віртуальних пірингових каналів при використанні пірингового механізму обміну інформацією в ЛКМ.

Протокол організації віртуальних пірингових каналів в мережі Ethernet повинен являти собою набір правил, що регламентують формат та процедури обміну інформацією між вузлами ЛКМ при використанні пірингового механізму. В основу протоколу має бути покладено принцип організації віртуальних каналів передавання даних в межах ЛКМ з використанням таких особливостей технології Ethernet, як можливість відправлення ширококомовних кадрів, а також можливість модифікації фізичної адреси відправника. Зазначений протокол повинен характеризуватися своїми логічними та процедурними характеристиками.

1. Логічні характеристики протоколу. 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. При цьому, зважаючи на те, що для реалізації функціональності пірингових механізмів у ЛКМ широко використовуються особливості технології Ethernet, важливу роль відіграє спосіб інтеграції заголовків протоколу організації віртуальних пірингових каналів до кадру Ethernet¹. На рис. 1 зображено місце розташування (спосіб інкапсуляції) пірингових повідомлень в кадрі Ethernet.

Семантика полів кадру Ethernet при цьому залишається незмінною, з тією лише різницею, що наповнення полів «MAC (Media Access Control) – адреси» відправника та одержувача визначається

¹ Мається на увазі формат кадру Ethernet, який запропоновано IEEE та зазначено в стандарті 802.3 [3].

способом адресації та відрізняється для випадків відкритих та закритих віртуальних пірингових каналів [1]. Так, для відкритих ВПК передбачається використання реальних MAC-адрес, які можна отримати засобами операційної системи (ОС) з мережного адаптера¹. Поле «Тип протоколу»² дозволяє проводити фільтрацію пірингових повідомлень від усієї сукупності кадрів Ethernet, що надходять на адаптер, а також використовується при реалізації процедури об'єднання декількох фізичних підмереж Ethernet, що розділені маршрутизаторами, до єдиної пірингової ЛКМ за рахунок перенаправлення пірингових кадрів з однієї фізичної підмережі до іншої. В якості значення для цього поля можна використовувати будь-яке, незадіяне іншими протоколами, значення в діапазоні від 1501 до 65535. Більш детальний опис цих полів, а також полів «Преамбула» та «Контрольна сума» наведено в специфікації стандарту Ethernet IEEE 802.3 [3].



Рисунок 1 – Інкапсуляція пірингового повідомлення в кадр Ethernet

Пірингове повідомлення складається з заголовка, який містить в собі керуючі інформаційні поля та поля даних. Формат пірингового повідомлення зображено на рис. 2.

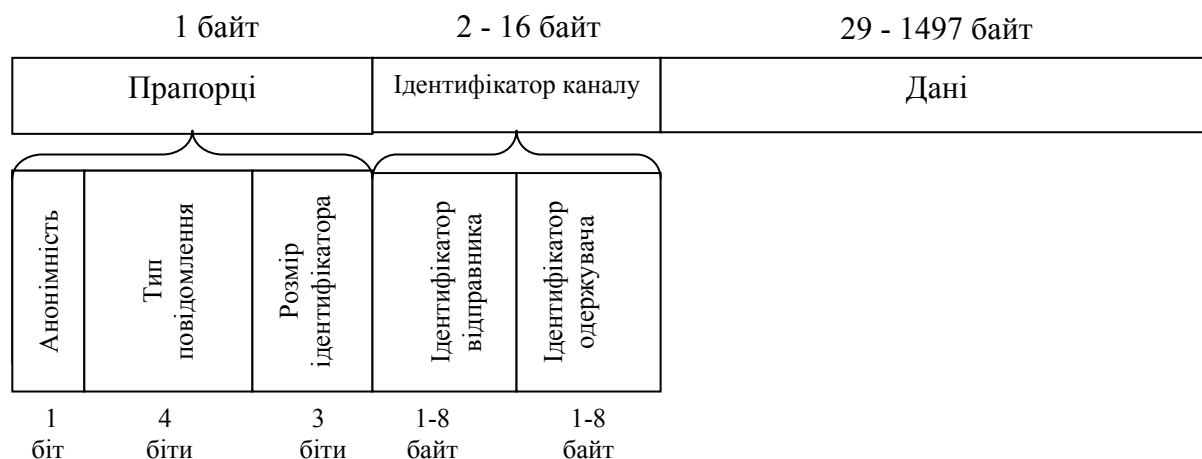


Рисунок 2 – Формат пірингового повідомлення

Поле «Прапорці» призначене для управління процесом передавання та містить змінні параметри, які визначають правила оброблення пірингових повідомлень вузлами ЛКМ. Поле, розміром 1 байт, складається з трьох частин:

1. Признак анонімності (1 біт). Характеризує тип віртуального каналу (анонімний або неанонімний), в межах якого передається пірингове повідомлення. У випадку, коли повідомлення передається в межах анонімного ВПК, цей біт поля «Прапорці» набуває значення одиниці, в протилежному випадку його значення буде дорівнювати нулю.

2. Тип повідомлення (4 біти). Визначає тип пірингового повідомлення. Такий його розмір передбачає можливість використання до 16 різних типів повідомлень. Чинну специфікацію кодів типів повідомлень зазначено в табл. 1.

3. Розмір ідентифікатора (3 біти). Визначає розмір полів «Ідентифікатор відправника» та «Ідентифікатор одержувача» (в байтах). При цьому розмір розраховується за формулою $S = l + 1$, де l – значення, що визначається полем «Розмір ідентифікатора». Ці два поля можна умовно поєднати в одне поле «Ідентифікатор каналу». Мінімальний розмір поля «Ідентифікатор каналу» складає 2

¹ Слід зауважити, що ОС може вертати відмінну від реальної MAC-адресу адаптера. Це досягається шляхом установлення відповідних мережних параметрів майже в усіх розповсюджених ОС.

² Йдеться саме про таку інтерпретацію цього поля. Тобто розглядаються лише кадри Ethernet, значення цього поля в яких більше за 1500.

байти, а максимальний 16 байт. Таким чином, відповідні розміри полів «Ідентифікатор відправника» та «Ідентифікатор одержувача» також мають змінну довжину, яка становить від 1 до 8 байт на ідентифікатор. Такий розмір ідентифікаторів дозволяє створити щонайменш 255 ВПК в межах одного вузла ЛКМ (за умов використання ідентифікаторів мінімального розміру). Такої кількості ВПК цілком достатньо для організації обміну інформацією в ЛКМ з малою кількістю послуг, що реалізовані на основі пірингового механізму, а також за умов використання неанонімних віртуальних пірингових каналів. Взагалі вибір розміру ідентифікаторів ВПК для кожної конкретної ЛКМ залежить від багатьох чинників: кількість вузлів в ЛКМ, тип ВПК, кількість пірингових послуг в межах однієї ЛКМ тощо. Так, для організації роботи пірингового механізму в ЛКМ, кількість вузлів в якій перевищує 200 та при цьому використовується анонімне передавання пірингових повідомлень, доцільно обирати ідентифікатори максимального розміру, що зменшить ризик виникнення колізійних ситуацій, таких як дублювання однакових ідентифікаторів різними вузлами ЛКМ.

Таблиця 1 – Типи повідомлень

Тип повідомлення	Опис
0	Запит на наявність необхідної інформації
1	Відповідь про наявність необхідної інформації
2	Запит на створення віртуального каналу для передавання даних
3	Відповідь про підтвердження створення віртуального каналу
4	Передавання даних
5	Завершення з'єднання
6	Кінець блока даних (файла)
7-15	Зарезервовані для майбутнього використання

Поля «Ідентифікатор відправника» та «Ідентифікатор одержувача» містять ідентифікуючу інформацію та призначені для співставлення визначених пірингових повідомлень конкретному віртуальному піринговому каналу в межах вузла ЛКМ. Його можна порівняти з полями «Порт відправника» та «Порт одержувача» в специфікації формату заголовка TCP (Transmission Control Protocol)-сегмента. Для випадків, коли між двома вузлами ЛКМ установлюється неанонімний ВПК, для однозначного визначення з'єднання крім цього ідентифікатора використовуються також відповідні MAC-адреси, а для випадків анонімних ВПК, використання цього поля залишається єдиним способом ідентифікувати пірингове повідомлення в межах вузла. Таким чином, як розмір, так і спосіб наповнення ідентифікаторів мають відрізнятися для випадків анонімного та неанонімного каналів. Зокрема, якщо для випадку неанонімного ВПК достатньо використовувати значення ідентифікаторів за порядком їх створення, то для анонімних каналів необхідно заповнювати ідентифікатор за допомогою генератора псевдовипадкових чисел.

Поле «Дані» містить дані протоколів більш високих рівнів. Його розмір може змінюватися від 27 до 1497 байт у залежності від розміру заголовку пірингового повідомлення (розміру поля «Ідентифікатор каналу»). Такі значення обумовлені, з одного боку, максимально можливим розміром даних, що можуть передаватися в межах кадру Ethernet (1500 байт), а з іншого – обов'язковою необхідністю наповнення даних кадру до 46 байт.

2. Процедурні характеристики протоколу. *Процедурні характеристики* протоколу організації ВПК, тобто правила виконання дій, що визначені протоколом [4], можна поділити на наступні складові:

– *адресація*. Це питання досить широко розглянуто в [1], тому слід лише зазначити, що адресація кадрів Ethernet, в яких містяться пірингові повідомлення, залежить від типу ВПК (анонімний або неанонімний), а також від типу повідомлення (запит, відповідь тощо);

– *процедура обробки пірингового повідомлення у вузлі*. Ця процедурна характеристика визначається насамперед програмною реалізацією протоколу організації ВПК і буде розглянута нижче;

– *процедура забезпечення гарантованої якості обслуговування*. Рекомендації щодо реалізації модуля контролю за забезпеченням гарантованої якості обслуговування при використанні пірингового механізму обміну інформацією в ЛКМ надано в [2];

– *набір операцій, що доступні сервісам або протоколам більш високих рівнів для взаємодії з даним протоколом*. Набір основних операцій, що передбачені протоколом організації ВПК, наведено в табл. 2;

– *процедура установалення з'єднання*.

Таблиця 2 – Перелік основних операцій протоколу організації ВПК

Назва операції	Опис
INIT (ініціалізація)	Ініціалізація пірингових механізмів. Вибір мережного адаптера для прийому та відправлення пірингових повідомлень
REQUEST (запит)	Формування та відправка пірингового повідомлення, що містить запит (первинний або на створення ВПК)
WAIT_REPLY (очікування відповіді)	Очікування відповідей на відправлений запит
WAIT_REQUEST (очікування запитів)	Очікування запитів (первинних або на створення ВПК)
REPLY (відповідь)	Формування та відправка пірингового повідомлення, що містить відповідь на запит або підтвердження про створення ВПК
DATA_SEND (відправка даних)	Формування та відправка пірингового повідомлення, що містить дані
DATA_RECEIVE (прийм даних)	Очікування пірингового повідомлення, яке містить вхідні дані
DISCONNECT (роз'єднання)	Завершення з'єднання

Розглянемо більш детально процедуру установаження з'єднання та схему організації зв'язку між джерелом запиту та будь-яким вузлом ЛКМ (рис. 3). Ця схема відбиває порядок операцій, а також взаємодію процедурних характеристик протоколу з інформаційними накопичувачами (буферами) у вузлах ЛКМ. Операції, що здійснюються на рівні протоколу, представлені на схемі у вигляді прямокутників. Обмін піринговими повідомленнями (модифікованими кадрами Ethernet) між джерелом та вузлами ЛКМ показано у вигляді пунктирних стрілок. Також на схемі зображені інформаційні накопичувачі, за допомогою яких здійснюється обмін даними між різними процедурами протоколу, а також прикладним програмним забезпеченням. Процедури взаємодії з буферами (запису або читання інформації) зображені подвійними стрілками.

З рис. 3 випливає, що для коректної роботи процедурних характеристик, як на джерелі, так і на вузлах ЛКМ, на початковій стадії необхідно сформувати ряд параметрів, які будуть тим, або іншим способом впливати на процес організації зв'язку. Насамперед, до таких параметрів відноситься інформація про мережний адаптер, який буде використовуватися для отримання та відправки пірингових повідомлень, параметри ЛКМ та необхідний рівень якості обслуговування. Розрахунок параметрів пірингової ЛКМ та контроль забезпечення заданого класу обслуговування описано в [2].

Після виконання процедур ініціалізації (операція INIT) джерело виконує операцію відправки первинного запиту (REQUEST1), при цьому формується та відправляється пірингове повідомлення з кодом повідомлення 0. Після відправки запиту джерело переходить до режиму очікування та отримання відповідей (WAIT_REPLY1). При отриманні відповіді (код повідомлення 1) на відправлений запит джерело розміщує його у буфер відповідей. Аналіз відповідей та прийняття рішення про створення ВПК здійснюється прикладними процесами на більш високому рівні, при цьому відповіді доставляються цим процесам через буфер відповідей.

Вузли ЛКМ після ініціалізації переходять в стан очікування запиту (WAIT_REQUEST1). Як тільки запит отримано, він розміщується в спеціальному буфері запитів. За необхідності прикладний процес може звернутися до цього буфера та отримати звітти запит для проведення аналізу та прийняття рішення про відправку відповіді. Як наслідок, якщо вузол сформує відповідь, він переходить у стан REPLY1 (відправка відповіді).

На другому етапі формування ВПК джерело формує та відправляє запит на створення ВПК (REQUEST 2) та переходить у режим очікування та отримання підтверджень від вузлів ЛКМ (WAIT_REPLY2). Після отримання підтверджень про створення ВПК ідентифікатор каналу розміщується у спеціальний буфер (таблицю ідентифікаторів), який використовується для фільтрації необхідних пірингових повідомлень з усієї сукупності кадрів Ethernet та подальшого розподілу даних, що відносяться до визначених ВПК.

Дії, що проводять вузли ЛКМ на другому етапі формування ВПК, аналогічні процесам, які відбуваються на першому етапі. Вузли ЛКМ переводяться у стан очікування запиту на формування ВПК (WAIT_REQUEST2) та після отримання такого запиту та його аналізу прикладним процесом, вузол формує підтвердження (REPLY2) та відправляє його джерелу.

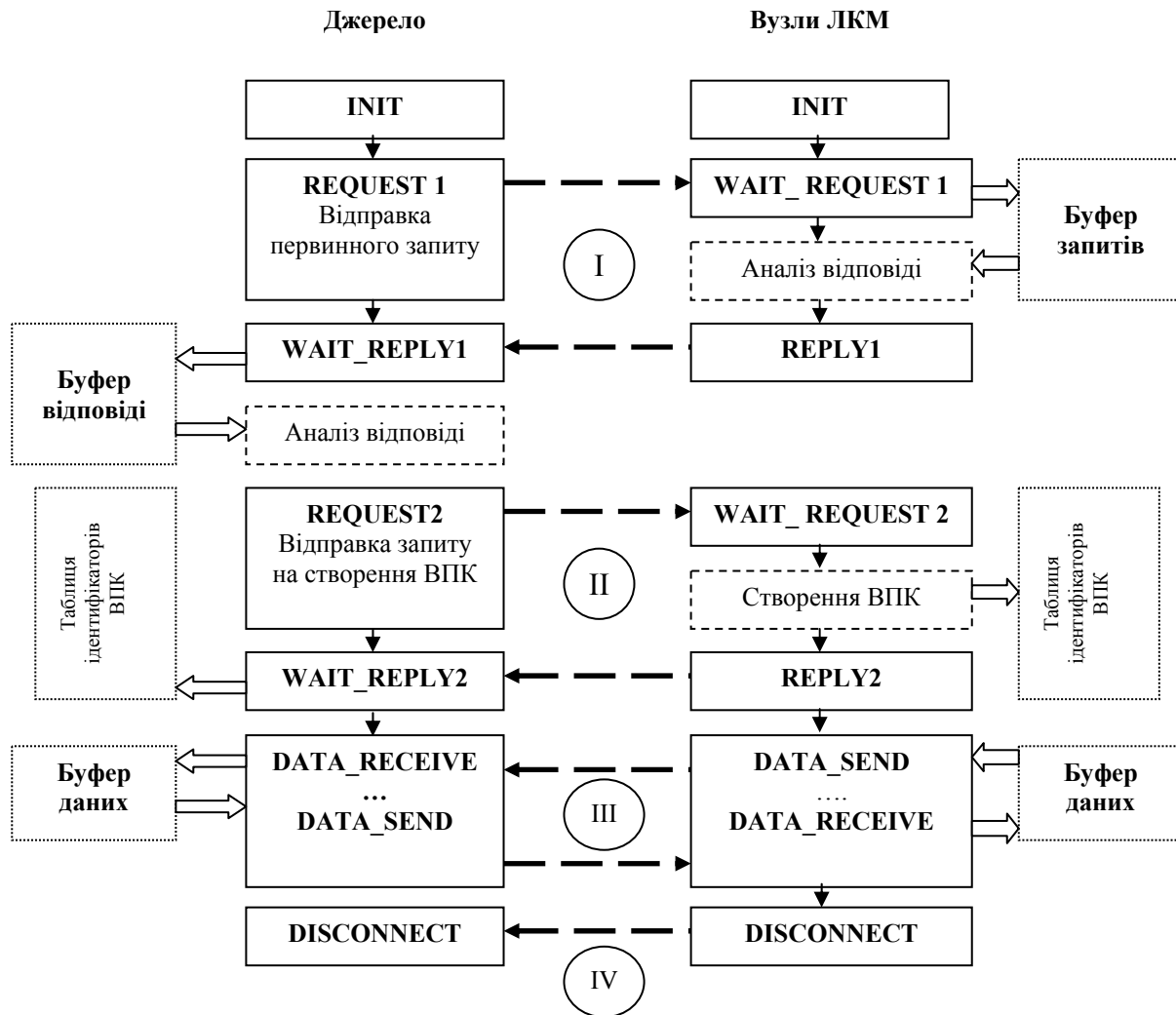


Рисунок 3 – Схема організації зв'язку між джерелом запиту та вузлами пірингової ЛКМ. Римськими цифрами позначені етапи формування ВПК: I – «запит-відповідь», II – установаження віртуального з'єднання, III – обмін даними та IV – завершення з'єднання

На третьому етапі джерело та вузол ЛКМ проводять обмін піринговими повідомленнями, що містять корисні дані. При цьому одержувач, виконуючи операцію **DATA_RECEIVE**, запитує дані з буфера та передає їх процесу, що її визвав. У свою чергу, відправник проводить зворотну операцію **DATA_SEND**, приймає дані від процесів користувачів, формує пірингове повідомлення та відправляє його одержувачу.

Слід відзначити, що протокол організації віртуальних пірингових каналів не підтримує функціональності підтвердження про доставку інформації та не має механізмів контролю помилок за виключенням стандартних механізмів, передбачених протоколом Ethernet. З одного боку, це є певним недоліком цього протоколу, тому що не дозволяє контролювати процес надходження повідомлень до одержувача, однак за рахунок цього значно зменшується обсяг інформації, що передається мережею і таким чином зменшується навантаження на ЛКМ в цілому. Зважаючи на це, будь-яка функціональність, що пов'язана з гарантованою доставкою інформації має бути реалізована на протоколах більш високих рівнів.

Кінцевим етапом, як для джерела, так і для вузлів ЛКМ є етап завершення з'єднання. При цьому ініціатором цього розриву може стати будь-яка зі сторін, що бере участь в обміні інформацією. При цьому на вузлі ЛКМ виконується операція **DISCONNECT**, за якої формується та відправляється до мережі відповідне пірингове повідомлення.

3. Оцінка ефективності протоколу. Ефективність механізму обміну інформацією визначається як сукупність ефективності протоколів, який він використовує, а також ефективності

програмних модулів, що реалізують його функціональність. Якщо другу складову можливо визначити лише шляхом експериментальних досліджень конкретної програмної реалізації в контексті операційної системи, то для оцінки ефективності протоколу може використовуватися показник *ефективної пропускної спроможності протоколу*, який визначається як середня швидкість передавання даних користувачів або протоколів верхніх рівнів [5]. У свою чергу, ефективність протоколу, який для транспортування своїх блоків даних передбачає використання іншого протоколу, можна оцінити за допомогою іншого параметра: *швидкості передавання корисного навантаження* $v_{\text{ефект}}$. Для протоколів локальних мереж, які використовують технологію Ethernet як транспортну, таку швидкість можна визначити за формулою:

$$v_{\text{ефект}} = \lambda_{\text{макс}} \cdot 8 \cdot (L_{\text{all}} - L_{\text{sys}}), \quad (1)$$

де $\lambda_{\text{макс}}$ – максимально припустима інтенсивність передавання кадрів Ethernet [2] (при використанні кадрів максимального обсягу та номінальної пропускної спроможності 100 Мбіт/с це значення становить близько 7 594 кадрів/с)¹; L_{all} – обсяг поля даних в байтах (для технології Ethernet 1500 байт); L_{sys} – обсяг додаткової службової інформації, що передається разом з корисними даними.

Як випливає з формули (1), при розрахунках показника швидкості передавання корисного навантаження використовується лише параметр L_{sys} , який визначається вибором протоколу, що використовується в ЛКМ разом із протоколом Ethernet. Не важко визначити, що обсяг додаткової службової інформації впливає також на час передавання інформації та на загальну кількість інформації (в байтах або в кадрах), яку необхідно передати.

Питання передавання надлишкової системної інформації, що міститься в заголовках пакетів різних рівнів моделі взаємодії відкритих систем (ВВС) особливо гостро постає при збільшенні обсягів передавання корисної інформації та при зменшенні доступної пропускної спроможності каналів зв'язку². Так, наприклад, використовуючи для передавання даних в ЛКМ, що побудована на основі технології Ethernet, протокол FTP (File Transfer Protocol) [6], у кожному кадрі Ethernet, максимальний розмір поля даних якого складає 1500 байт, передається системна інформація, представлена заголовками протоколів IP (Internet Protocol) та TCP (Transmission Control Protocol), які разом складають 40 байт. Таким чином, загальний обсяг поля даних кожного кадру Ethernet використовується для передавання близько 3% системної та 97% корисної інформації від свого загального обсягу³. Така кількість системної інформації майже ніяким чином не впливає на загальну картину передавання інформації малих обсягів, однак, якщо мова йде про передавання локальною мережею файлів та масивів даних обсягом декілька гігабайт, то кожен зайвий відсоток, що витрачено на передавання службової інформації становить десятки мегабайт, що суттєво впливає як на час передавання цієї інформації, так і на загальну завантаженість мережі. Додавання до кожного кадру Ethernet ще 40 байт системної інформації пояснюється тим, що для створення віртуального каналу передавання даних при цьому використовується протокол TCP, обсяг службового заголовку якого складає 20 байт, а для маршрутизації використовується протокол IP, заголовок якого містить IP-адреси інтерфейсів та також займає 20 байт. Такий підхід доцільно використовувати для обміну інформацією в глобальній мережі, в якій одночасно діє значна кількість різноманітних сервісів, а також існує потреба в додатковій адресації вузлів мережі та в маршрутизації навантаження, однак для невеликих ЛКМ така надлишковість є зайвою.

Слід зауважити, що на сьогодні більшість сервісів та протоколів передавання інформації в ЛКМ використовують сімейство протоколів TCP/IP. До таких протоколів відносяться протоколи FTP та CIFS (Common Internet File System)/NBT (NetBios over TCP/IP[7]).

Неважко визначити, що при зменшенні обсягу додаткової службової інформації, швидкість передавання корисного навантаження може значно збільшуватись. При цьому вплив службової інформації залежить від інтенсивності передавання кадрів через ЛКМ – чим менше інтенсивність, тим більше вплив. Таким чином, використання пірингового механізму в ЛКМ, який передбачає

¹ При розрахунках було використано максимальний розмір кадру, який дорівнював 1526 байти (8 байт преамбули, 14 байт заголовку кадру Ethernet, 1500 байт даних та 4 байти контрольної суми).

² Хоча сучасні технології побудови ЛКМ передбачають достатньо швидкісне передавання інформації, питання надлишковості службової інформації всеодно залишається актуальним і сьогодні.

³ Такий підрахунок дуже приблизний, тому що не враховує обсяг службової інформації, яка призначена для керування процесом обміну (FTP команди, підтвердження протоколу TCP тощо).

додавання до кадру Ethernet лише трьох байт службової інформації, дозволяє більш раціонально використовувати ресурс пропускну здатності ЛКМ.

4. Програмна реалізація. Механізм обміну інформацією передбачає створення програмного інтерфейсу для прикладних процесів з метою надання їм у користування його можливостей. 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 є розробка бібліотеки функцій програмного інтерфейсу API (Application Programming Interface). Основною особливістю такої бібліотеки є її специфічне розташування в загальній моделі роботи мережних процесів в операційній системі. Організація взаємодії бібліотеки з іншими об'єктами мережної операційної системи (драйверами, застосуваннями (applications) тощо) зображена на рис. 4.

Як впливає з рис. 4 бібліотека програмного інтерфейсу пірингового механізму являє собою проміжну ланку, яка реалізує алгоритми роботи механізму, використовуючи при цьому специфікацію протоколу організації ВПК. При цьому вона безпосередньо взаємодіє з прикладними застосуваннями та з допоміжною бібліотекою. Таким чином, за необхідності, наприклад, надіслати піринговий запит до всіх вузлів ЛКМ, програмне забезпечення, що розроблене користувачем бібліотеки організації ВПК, може визвати відповідну функцію цієї бібліотеки. Бібліотека організації ВПК, в свою чергу, сформувавши відповідне повідомлення та оформивши його у вигляді кадру Ethernet, викличе відповідну функцію відправки кадру з допоміжною бібліотекою. Після виклику відповідної функції з такої бібліотеки, проводиться звернення до драйвера відправки кадрів. На нижчому рівні схеми, зображеної на рис. 4, знаходиться мережний адаптер, що приймає всі кадри, які передаються в ЛКМ та використовує при цьому алгоритми, визначені драйвером мережного адаптера.

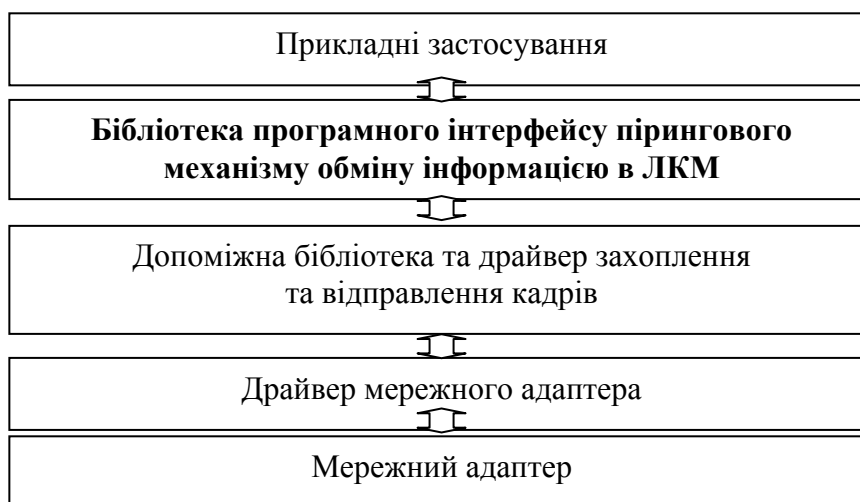


Рисунок 4 – Схема взаємодії бібліотеки організації ВПК в межах мережної операційної системи

Слід зауважити, що на реалізацію бібліотеки та принципи її взаємодії з іншим програмним забезпеченням значним чином впливає вибір операційної системи, для якої виконується реалізація механізму. На сьогодні, майже всі розповсюджені мережні операційні системи¹, в той або інший спосіб дозволяють реалізувати піринговий механізм обміну інформацією шляхом створення відповідної бібліотеки та за принципами, зазначеними на рис. 4. Зокрема, від вибору операційної системи залежить вибір способу взаємодії бібліотеки із драйвером мережного адаптера. Обов'язковими вимогами до будь-якої операційної системи є підтримка протоколів технології Ethernet та наявність відповідних драйверів мережного адаптера.

Розробка допоміжної бібліотеки або вибір вже існуючої є важливим етапом реалізації пірингового механізму. Це пояснюється тим, що показники ефективності реалізації такої бібліотеки можуть значно вплинути на ефективність реалізації всього механізму. Тому існує ряд вимог до допоміжної бібліотеки, використовуючи які можна зробити правильний вибір. Серед основних вимог можна назвати наявність функцій API для відправлення та одержання через мережний Ethernet

¹ Йдеться про операційні системи сімейства Windows (95/98/Me/NT/2000/XP/2003), а також про операційні системи сімейства UNIX (Linux, FreeBSD тощо), які підтримують архітектуру буферів, що управляють мережними пакетами (socket buffers).

адаптер кадрів, що містять пірингові повідомлення. Крім того, така бібліотека повинна дозволяти використовувати попередні фільтри з метою оптимізації процесу оброблення кадрів Ethernet, що надходять у драйвер захоплення. Серед існуючих бібліотек, які можуть бути використані з цією метою, слід підкреслити бібліотеку libpcap [8], що розроблена для більшості операційних систем сімейства UNIX, а також бібліотеки WinPcap [9] та Packet Sniffer SDK [10], які використовуються в операційних системах сімейства Windows. Порівняння характеристик двох останніх бібліотек з точки зору їх використання для реалізації пірингового механізму в ЛКМ наведено в табл. 3.

З табл. 3 випливає, що для реалізації пірингового механізму обміну інформацією в ЛКМ можна використовувати будь-яку з наведених допоміжних бібліотек, однак слід зауважити, що Packet Sniffer SDK порівняно з безкоштовним ПЗ WinPcap має деякі важливі переваги. Зокрема, підтримку стандарту Ethernet 802.3z, що дозволяє використовувати швидкість передавання інформації 1000 Мбіт/с, а також можливість більш гнучкої реалізації за рахунок відсутності необхідності інсталяції додаткового драйвера до операційної системи.

Таблиця 3 – Порівняння бібліотек Packet Sniffer SDK та WinPcap

Назва характеристики	Packet Sniffer SDK	WinPcap
Технологія фільтрації пакетів	BSD Packet Filter FastBPF	BSD Packet Filter
Типи адаптерів, що підтримуються	Ethernet (802.3); Token-Ring; FDDI; WAN (modem)	Ethernet (802.3)
Підтримка стандарту Ethernet 802.3z	Так	Ні
Генерування та відправлення кадрів Ethernet вільної структури	Так	Так
Захоплення кадрів	Так	Так
Можливість використання без інсталяції	Так	Ні
Підтримка операційних систем	Windows NT 4.0; Windows 2000; Windows XP; Windows 2003; Windows Vista; Windows 95; Windows 98; Windows ME, WinXP x64, Win2003 x64.	Windows NT, Windows 2000, Windows XP and Windows Server 2003, Windows 95, Windows 98 Windows ME
Умови використання	Платне ПЗ http://www.microolap.com	Безкоштовне ПЗ http://www.winpcap.org/

В основу реалізації бібліотеки, що реалізує піринговий механізм обміну інформацією в ЛКМ, покладено принцип використання декількох програмних потоків одночасно при здійсненні різних операцій на вузлах ЛКМ. Як відомо, такий підхід дозволяє досягти значного підвищення ефективності реалізації механізму, а також унеможливити втрату пірингових повідомлень, що надходять до мережного адаптера через неможливість їх термінового оброблення. Для досягнення цієї мети бібліотеку слід реалізовувати таким чином, щоб на процес прийому нових запитів та відповідей не впливали процеси, що проводяться при детальному обробленні або відправленні пірингового повідомлення. Одним з можливих рішень цього завдання є створення *головного потоку*, основною функцією якого є фільтрація пірингових повідомлень з усієї сукупності кадрів Ethernet, що надходять від драйвера мережного адаптера. Крім цього, головний потік має проводити попередній аналіз пірингових повідомлень з наступним їх розміщенням у відповідний буфер. Слід також зауважити, що первинна фільтрація кадрів може проводитися вже на рівні драйвера захоплення пакетів шляхом створення відповідних мережних фільтрів (BSD Packet Filter). Це значно зменшує час затримки на оброблення кадрів, що не містять пірингових повідомлень. Структурна схема алгоритму роботи головного потоку пірингового механізму наведена на рис. 5.

Як випливає з рис. 5, після захоплення кадру Ethernet головним потоком пірингового механізму, проводиться аналіз поля «Тип протоколу». У випадку, якщо значення цього поля

відповідає типу «пірингове повідомлення»¹, то отриманий кадр проходить процедуру аналізу, з вилученням полів «Прапорці» та «Ідентифікатор каналу» пірингового повідомлення. Інформація з поля «Прапорці», використовується для визначення типу пірингового повідомлення, а також для отримання розміру поля «Ідентифікатор каналу». Наступним етапом роботи головного потоку є пошук дескриптора віртуального пірингового каналу в таблиці дескрипторів. Пошук здійснюється шляхом послідовного перебору відкритих на вузлі дескрипторів з наступним порівнянням субполя «Ідентифікатор одержувача» та відповідного значення дескриптора. У випадку, якщо пірингове повідомлення є неанонімним, також проводиться порівняння MAC-адрес відправника та одержувача. Якщо дескриптор знайдено, головним потоком пірингового механізму проводиться повний аналіз повідомлення, а вилучена з нього корисна інформація (MAC-адреса відправника, дані користувачів тощо) розміщується у відповідний буфер.

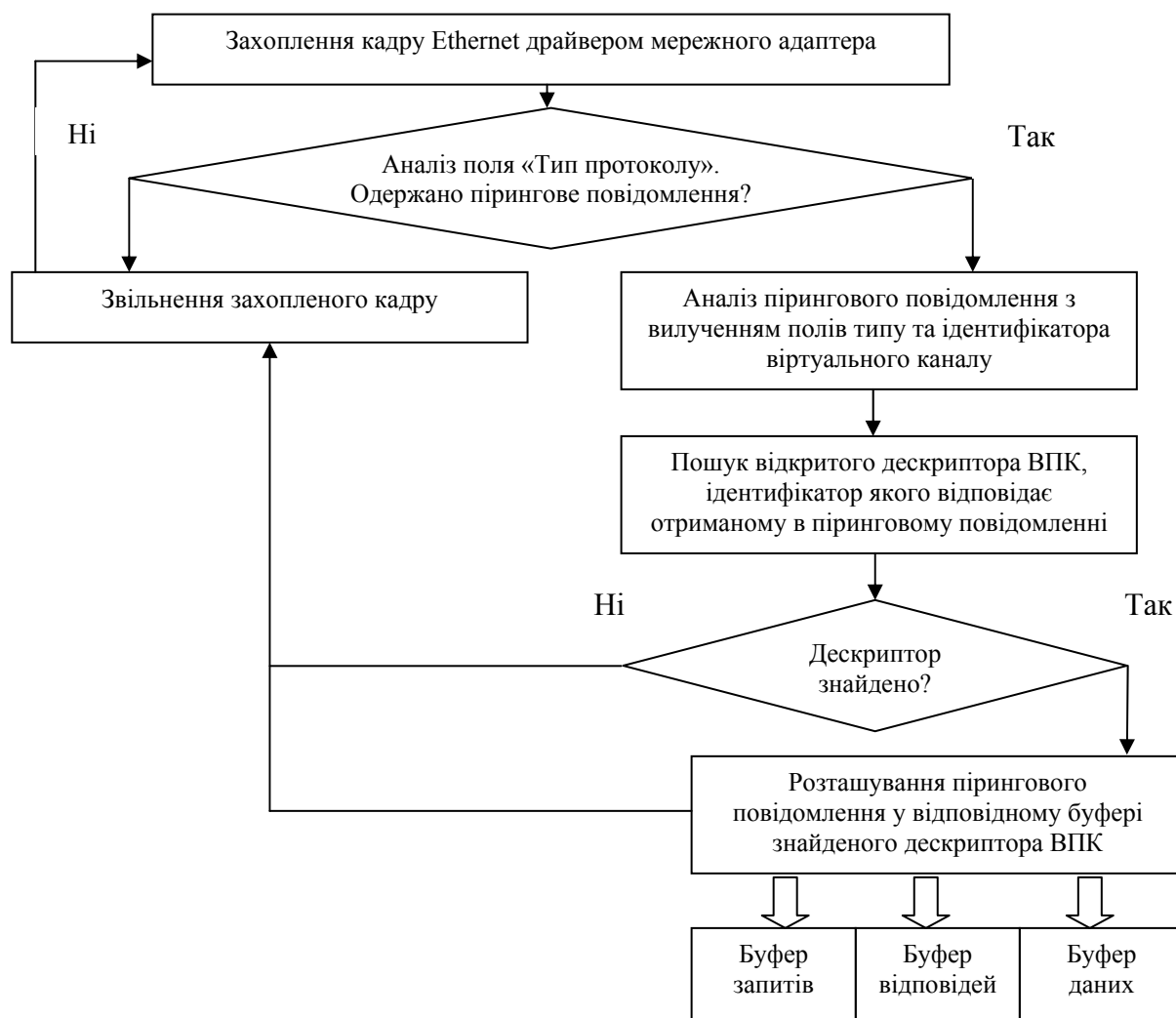


Рисунок 5 – Структурна схема алгоритму роботи головного потоку пірингового механізму

На рис. 5 умовно зображено три буфери: запитів, відповідей та даних. Така реалізація являє собою найпростіший спосіб надання інформації прикладним процесам. Використовуючи ряд функцій зчитування інформації, прикладне ПЗ отримує її з відповідного буфера. В свою чергу, процес відправлення пірингових повідомлень у ЛКМ можна реалізовувати шляхом передавання кадру Ethernet, що містить пірингове повідомлення, безпосередньо драйвера мережного адаптера². Слід зауважити, що така реалізація основних алгоритмів роботи бібліотеки повністю відповідає математичній моделі механізму організації ВПК [2].

¹ В даній реалізації пропонується використовувати шістнадцятирічне значення 0x4343 для фільтрації пірингових повідомлень із всієї сукупності кадрів Ethernet. Перелік нумерації відомих протоколів наведено в [11].

² Це здійснюється за допомогою виклику відповідної функції з допоміжної бібліотеки.

Крім того, важливим етапом реалізації пірингового механізму в ЛКМ є розробка гнучкої системи генерування ідентифікаторів ВПК. При цьому, якщо ідентифікатори, що використовуються в неанонімних ВПК, можуть бути створені за принципом послідовного збільшення, то ідентифікації анонімних ВПК має приділятися більше уваги, зважаючи на можливість виникнення конфліктів між різними вузлами ЛКМ. Запобігти таким конфліктам можна, насамперед, збільшенням розміру ідентифікаторів, а також використанням потужних алгоритмів роботи датчиків випадкових чисел, наприклад, конгурентних генераторів [12]. При цьому як початкові значення для генерування випадкової послідовності може використовуватися сукупність різноманітних унікальних для вузла ЛКМ параметрів, таких як MAC-адреса мережного адаптера, дійсне значення таймера операційної системи тощо. Такий підхід дозволяє запобігти можливим конфліктам при генеруванні однакових ідентифікаторів різними вузлами ЛКМ та унеможливило визначення робочої станції при використанні анонімних ВПК.

Важливою характеристикою програмної бібліотеки є наявність зручного програмного інтерфейсу, для використання всіх її можливостей із зовнішнього програмного забезпечення користувачів. Для взаємодії з бібліотекою, що реалізує функціональність пірингового механізму обміну інформацією в ЛКМ, прикладні процеси можуть використовувати ряд функцій API, які призначені для управління процесом організації ВПК, отриманням та передаванням інформації в ЛКМ тощо. Керівництво по використанню бібліотеки організації ВПК, опис усіх необхідних функцій, а також саму програмну бібліотеку можна одержати за посиланням [13].

На сьогодні розроблено дві версії програмної бібліотеки, що реалізують підтримку пірингового механізму обміну інформацією. Перша версія передбачає використання як допоміжної бібліотеки ПЗ WinPcap, а друга – Packet Sniffer SDK, при цьому обидві версії реалізовано у вигляді динамічної програмної бібліотеки DLL (Dynamic Link Library) для ОС сімейства Windows.

5. Шляхи удосконалення реалізації механізму. Піринговий механізм обміну інформації в ЛКМ потребує постійного удосконалення своєї реалізації з метою збільшення ефективності від його використання. Серед основних можливих *шляхів удосконалення реалізації пірингового механізму* можна виділити наступні:

- розробка адаптованої для використання механізму допоміжної бібліотеки, що включає в себе також і драйвер захоплення пакетів. Створення такої бібліотеки дозволить найбільш оптимально використовувати програмні та апаратні ресурси вузлів ЛКМ для організації пірингової взаємодії між ними;
- реалізація допоміжного програмного забезпечення для маршрутизаторів, що дозволить використовувати піринговий механізм обміну інформацією в розгалужених корпоративних комп'ютерних мережах, що складаються з декількох відокремлених маршрутизаторами ЛКМ;
- використання особливостей пірингового механізму як бази для адаптації під нього вже існуючих технологій передавання інформації в ЛКМ. Зокрема, для зменшення обсягів системної інформації, що передається в ЛКМ, доцільно розробити систему передавання звичайних TCP-сегментів з використанням протоколу організації ВПК замість протоколу IP.

6. Висновки та результати. В результаті проведеної роботи одержано такі результати:

1. Надано специфікацію логічних та процедурних характеристик протоколу організації віртуальних пірингових каналів у ЛКМ. Сукупність таких характеристик сформовано таким чином, щоб забезпечити функціонування пірингового механізму у ЛКМ та збільшити ефективність від його використання. При розробці протоколу враховано вимоги та особливості стандарту Ethernet IEEE 802.3.
2. Доведено, що використання пірингового механізму в ЛКМ дозволяє більш раціонально використовувати ресурс пропускну здатності ЛКМ порівняно з розповсюдженим сімейством протоколів TCP/IP, на яких сьогодні базується більшість прикладних протоколів обміну інформацією в ЛКМ (CIFS, FTP тощо).
3. Розглянуто основні засади програмної реалізації та надано порівняльну характеристику розповсюджених мережних програмних бібліотек, що можуть бути використані як допоміжні бібліотеки при реалізації пірингового механізму в ЛКМ.

Розроблений протокол та його програмна реалізація (бібліотека організації ВПК) може бути використано для створення різноманітних програмних продуктів. Наприклад, завдяки зменшенню обсягів передавання службової інформації, реалізація механізму може бути використана для створення систем, що передбачають обмін інформацією значних обсягів, таких як системи резервного копіювання даних через ЛКМ. При обсягах передавання в десятки гігабайт це дозволить значно заощадити час на передавання інформації та зменшити навантаження на ЛКМ.

Література

1. *Калтур В.А., Нечипорук О.Л.* Механизм создания пиринговых каналов в Ethernet сетях //Зв'язок. – 2005. - №4. – С. 28 – 33.
2. *Калтур 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. IEEE 802.3. Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications- <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3-2002.pdf> (14.12.06).
4. *Воробийченко П.П., Нечипорук О.Л., Струкало М.И.* Принципы организации сетей с коммутацией пакетов: Учебное пособие. – Одесса: УГАС им. А.С. Попова, 2000. – 101 с.; ил.
5. *Олифер Н.А., Олифер В.Г.* Средства анализа и оптимизации локальных сетей. – <http://www.dlink.ru/technology/olifer.php> (14.12.06).
6. *Postel J., Reynolds J.* Request for Comments: 959. FILE TRANSFER PROTOCOL (FTP) – <http://www.w3.org/Protocols/rfc959/> (14.12.06).
7. *Network Working Group.* Request for Comments: 1002. PROTOCOL STANDARD FOR A NetBIOS SERVICE ON A TCP/UDP TRANSPORT: DETAILED SPECIFICATIONS – <http://ubiqx.org/cifs/rfc-draft/rfc1002.txt> (14.12.06).
8. *Tim Carstens.* Programming with pcap. – <http://www.tcpdump.org/pcap.htm> (14.12.06).
9. *Degioanni L.* WinPcap Documentation 3.0. – <http://winpcap.polito.it/docs/man/html/index.html> (14.12.06).
10. Packet Sniffer SDK. – <http://www.microolap.com/products/network/pssdk/> (14.12.06).
11. *Reynolds J., Postel J.* Request for Comments: 1700. ASSIGNED NUMBERS – <http://www.ietf.org/rfc/rfc1700.txt> (14.12.06).
12. *Крылов В.В., Самохвалова С.С.* Теория телетрафика и ее приложения. – С.Пб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.:ил.
13. *Калтур В.А.* Бібліотека організації ВПК – http://www.onat.edu.ua/?set_lang=ua&pg=p2plib (14.12.06).