

## **КРОС-РІВНЕВА ОПТИМІЗАЦІЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ПРОТОКОЛУ В БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ**

*Принцип нашарування (layering) вже давно визначений, як спосіб функціональної сумісності та поліпшення проектування телекомунікаційних протоколів, де кожен шар (layer) надає функціональні послуги суміжним верхнім шарам і вимагає від сусідніх нижніх шарів функціональної підтримки. Існує потреба у визначенні підходів, здатних аналізувати та надавати кількісні керівні принципи для розробки крос-рівневих рішень, і, що більш важливо, мати змогу в кожному з випадків вневнутися, чи представляє крос-рівневість ефективне рішення, чи ні. В цій статті розглядається детальний огляд вже впроваджених і майбутніх напрямків використання формальних методів моделювання крос-рівневої оптимізації безпроводних мереж. Стаття починається з опису принципів шарування стеку протоколів (ISO/OSI і TCP/IP), а також крос-рівневої парадигми. Огляд існуючих та перспективних архітектур безпроводних мереж представлений поряд з аналізом потенційних обмежень, що впливають з підходу нашарування і докладним описом можливих рішень щодо оптимізації крос-рівневого проектування.*

*Ключові слова: шарування, крос-рівневість, оптимізація, безпроводні мережі.*

**Вступ.** В наш час існує потреба у визначенні підходів, здатних проаналізувати та надати кількісні керівні принципи для розробки крос-рівневих рішень. Вважається важливим визначення того, чи є ефективним запропоноване крос-рівневе рішення для кожного конкретного з випадків, чи ні. Доцільним є детальний огляд вже впроваджених і запланованих на майбутнє напрямків використання формальних методів моделювання крос-рівневої оптимізації безпроводних мереж.

В сучасних умовах проектування мережових архітектур здійснюється на основі принципів нашарування, які є ефективними інструментами для створення взаємодіючих систем, їх швидкого розгортання та ефективної реалізації. Модель ISO/OSI була розроблена для підтримки стандартизації мережових архітектур з використанням багаторівневої моделі. Основні принципи нашарування такі:

- кожен шар (рівень) виконує підмножину необхідних функцій зв'язку;
- кожен рівень спирається на наступний нижчий рівень для виконання більш примітивних функцій;
- кожен рівень надає функціональні послуги наступним вищим рівням;
- зміни на одному рівні не потребують змін на інших рівнях.

Функціональні послуги між сусідніми рівнями виражаються в термінах примітивів і параметрів:

- примітиви, які визначають функцію, яка буде виконуватися (запит, індикація, відповідь, підтвердження);
- параметри для передачі даних і керуючої інформації.

Протокол в даному рівні реалізується за допомогою програмного забезпечення, яке взаємодіє з іншими мережевими системами відповідно до протоколу PDU. Основна перевага крос-рівневої парадигми – це модульність при проектуванні протоколу, яка забезпечує сумісність і покращує саме проектування комунікаційних протоколів. Крім того, протокол, в межах даного рівня, описаний в функціональних термінах, які надає рівень, в той час, як деталі реалізації та внутрішні параметри приховані від решти рівнів.

В цілому, визначається два підходи крос-рівневої:

- слабка крос-рівневість: дозволяє взаємодіяти між суб'єктами в різних рівнях стеку протоколу. Таким чином, вона являє собою узагальнення поняття суміжності взаємодії концепції парадигми нашарування та несуміжних взаємодій.

- міцна крос-рівневість: дозволяє спільне проектування алгоритмів, реалізованих на будь-якому рівні стеку протоколу. У цьому випадку, індивідуальні особливості, пов'язані з

різними верствами можуть бути втрачені через крос-рівневу оптимізацію. Потенційно, міцна крос-рівнева конструкція може забезпечити більш високу продуктивність за рахунок звуження можливих сценаріїв розгортання та підвищення вартості та складності.

**Постановка проблеми.** Зараз більшість безпроводних технологій широко використовують технологію останньої милі (канал, що сполучає кінцеве (клієнтське) обладнання з вузлом доступу провайдера (оператора зв'язку)). Характеристики посилення останньої милі часто визначають ефективність роботи всієї мережі, представляють фактичну потужність смуги пропускання на всьому шляху – від джерела відправки даних до адресата, та впливають на характеристики моделей трафіку, що проходить через всю мережу. Зокрема, безпроводні мережі страждають від декількох обмежень продуктивності, в деяких випадках, пов'язаних з надмірним навантаженням, що впливає з крос-рівневої парадигми, яка використовується для проектування TCP/IP протоколу. TCP/IP протокол спочатку був розроблений для проводних з'єднань, що характеризуються високою пропускну здатністю, низькою затримкою, низькою ймовірністю втрати пакетів, високою надійністю, статичною маршрутизацією, працює гірше та нестабільніше в безпроводній мережі. Основними причинами низької продуктивності безпроводних технологій є саме фізичне середовище і спроби досягти мобільності, продуктивності передачі даних, енергоефективність, якість обслуговування.

Крос-рівневий підхід до системного проектування відбувається за допомогою взаємодії між протоколами, що працюють на різних рівнях стеку протоколів для того, щоб забезпечити покращення продуктивності. Тому основне завдання полягає у досягненні бездоганності передачі даних по безпроводній мережі та кількісному моделюванні.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Наявність великої різноманітності рішень оптимізації, які вимагають обміну інформацією між двома або більше рівнями стеку протоколів піднімає важливе питання про реалізацію різних рішень крос-рівневості всередині TCP/IP протоколу, їх співіснування та взаємодія, вимагають наявності загальної крос-рівневої моделі сигналізації. Ця модель визначає принципи здійснення суб'єктів стеку протоколів, крос-рівневу функціональність і забезпечує стандартизований спосіб для полегшення введення крос-рівневого механізму всередині стеку протоколів.

Прийнято вважати два методи для інкапсуляції інформації сигналізації та її розповсюдження по стеку протоколів з одного рівня в інший:

- заголовки пакетів;
- структура пакетів.

Заголовки пакетів можуть бути використанні в якості носіїв міжрівневих повідомлень. У цьому випадку інформація сигналізації включена в додаткову частину заголовка IPv6, слідує по шляху обробки пакетів і може бути доступна кожному наступному рівню. Одним з головних недоліків заголовків пакетів є обмеження передачі сигналів в напрямку потоку пакетів, що не підходить до крос-рівневих схем, які вимагають негайної відповіді з рівнів, розташованих на протилежному напрямку. Ще один недолік методу заголовків пакетів полягає в накладних витратах для обробки відповідного стеку протоколів, які можуть бути зменшенні за допомогою методу структури пакетів.

В методі структури пакетів інформація вставляється в певну частину структури пакета. Кожний раз, коли пакет створюється в стеку протоколів або успішно отримався від мережевого інтерфейсу, виокремлюється відповідна структура пакету. Ця структура включає в себе всю інформацію про пакети, а також внутрішню інформацію стеку протоколів, таку як мережевий ідентифікатор інтерфейсу, модель сокета, параметрів конфігурації.

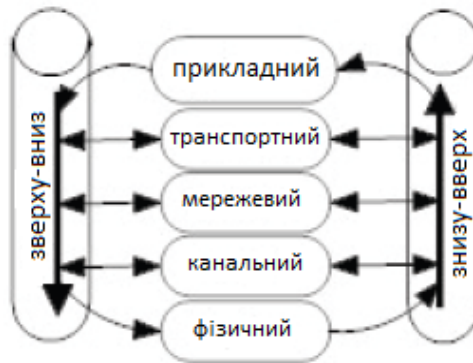


Рис. 1. Канальна міжрівнева передача сигналів

Отже, інформація крос-рівневої сигналізації, додана до структури пакетів, повністю відповідає способу передачі сигналів заголовку пакета, але зі зменшеною обробкою. Крім того, застосування структур пакетів не порушує існуючих функціональних можливостей окремих верств стеку протоколів. У випадку, якщо крос-рівнева сигналізація не реалізується в певному рівні, цей рівень просто не заповнить відповідні частини структури пакету та не отримає доступ до крос-рівневих параметрів, що надаються іншим рівням. Ще одна перевага методу структури пакетів є необов'язковість стандартизації, оскільки здійснення можуть варіюватися між різними рішеннями.

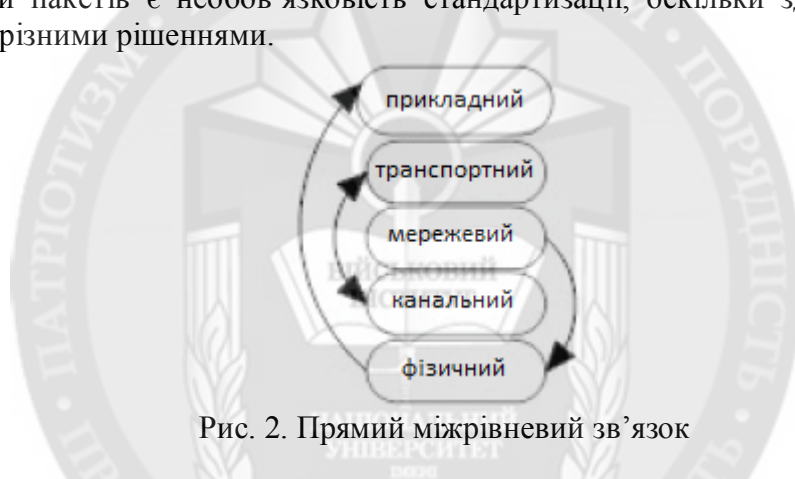


Рис. 2. Прямий міжрівневий зв'язок

Одним з основних протоколів сигналізації є Internet Control Message Protocol (ICMP). Серед розглянутих методів, заголовки пакетів і повідомлення ICMP можна вважати хорошими кандидатами на вирішення проблем при передачі даних в безпроводній мережі. Їх переваги стають більш значущими для мережі спілкування, яка широко використовується сьогодні. Наприклад, спосіб інкапсуляції даних крос-рівневої сигналізації до додаткових полів заголовку протоколу майже не виробляє ніякої додаткової службової інформації і зберігає асоціацію інформації сигналізації з конкретним пакетом.



Рис. 3. Центральна крос-рівнева площина

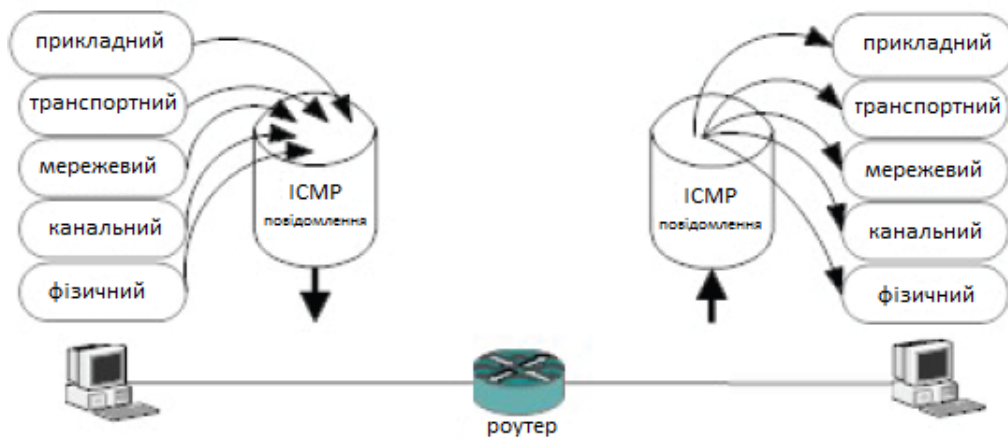


Рис. 4. Мережева крос-рівнева передача сигналів

**Висновки.** Крос-рівневність являє собою перспективну парадигму, що забезпечує високу продуктивність, підтримку мобільності, високу ефективність використання ресурсів, якість обслуговування в безпроводних мережах. Розгортання парадигми не є абсолютно новим проривом у рамках безпроводного зв'язку, але вона вже успішно використовується в конкретних системах зв'язку, таких, як 3G. Деякі цікаві підходи доступні, щоб подолати розрив між теорією і практикою, спрямованні на визначення найкращих методів для підтримки крос-рівневих рішень. Тим не менш, ще не існує бездоганих методів для рішення ефективності парадигми крос-рівневості, і, отже, потребує подальшої уніфікації.

Систематично отримуючи відповідні показники продуктивності крос-рівневості та співвідносячи їх з існуючими безпроводними технологіями, описуючи структуру для кількісної оцінки чутливості та оптимізації метрик продуктивності по відношенню до розробки та експлуатаційних параметрів між рівнями, було виявлено важливі керівні принципи щодо реалізації крос-рівневих схем шляхом використання архітектури сигналізації.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Робоча група для WLAN стандартів. Стандарт IEEE 802.11 безпроводних локальних мереж. <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
2. Н. Моллер, К. Йоханссон, Х. Хйалмарссон. Створення затримки повторної передачі в безпроводних зв'язках дружніх з TCP. Праці конференції IEEE по рішенням та управлінням, том 5, ст. 5134-5139, Багами, грудень 2004.
3. Йохан Гарсія, Стефан Альфредсон і Анна Брунстрем, "Вплив втрачених даних в емульованій мережі на основі протоколу оцінки", Дослідження міжнародної конференції по паралельних та розподілених обчисленнях та мережах, Іннсбрук, Австрія, лютий 2006.

**Рецензент:** д.т.н., проф. Мясіщев О.А., професор кафедри комп'ютерних систем та мереж, Хмельницький національний університет

к.т.н., доц. Красильников С.Р., Левчук А.Р.

### КРОСС-УРОВНЕВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОТОКОЛА В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

*Принцип наслоения (layering) уже давно определен, как способ функциональной совместимости и улучшения проектирования телекоммуникационных протоколов, где каждый слой (layer) предоставляет функциональные услуги смежным верхним слоям и требует от соседних нижних слоев функциональной поддержки. Существует потребность в определении подходов, способных анализировать и предоставлять количественные руководящие принципы для разработки кросс-уровневых решений, и, что более важно, иметь возможность в каждом из случаев убедиться, представляет кросс-уровневость эффективное решение, или нет. В этой*

*статье рассматривается подробный обзор уже внедренных и будущих направлений использования формальных методов моделирования кросс-уровневой оптимизации беспроводных сетей. Статья начинается с описания принципов слоики стека протоколов (ISO/OSI и TCP/IP), а также кросс-уровневой парадигмы. Обзор существующих и перспективных архитектур беспроводных сетей представлены наряду с анализом потенциальных ограничений, вытекающих из подхода наслонения и подробным описанием возможных решений по оптимизации кросс-уровневого проектирования.*

*Ключевые слова: слоение, кросс-уровневость, оптимизация, беспроводные сети.*

Ph.D. Krasylnykov S.R., Levchuk A.R.

## A CROSS-LAYER PERSPECTIVE ON TRANSPORT PROTOCOL PERFORMANCE IN WIRELESS NETWORKS

*The layering principle has been long identified as a way to increase the interoperability and to improve the design of telecommunication protocols, where each layer offers services to adjacent upper layers and requires functionalities from adjacent lower ones. A clear need exists for identifying approaches able to analyze and provide quantitative guidelines for the design of cross-layer solutions, and, more importantly, to decide, in each case, whether cross-layering represents an effective solution or not. This chapter provides a detailed survey of the state-of-the-art and future directions in the usage of formal methods for cross-layer modeling and optimization of wireless networks. The text starts by detailing the principles of layered (ISO/OSI and TCP/IP) protocol stacks as well as the cross-layer paradigm. An overview of the architectures of existing and perspective wireless networks is presented along with an analysis of the potential limitations deriving from the layering approach and detailed description of possible optimization solutions enabled by cross-layer design.*

*Keywords: layering, cross-layering, optimization, wireless.*