

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

У статті представлено результати експериментальних досліджень TCP протоколу в безпроводних мережах. Представлені результати випробувань на продуктивність транспортного рівня та проаналізовані деякі аспекти каналного рівня. Досліджені аспекти на виявлення помилок при передачі інформації, планування каналу, затримки, адаптивної модуляції перемикання рівнів, що впливають на продуктивність протоколу TCP.

Доповнено аналіз крос-рівневої взаємодії між рівнями модуляції, різні стратегії планування, передбачення помилок при передачі та результуючі кадри в TCP.

Показані аспекти, які показують, що постійне високе ARQ з швидкими повторними посиланнями позитивно взаємодіють з таймером повторної передачі TCP навіть для коротких затримок відключення.

Ключові слова: TCP, крос-рівнева взаємодія, модуляція.

Вступ. Зв'язок завжди був важливою частиною розвитку людства та завжди залишатиметься і в майбутньому. З виникненням комп'ютерів та комп'ютерних пристроїв і швидким їх розвитком, з'явилася необхідність у зв'язку, як засобом обміну інформацією між людиною та комп'ютером і між комп'ютерами в цілому. Історія комп'ютерів та комунікації між ними досить коротка в порівнянні з іншими засобами зв'язку, але дуже захоплююча з великою кількістю розробок в галуззі комунікації. Щоб бути в змозі спілкуватися зі швидкістю світла, відправляти текстові повідомлення, аудіо та відео по всій земній кулі – це великий подвиг людства. В статті розглядається Інтернет-зв'язок, який здійснюється по безпроводних мережах. У порівнянні з провідними мережами, безпроводні мережі відрізняються за декількома фундаментальними аспектами. Ці аспекти впливають на Інтернет-комунікації. Щоб мати уявлення про пов'язані з цим проблеми, в цій статті представлений огляд науково-дослідної роботи, запропоновані шляхи вирішення проблемних аспектів, обрані методи дослідження та власні внески для покращення обміну інформацією в безпроводних мережах.

Постановка проблеми. Загальною метою всього дослідження є покращення продуктивності Інтернет доступу по безпроводних мережах на транспортному та каналному рівнях. Це досить широке питання, тому було потрібно обмежити область досліджень. Зокрема, Інтернет доступ по безпроводних мережах обмежений на каналному рівні між базовою станцією та терміналом. Безпроводна мережа передбачає мобільність, в тому сенсі, що термінал може фізично переміщатися в зоні покриття базової станції. Питання, пов'язані з передачею, не розглядаються в даній статті.

Інтернет відноситься до TCP/IP та UDP/IP додатків. Розглядаються три спеціальні дослідницькі питання:

1. Які причини виникнення проблем в безпроводних мережах в порівнянні з провідними мережами та які зміни транспортного протоколу були запропоновані для правового захисту?

Щоб зрозуміти основні проблеми безпроводних мереж в порівнянні з провідними, розглядаються основи безпроводної передачі, пов'язані з впливом на продуктивність на більш високих рівнях. Розроблено багато пропозицій та вимірювань, для оптимізації продуктивності транспортного протоколу в безпроводних мережах. Більшість з них, які пов'язані з науково-дослідною роботою, узагальнені та класифіковані, з метою більш глибокого розуміння питань, пов'язаних з можливими існуючими рішеннями.

2. Яку продуктивність можна очікувати від більш гнучкого транспортного обслуговування, де надійність може бути обміняна на продуктивність?

Розглянуті пропозиції зберігають семантику повної надійності. Ставиться питання про надійність відносно бітових помилок по відношенню до пропускної спроможності TCP. Модифікація приймача TCP ("TCP-L") розроблена та реалізована для забезпечення доставки сегментів TCP з бітовими помилками до застосування. Модифікація експериментально оцінюється в мережевій системі відладки.

3. Як нижні рівні та транспортний рівень взаємодіють в системі безпроводних мереж в залежності від конфігурації каналного рівня та який вплив на продуктивність різних параметрів каналного рівня?

Окрім оптимізацій на транспортному рівні, потрібно дослідити крос-рівневу взаємодію між транспортним рівнем та каналним/фізичним рівнями. Транспортний рівень використовує кілька показників, таких як втрата пакетів та час подвійного обороту, щоб вирішити, коли передавати сегменти та передавати їх повторно. При передачі по безпроводній мережі, втрати пакетів та час подвійного обороту можуть мати різні причини в порівнянні з провідною мережею. Такі аспекти, як планування посилення кадрів, прогнозування каналу, адаптивної модуляції та повторне посилення кадрів в безпроводній мережі, досліджені та пов'язані з результуючою продуктивністю на транспортному рівні.

Виклад основного матеріалу досліджень. Система оцінки безпроводної мережі може використовувати різну ступінь надійності зв'язку, налаштувавши максимальну кількість дозволених повторних передач кадрів. Повторні посилення дуже швидкі (2мс, що в тричі швидше передачі кадру), що сприяє низькій варіації затримки. Досліджується продуктивність регулярного TCP над такими посиленнями.

Розглядається випадок, в якому експеримент складається з користувача мобільного пристрою, який завантажує контент з сервера, використовуючи TCP. Користувач має безпроводне підключення до базової станції, яка, в свою чергу, з'єднана з іншою частиною мережі Інтернет, яка з'єднана з сервером. Цей приклад зображений на рис. 1. Сценарій виконується з трьома комп'ютерами: один відправник, другий – шлюз, третій – приймач. Шлюз використовує програмне забезпечення WIPEMU (Wireless IP EMUlator), а усі вузли збирають маршрут пакету для подальшого аналізу.

Система оцінки безпроводної мережі припускає використання FDD (frequency division duplex) та базових станцій з секторними антенами, а користувацький пристрій лише з однією антеною. Доступна пропускна смуга низхідних ліній зв'язку в межах сектора, як передбачається, буде відкрита вчасно. Кожен слот тривалістю T розбивається на елементи кодованого сигналу частотно-часової смуги пропускання Δf_b . Припустимо, що $T = 0.677мс$ і $\Delta f_b = 200кГц$, що підходить для стаціонарних користувачів та користувачів, які рухаються, в міських чи приміських зонах. Кожен елемент кодованого сигналу $0.677мс \times 200кГц$ несе 120 символів. З цих 120 символів, 12 виділяється на навчання та управління низхідними лініями зв'язку, інші 108 – символи корисного навантаження.

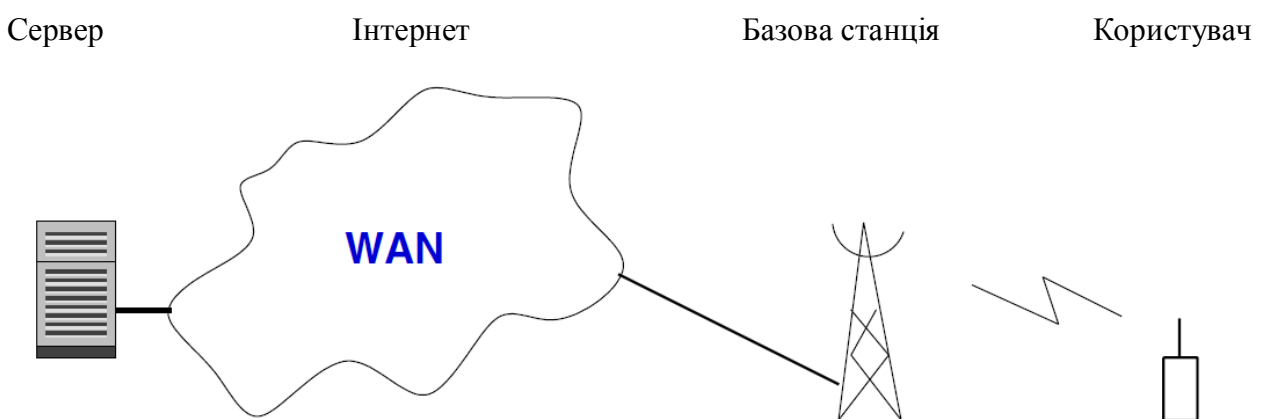


Рис. 1. Логічна схема експерименту

Кожен термінал передбачає SINR (signal to interference and noise ratio) для всіх елементів кодованого сигналу, що дорівнює часу затримки передачі контролю зі зворотнім зв'язком. Для символів корисного навантаження адаптивна система модуляції використовує вісім некодованих форматів модуляції: BPSK, 4-QAM, cross-8-QAM, 16-QAM, cross-32-QAM, 64 QAM, cross-128 QAM та 256 QAM.

Низхідні лінії зв'язку безпроводної передачі даних емулюються WIPEMU (Wireless IP EMUlator) наступним чином: IP-пакети захоплюються на шлюзі і поміщаються в чергу очікування передачі. Передача кадрів, тривалістю 0.667мс, здійснюється з частотою 1500Гц. Спершу дослідили канал передбачення, щоб визначити рівень модуляції. Відповідна кількість бітів потім поміщається в кадр і передається. Під час передачі ймовірність символної помилки розраховується залежно від рівня модуляції та непередбаченого "реального" каналу. Кадр з щонайменше однією символною помилкою помічається, як помилковий, і повторно пересилається після регульованої затримки. Використовується затримка повторної передачі – 2мс, або 3 кадри. Коли кадр повторно передається, може бути, що каналні умови змінилися, і потрібна нова модуляція. Якщо використовується нижня модуляція, то кадр розділений на дві частини. Якщо використовується вища модуляція, то використовується оригінальна модуляція. Цим забезпечується краща стійкість до помилок, але втрачає деяку ефективність. Більш високу пропускну здатність можна отримати шляхом виділення більшого обсягу даних в кадрі, але це потребуватиме більше службової інформації в межах кадру, щоб мати можливість відокремити блоки даних, оскільки вони більше не будуть послідовними.

Після того, як всі кадри були успішно передані, то IP-пакет звільняється від шлюзу до місця призначення.

Системні параметри, які використовуються в системі оцінки безпроводної мережі, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Системні параметри оцінки безпроводної мережі

Провідна мережа	
Затримка провідної мережі	80мс (RTT) при фіксованій
Розмір черги мережі	50 пакетів
Безпроводні низхідні лінії зв'язку	
Затримка передачі кадру	0.677мс
Модель каналу	12-tap Jakes urban fading model @ 75км/год, 16дБ SINR + AR(1) з дисперсією 4дБ і полюсом на 0.74
Модуляція	Адаптивна модуляція (1-8біт/сим) з регульованим перемиканням для ідеального передбачення помилок NMSE 0.1
Розмір кадру	108 символів
Кодування	Некодований M-QAM
Планування	Статичне або найкращий розподіл каналів
Посилання ARQ	Безперервне
Безпроводний канал зв'язку	
Модель каналу	Накладені обмеження пропускну здатності та затримки
Втрата пакетів	0% (передбачається низький рівень модуляції)
Пропускна здатність	20Кбіт/с
Затримка	2мс

Параметри транспортного рівня	
Протокол	TCP (Linux 2.6.8)
Передані дані	3Мб
Налаштування TCP	Стандартні
MTU(maximum transmission unit)	Стандартний, 1500 байт
TCP кеш	Очищений перед новим з'єднанням

Для транспортного рівня пропускна здатність досліджувалася відносно різних помилок каналу передбачення, каналу планування та затримкою в постійній мережі. Для каналного рівня досліджувалася кількість повторних передач та рівень модуляції в співвідношенні з транспортним рівнем.

На рис. 2 зображено пропуску здатність TCP залежно від різного ступеня передбачення помилок.

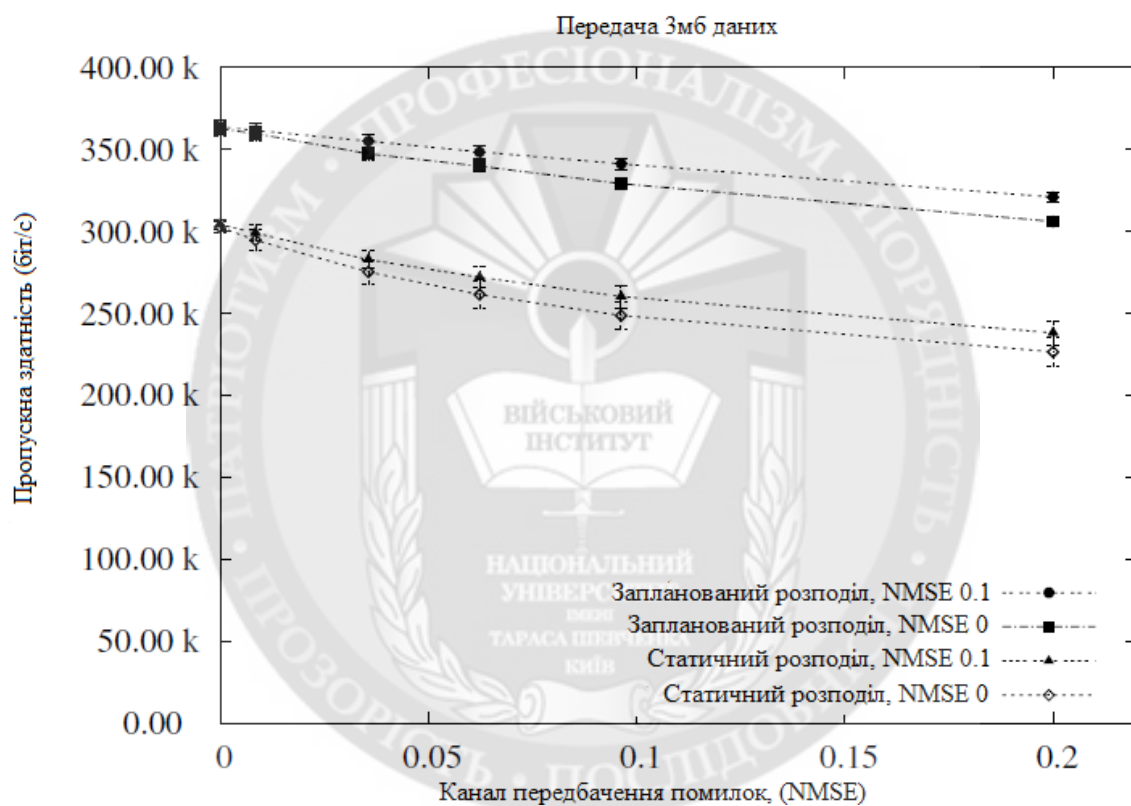


Рис. 2. Пропускна здатність TCP залежно від різного ступеня передбачення помилок для різних стратегій планування

Щоб показати причину для збільшення повторних посилань кадрів, було досліджено, як використовувані рівні модуляції варіюються залежно від оптимізації рівнів перемикавання для планових і статичних схем розподілу. На рисунку 3 та 4 зображена нормалізована кількість посилань кадрів, які використовують певний рівень модуляції.

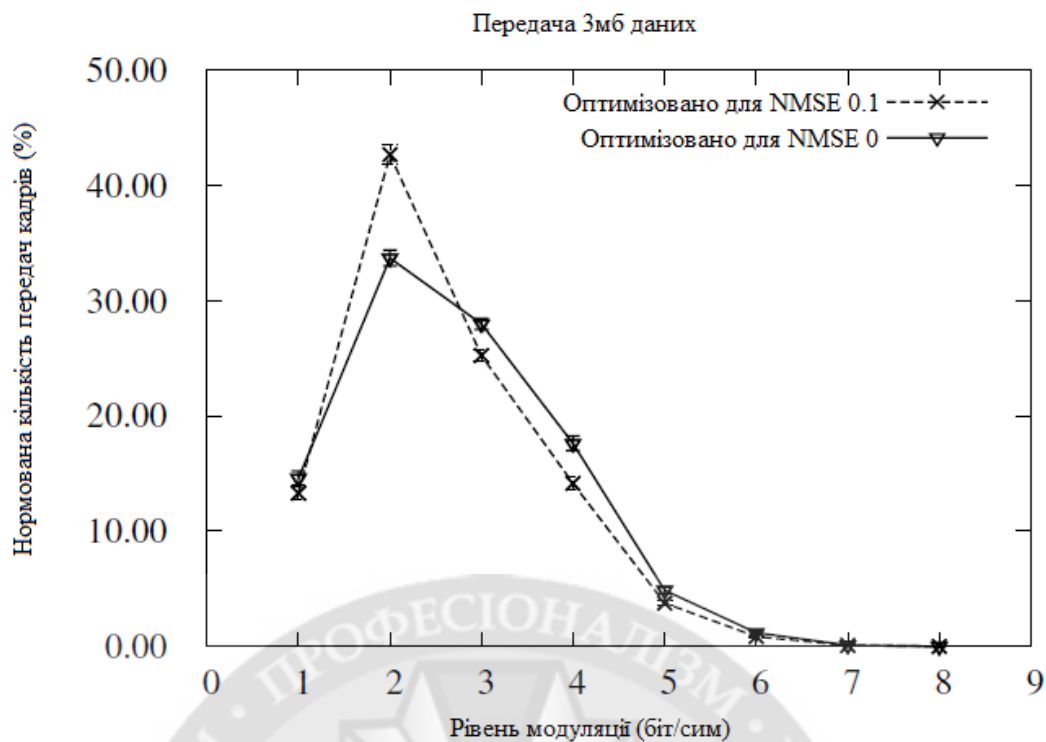


Рис. 3. Використання рівня модуляції для планового розподілу

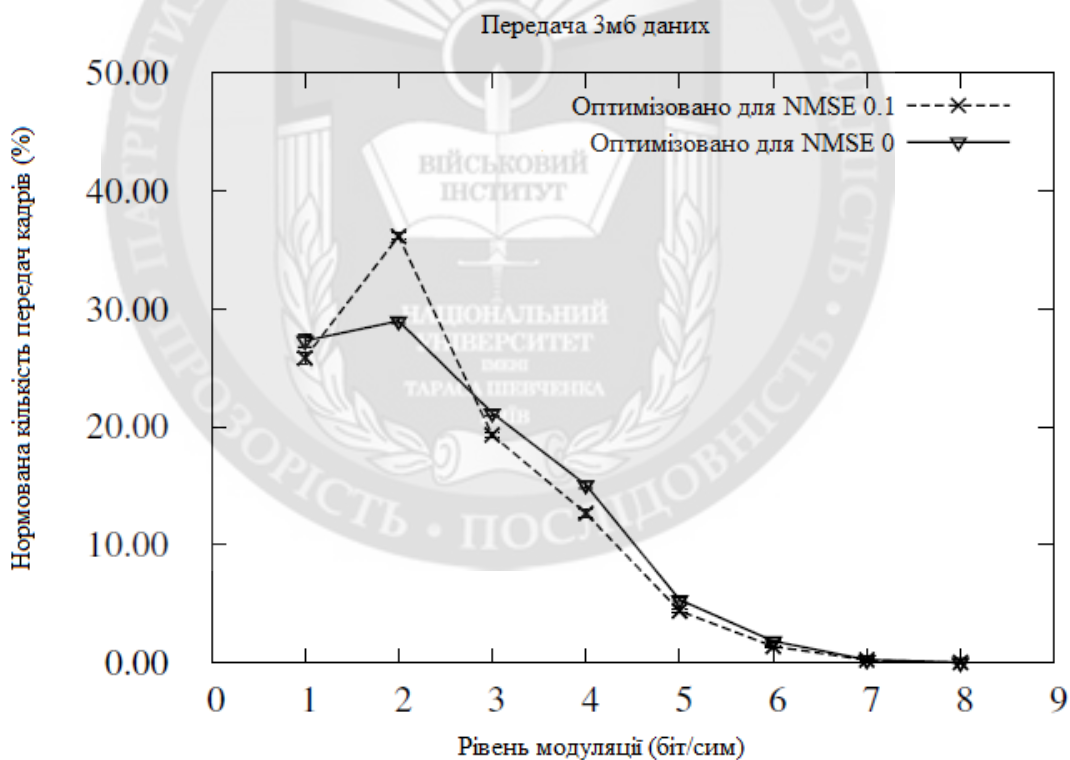


Рис. 4. Використання рівня модуляції для статичного розподілу

Висновки. У статті представлені результати продуктивності TCP в системі оцінки безпроводної мережі з крос-рівневою оптимізацією. Експерименти були виконані зі змінною кількістю каналів передбачення помилок, спланований статичний розподіл каналів та дві різні оптимізації рівнів перемикавання адаптивної модуляції. Отримані результати показують, як модуляція на каналному рівні сприяють посиленню повторної передачі кадрів, які призводять до підвищення продуктивності TCP. Швидкі повторні посилання не показують негативний вплив на таймер ретрансляції TCP навіть для коротких затримок в мережі

фіксованого зв'язку. Крім того, отримані результати показують позитивний вплив запланованого розподілу каналів і оптимізації рівнів перемикання адаптивної модуляції.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Стефан Альфредсон, Анна Брунстрем. TCP-L: Дозвіл бітових помилок в безпроводних мережах // Праці саміту IST Mobile & Wireless Communications (Авейро, Португалія), червень 2003.
2. Анніка Веннстрем, Стефан Альфредсон, Анна Брунстрем. TCP в безпроводних мережах // Технічний звіт, дослідження Карлстадського університету 2004: 21, (Карлстад, Швеція), травень 2004.
3. Йохан Гарсія, Стефан Альфредсон, 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. Ленков С.В., начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н., доц. Красильников С.Р., д.т.н. Кравчук С.О., Левчук А.Р.
**КРОСС-УРОВНЕВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ТРАНСПОРТНОГО ПРОТОКОЛА В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ**

В статье представлены результаты экспериментальных исследований TCP протокола в беспроводных сетях. Представлены результаты испытаний на производительность транспортного уровня и проанализированы некоторые аспекты канального уровня. Исследованы аспекты на выявление ошибок при передаче информации, планирования канала, задержки, адаптивной модуляции переключения уровней, влияющие на производительность протокола TCP.

Дополнен анализ кросс-уровневого взаимодействия между уровнями модуляции, различные стратегии планирования, предсказания ошибок при передаче и результирующие кадры в TCP.

Показаны аспекты, которые показывают, что постоянное высокое ARQ с быстрыми повторными ссылками положительно взаимодействуют с таймером повторной передачи TCP даже для коротких задержек отключения.

Ключевые слова: TCP, кросс-уровневое взаимодействие, модуляция.

НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Ph.D. Krasylnykov S.R., Prof. Kravchuk S.O., Levchuk A.R.
**A CROSS-LAYER PERSPECTIVE ON TRANSPORT PROTOCOL PERFORMANCE IN
WIRELESS NETWORKS**

This paper presents results from an experimental study of TCP in a wireless. Test results on transport layer performance are presented and analyzed in relation to several link layer aspects. The aspects investigated are the impact of channel prediction errors, channel scheduling, delay, and adaptive modulation switch level, on TCP performance. The paper contributes a cross-layer analysis of the interaction between symbol modulation levels, different scheduling strategies, channel prediction errors and the resulting frame retransmissions effect on TCP. The paper also shows that highly persistent ARQ with fast link retransmissions do not interact negatively with the TCP retransmission timer even for short trip delays.

Keywords: TCP, cross-layer interaction, modulation.