



ПРОПУСКНА СПРОМОЖНІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО РІВНЯ БЕЗПРОВІДНИХ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ IEEE 802.11g ЩО ФУНКЦІОНУЮТЬ В ІНФРАСТРУКТУРНОМУ РЕЖИМІ

Віктор Чернега

Севастопольський національний технічний університет,
вул. Університетська, 33, м. Севастополь 99053 Україна
v_chernega@rambler.ru

Резюме: Детально проаналізована процедура обміну кадрами між клієнтськими комп'ютерами і точкою доступу безпроводної локальної комп'ютерної мережі стандарту 802.11g і отримані вирази, що дозволяють розрахувати потенційну пропускну спроможність такої мережі.

Ключові слова: безпроводні локальні мережі 802.11g, інфраструктурний режим, пропускну спроможність, транспортний рівень.

PERFORMANCE OF A TRANSPORT LEVEL OF WLANS IEEE 802.11g FUNCTIONING IN INFRASTRUCTURAL MODE

Victor Chernega

Sevastopol National Technical University
33, University Str., Sevastopol 99053, Ukraine
v_chernega@rambler.ru

Abstract: The procedure of frames exchange between client computers and a wireless access point based on 802.11g standard is analyzed in details. We have obtained the expressions which allow calculate the potential bandwidth of such wireless network.

Keywords: WLANS of 802.11g, TCP, UDP, infrastructural mode, carrying capacity.

ВСТУП

Проблемам теоретичного розрахунку і виміру реальної пропускну спроможності у безпроводних локальних комп'ютерних мережах присвячено ряд публікацій. Проте в цих роботах визначається пропускну спроможність лише на каналному рівні для локальних мереж IEEE 802.11g [1], що функціонують у незалежному (Ad Hoc) режимі, або на транспортному рівні лише для мереж стандарту IEEE 801.11b [2], формати кадрів у яких істотно відрізняються від мереж, що виконані за стандартом IEEE 802.11g. Крім того, ні у базовому стандарті IEEE 802.11, ні в літературі не розглянуті часові діаграми обміну кадрами між клієнтськими станціями і точкою доступу при організації сеансів зв'язку в

мережі на транспортному рівні. Більшість авторів публікацій з даної проблеми обмежуються ілюстрацією обміну лише між клієнтськими станціями в Ad Hoc-сетях, а деякі навіть помилково трактують передачу кадрів через точку доступу [3, рис. 2.12].

Метою даної роботи є детальне розкриття процедури обміну кадрами між клієнтськими комп'ютерами і базовою станцією у безпроводних локальних мережах WiFi при передачі даних по протоколах транспортного рівня TCP і UDP для отримання виразів, що дозволяють оцінити максимально можливу швидкість передачі корисної інформації між користувачами мережі IEEE 802.11g як у базовому режимі, так і наявності прихованих станцій за відсутності колізій і перешкод у каналі зв'язку. При цьому

передбачається, що мережа працює в інфраструктурному режимі, при якому обмін кадрами в мережі здійснюється через точку доступу AP (Access Point).

Пропускна спроможність (ефективна швидкість передачі даних) віртуального каналу між двома клієнтськими станціями мережі, створеного у процесі встановлення з'єднання на транспортному рівні, обчислюється кількістю корисної інформації у бітах N_B , що видається одержувачеві за час сеансу зв'язку в секундах T_S ,

$$V_{\text{eff}} = N_B / T_S. \quad (1)$$

Процедура сеансу зв'язку по протоколу TCP між двома клієнтськими станціями STA-1 і STA-2 через точку доступу AP включає фазу встановлення з'єднання між джерелом і одержувачем, фазу передачі даних, фази закриття і роз'єднання [2, 3]. З урахуванням цього час сеансу зв'язку представимо у наступному вигляді:

$$T_S = T_C + T_{DT-TCP} + T_{FIN}, \quad (2)$$

де T_C – час встановлення з'єднання; T_{DT-TCP} – час фази передачі даних; T_{FIN} – час фази завершення та роз'єднання.

Для визначення тривалості фаз з'єднання, передачі даних і роз'єднання побудуємо часові діаграми сеансу зв'язку між двома клієнтськими комп'ютерами. З цією метою був проведений детальний аналіз процесу обміну кадрами в безпроводній локальній мережі, що працює в інфраструктурному режимі, за допомогою програми моніторингу та аналізу мережних пакетів CommView for WiFi.

Часова діаграма обміну кадрами і пакетами на каналному і транспортному рівнях у процесі встановлення TCP-з'єднання зображена на рис.1. Для розрізнення блоків повідомлень, що передаються на каналному рівні від блоків, передачі на транспортному рівні, на діаграмі використані відповідно назви "Кадр – Frame" і "Пакет – Packet".

Клієнтська станція STA-1, виявивши, що канал зв'язку вільний, витримує обов'язкову паузу T_{DIFS} , після закінчення якої запускається генератор випадкових чисел і обчислюється час зворотного відліку (*Backoff*) T_{BO} . Якщо канал зв'язку після закінчення інтервалу T_{BO} залишається вільним, то станція STA-1 формує TCP-сегмент зі встановленим прапором синхронізації SYN1:1 і нульовим полем даних. Цей сегмент на мережевому рівні доповнюється IP-заголовком, в якому вказуються IP-адреси станцій призначення STA-2 і відправника STA-1.

Сформований пакет інкапсулюється в кадр каналного рівня, у якому містяться MAC-адреса точки доступу (BSSID), одержувача STA-2 і джерела STA-1. Точка доступу приймає TCP-пакет з бітом синхронізації і, за відсутності в ньому помилок, після витримки обов'язкової короткої міжкадрової паузи SIFS, відправляє станції STA-1 кадр підтвердження на каналному рівні (кадр MAC-ACK).

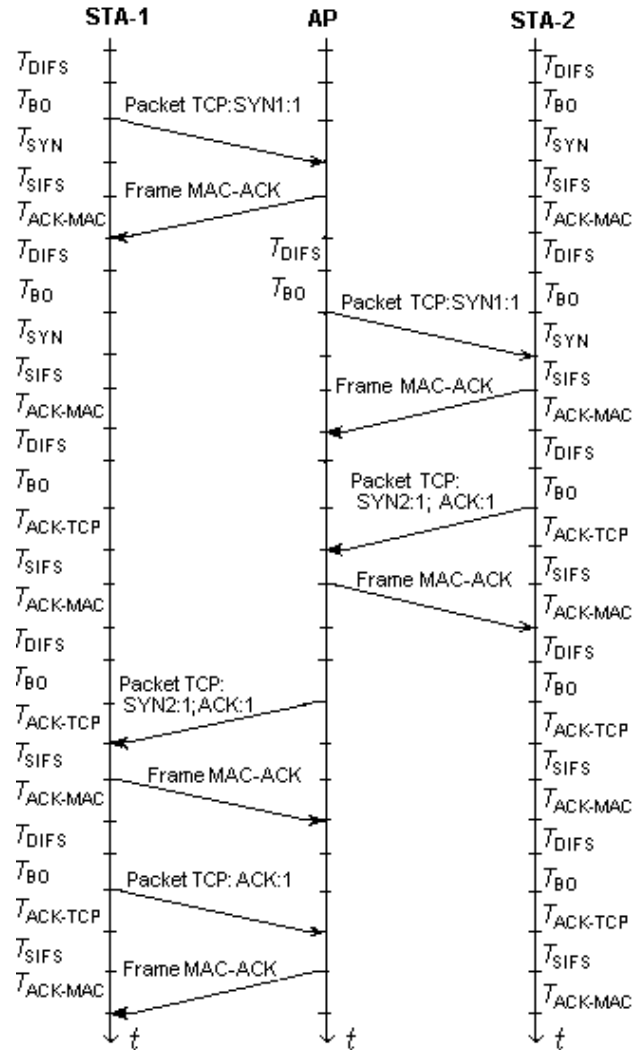


Рис.1 – Часова діаграма обміну кадрами і пакетами між клієнтськими станціями і точкою доступу в процесі встановлення TCP-з'єднання

На наступному етапі точка доступу, нарівні з клієнтськими станціями мережі, включається у конкурентну боротьбу за отримання доступу до середовища. Для цього вона відлічує обов'язкові інтервали T_{DIFS} та T_{BO} і, за відсутності несучого сигналу в каналі, відправляє станції призначення пакет запити на встановлення з'єднання (пакет TCP: SYN1:1).

STA-2 підтверджує правильність прийому кадру на каналному рівні і після конкурентної боротьби за канал відправляє пакет зі

встановленими у заголовку TCP прапорами підтвердження встановлення з'єднання (прапор ACK встановлений в 1) і запиту на встановлення з'єднання з боку станції 2 (прапор SYN2:1). Потім аналогічним чином пакет TCP:SYN2:1; ACK:1 доставляється станції STA-1. Підтвердження встановлення з'єднання з боку STA-1 передається аналогічно окремим пакетом зі встановленим у заголовку TCP бітом ACK, або у складі наступного пакету даних. Цей пакет на часовій діаграмі не показаний.

Прикладне повідомлення передається одержувачеві фрагментами розміром не більше 1460 байтів у зв'язку з тим, що розмір пакету на IP-рівні з врахуванням TCP- і IP-заголовків не повинен перевищувати 1500 байтів. У крайньому, гіршому, випадку в процесі обміну інформацією між клієнтськими станціями безперервно передається лише один пакет даних. Вочевидь, що ефективна швидкість в такому разі буде мінімальною унаслідок наявності великої питомої частини службової інформації і тривалих обов'язкових інтервалів чекання між передачею кадрів.

У реальних умовах кількість пакетів даних, що безперервно передаються без чекання пакету підтвердження TCP:ACK залежить від ширини вікна Window, максимальний розмір якого може досягати 64 Кбайт, тобто 44-х пакетів максимальної довжини. Експериментальні дослідження показали, що кількість пакетів, що безперервно передаються у локальній безпроводній мережі коливається від 2-х до 6-ти.

Часова діаграма обміну кадрами і пакетами між клієнтськими станціями і точкою доступу по протоколу TCP у фазі передачі даних зображена на рис.2. На діаграмі показано випадок безперервної передачі двох пакетів даних. Перед початком передачі пакетів станція STA-1 повинна виграти у конкурентній боротьбі за доступ до середовища. Це відбувається лише в разі, якщо час зворотного відліку T_{BO} в даній станції буде найменше у порівнянні з аналогічним параметром в інших станціях локальної мережі, що намагаються дістати доступ до каналу, включаючи і точку доступу. На діаграмі, з метою зменшення її розмірів, інтервал T_{BO} , що витримується станціями перед відправкою пакету підтвердження TCP:ACK, не показаний.

Процес закриття з'єднання полягає в тому, що одна із станцій повинна відправити пакет зі встановленим в одиничний стан прапором FIN. Підтвердження транспортування такого пакету здійснюється окремо як на каналному, так і на транспортних рівнях.

Відправка однією із станцій пакету зі встановленим прапором RST призводить до розриву з'єднання. Часова діаграма цієї процедури аналогічна діаграмі, що зображена на рис.1.

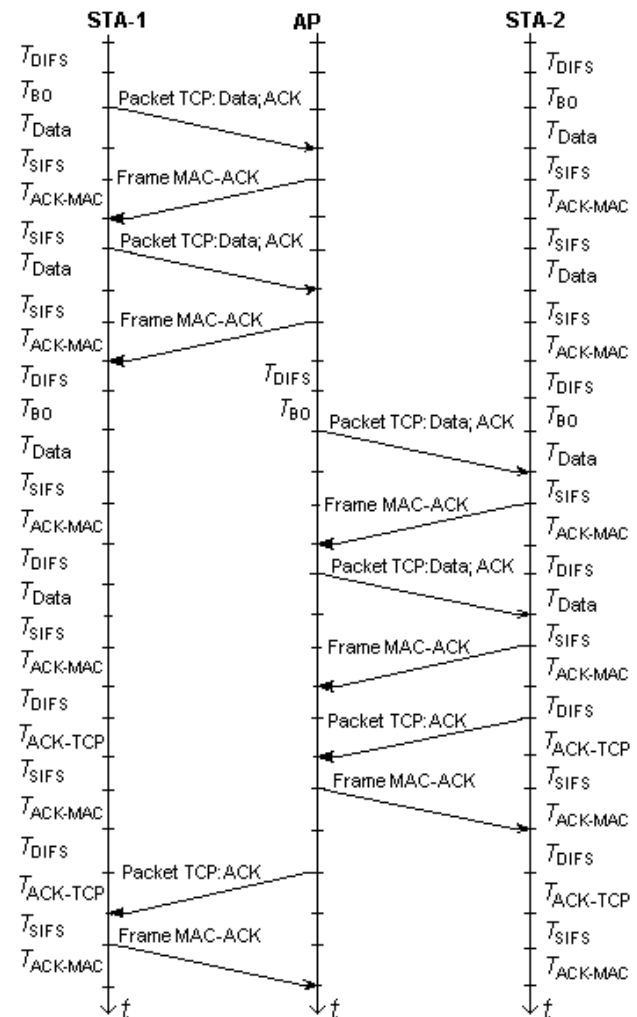


Рис. 2 – Часова діаграма передачі даних між клієнтськими станціями по TCP-протоколу

Сумарні часові витрати на встановлення з'єднання T_C , передачу даних T_{DT-TCP} і завершення з'єднання T_{FIN} без врахування втрат кадрів і їх повторної передачі визначається на основі приведених часових діаграм.

$$T_C = 4(T_{DIFS} + T_{BO} + T_{ACK-MAC}) + 2(T_{SYN} + T_{ACK-TCP}), \quad (3)$$

$$T_{DT-TCP} = 4(T_{DIFS} + T_{BO} + T_{SIFS} + T_{ACK-MAC}) + 2(T_{DATA} + T_{ACK-TCP}), \quad (4)$$

де $T_{ACK-MAC}$, $T_{ACK-TCP}$ і T_{SYN} – тривалість кадрів підтвердження на MAC-рівні, TCP-рівні і пакету синхронізації відповідно; T_{DATA} – час передачі пакету даних з розміром інформаційного поля в кадрі даних N_{DATA} байтів.

У зв'язку з тим, що часова діаграма фази роз'єднання аналогічна діаграмі встановлення з'єднання, то $T_{FIN} = T_C$. Для розрахунку

інтервалів часу, потрібних для передачі службових кадрів і кадрів передачі даних, розглянемо структуру кадрів, що регламентована стандартом IEEE 802.11g [5]. До складу будь-якого кадру входять преамбула, службове поле SIGNAL і поле даних користувача (рис. 3).

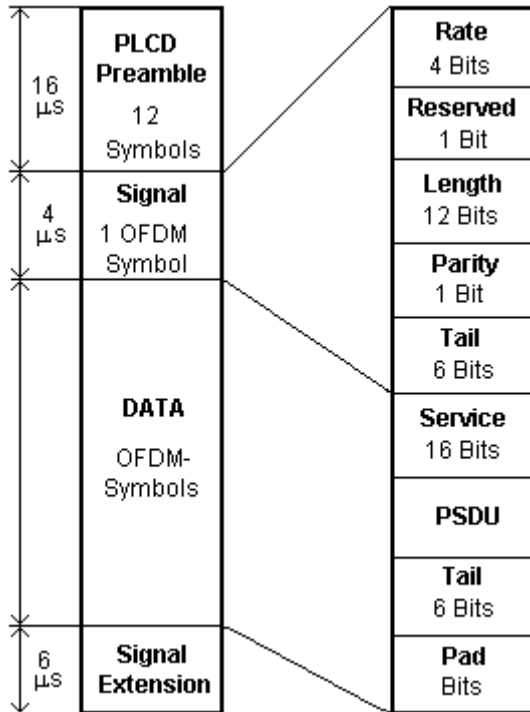


Рис. 3 – Структура кадру передачі даних по стандарту IEEE 802.11g

Преамбула складається з коротких і довгих послідовностей налаштування, загальна тривалість яких складає 16 мкс. У полі SIGNAL містяться відомості про швидкість передачі інформаційної частини кадру і довжину пакету. У нього також включений біт контролю парності та шестибітовий хвостовик (Tail), біти якого встановлені в нульове значення. Хвостовик призначений для розмежування поля SIGNAL і поля даних і служить для встановлення в початковий стан згортального кодера. Поле SIGNAL кодується одним OFDM-символом, тривалість якого разом із захисним інтервалом дорівнює 4 мкс. Перед інформаційними символами поля даних розташовано 16-бітове поле SERVICE, що виконує службову функцію і яке формально відноситься до заголовку. Сім його перших бітів мають нульове значення і служать для ініціалізації псевдовипадкової послідовності скремблера. Наступні 9 бітів є резервними і також мають нульове значення.

Поле даних завершують 6 хвостових нульових бітів (Tail) і декілька додаткових бітів (Pad). Хвостовик Tail служить для ініціалізації згортального кодера, а біти Pad доповнюють останні інформаційні біти до потрібної кількості,

якої бракує для кодування їх одним OFDM-символом. За преамбулою слідує PLCP-заголовок кадру, що включає поля SIGNAL і SERVICE. Після передачі OFDM-символів поля даних введено інтервал розширення тривалістю 6 мкс, протягом якого сигнали в канал зв'язку не передаються. Цей інтервал введено для завершення приймачем процедури згортального декодування.

З урахуванням того, що пакети підтвердження каналного і транспортного рівнів, а також пакети даних передаються у складі кадрів фізичного рівня, то витрати часу на їх передачу обчислюються відповідно по формулах.

$$T_{\text{SYN}} = T_{\text{PR}} + T_{\text{SIG}} + T_{\text{EX}} + T_{\text{SYM}} \times \lceil (N_{\text{SERV}} + N_{\text{Tail}} + 8(H_{\text{MAC}} + H_{\text{SNAP}} + H_{\text{IP}} + H_{\text{TCP-SYN}})) / N_{\text{DBPS}} \rceil, \quad (5)$$

$$T_{\text{ACK-MAC}} = T_{\text{PR}} + T_{\text{SIG}} + T_{\text{EX}} + T_{\text{SYM}} \times \lceil (N_{\text{SERV}} + N_{\text{Tail}} + 8N_{\text{ACK-MAC}}) / N_{\text{DBPS}} \rceil, \quad (6)$$

$$T_{\text{ACK-TP}} = T_{\text{PR}} + T_{\text{SIG}} + T_{\text{EX}} + T_{\text{SYM}} \times \lceil (N_{\text{SERV}} + N_{\text{Tail}} + 8(H_{\text{MAC}} + H_{\text{SNAP}} + H_{\text{IP}} + H_{\text{TCP-ACK}})) / N_{\text{DBPS}} \rceil, \quad (7)$$

$$T_{\text{DATA}} = T_{\text{PR}} + T_{\text{SIG}} + T_{\text{EX}} + T_{\text{SYM}} \times \lceil (N_{\text{SERV}} + N_{\text{Tail}} + 8(H_{\text{MAC}} + H_{\text{SNAP}} + H_{\text{IP}} + H_{\text{TCP}} + N_{\text{DATA}})) / N_{\text{DBPS}} \rceil, \quad (8)$$

де T_{PR} і T_{SYM} – час передачі преамбули і одного символа відповідно; H_{TCP} , H_{IP} , H_{MAC} і H_{SNAP} – розмір заголовків у байтах відповідно транспортного, мережевого, каналного і SNAP рівнів; $N_{\text{ACK-MAC}}$ – розмір кадру підтвердження прийому на MAC-рівні у байтах; N_{DBPS} – кількість біт на один OFDM-символ; T_{EX} – інтервал розширення.

Параметри полів кадру для стандарту IEEE 802.11g [5], що використовувались у розрахункових формулах (5-10) мають наступні значення:

тривалість тайм-слоту $\Delta t = 9$ мкс; міжкадрової паузи SIFS $T_{\text{SIFS}} = 10$ мкс; міжкадрової паузи DIFS $T_{\text{DIFS}} = 28$ мкс; преамбули $T_{\text{PR}} = 16$ мкс; поля SYMBOL $T_{\text{SYM}} = 4$ мкс; поля SIGNAL $T_{\text{SIG}} = 4$ мкс; тривалість розширення $T_{\text{EX}} = 6$ мкс; розмір поля SERVICE $N_{\text{SERV}} = 16$ бітів; поля Tail $N_{\text{Tail}} = 6$ бітів; заголовку MAC $H_{\text{MAC}} = 34$ байти; розмір кадру ACK-MAC $N_{\text{ACK-MAC}} = 14$ байтів; розмір заголовку SNAP $H_{\text{SNAP}} = 5$ байтів; заголовку IP $H_{\text{IP}} = 20$ байтів; заголовку TCP $H_{\text{TCP}} = 32$ байта; заголовку

UDP $H_{UDP} = 8$ байтів; мінімальне значення лічильника зворотного відліку $C_{min} = 15$.

Як показав аналіз мережевого потоку між клієнтськими станціями і точкою доступу, для управління потоком використовується віконний алгоритм, згідно якому передавач відправляє N_W пакетів даних, не чекаючи підтвердження від одержувача. Пакет підтвердження АСК-ТСП відправляється на групу пакетів даних, що задається шириною вікна N_W . У цьому випадку формула (4) приймає наступний вигляд:

$$T_{TD-TCP} = 2 N_W (T_{DIFS} + T_{BO} + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{ACK-MAC}) + 2(T_{DIFS} + T_{BO} + T_{SIFS} + T_{ACK-MAC} + T_{ACK-TCP}), \quad (9)$$

Обмін даними на транспортному рівні по протоколу UDP здійснюється без попереднього встановлення з'єднання і без підтвердження правильності прийому пакету. В такому разі час передачі пакету від станції відправника до станції одержувача з врахуванням ретрансляції пакету точкою доступу розраховується по наступній формулі:

$$T_{TD-UDP} = 2(T_{DIFS} + T_{BO} + T_{SIFS} + T_{DATA} + T_{ACK-MAC}), \quad (10)$$

У безпроводних мережах з функцією розподіленої координації доступу час зворотного відліку T_{BO} визначається як добуток довжини тайм-слоту на випадкове число C_i , що генерується генератором випадкових чисел з рівномірним законом розподілу [4]. У даній роботі при розрахунку T_{BO} в якості C_i приймалося середнє значення, яке вибрано з випадкового інтервалу, що формується генератором випадкових чисел у діапазоні від 0 до C_{min} , тобто $T_{BO} = (\Delta t \times C_{min}) / 2$. Цей час, виходячи із стандартних значень Δt і C_{min} , дорівнює 67,5 мкс.

При розрахунку потенційної пропускної спроможності передбачалося, що за час сеансу зв'язку передається дуже велика кількість пакетів даних (>1000). В такому разі часом, що витрачається на установку з'єднання і на його завершення, можна нехтувати зважаючи на його малу величину. Розмір вікна N_W було взято рівним 7, який прийнято за умовчанням у протоколі ТСП. Змінюючи кількість байтів у блоці від 256 до 1460, та підставляючи його у формули (9), (4-8) і (1) отримуємо графік залежності теоретичної максимальної ефективної швидкості передачі даних з віконним алгоритмом V_{TCP-W3} з передачею одного підтвердження на три передані пакети і з підтвердженням кожного пакету V_{TCP-W1} (рис. 4).

На цьому ж графіку показана залежність ефективної швидкості передачі даних V_{UDP} по протоколу UDP. Значками \times на малюнку позначена середня швидкість передачі даних по протоколу ТСП, яка визначена експериментально з використанням пакету IxChariot.

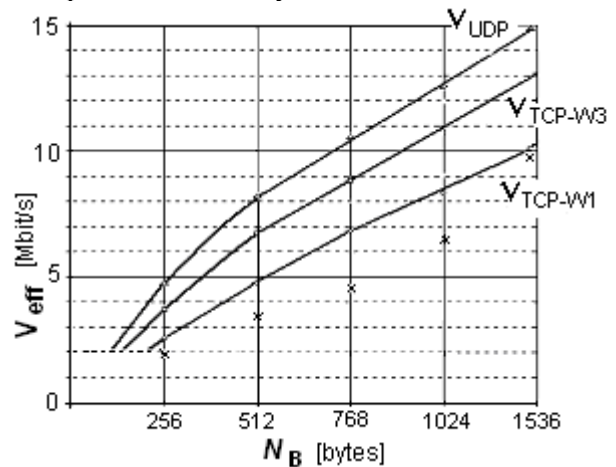


Рис. 4 – Залежності теоретичної і реальної ефективної швидкості передачі даних на транспортному рівні від розміру поля даних

Вимір ефективної швидкості проводився при технічній швидкості передачі 54 Мбіт/с. За кожен сеанс зв'язку передавалося 10 Мбайт текстових повідомлень. В процесі вимірів змінювалася довжина інформаційної частини пакету даних. Передача здійснювалася між двома стаціонарними комп'ютерами, розташованими на відстані 3 м один від одного, забезпеченими радіоадаптерами типу D-Link, що працюють по алгоритму, визначуваному стандартом IEEE 802.11g у режимі "only g". В якості базової станції використовувалася точка доступу типу LinkSys WRT-54GL.

Як видно з наведених графіків, розрахована по отриманих формулах ефективна швидкість передачі даних добре збігається з даними, що отримані при експериментальних вимірах пропускної спроможності на реальних мережах. Відхилення реальної пропускної спроможності від теоретичної пов'язане з втратою пакетів за рахунок перешкод і переповнювання буфера, а також передачею дублюючих пакетів. У процесі експерименту спостерігалися випадки, коли максимальна експериментальна швидкість перевищувала теоретичну для випадку передачі одного кадру підтвердження на кожен переданий джерелом пакет (V_{TCP-W1}), що імовірно пов'язане з передачею кадру підтвердження на декілька пакетів даних. Проте випадків перевищення максимальної швидкості величини V_{TCP-W3} не спостерігалося.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] A.V. Barbosa, M.F. Caetano, J.I. Bordim, The theoretical maximum throughput calculation for the IEEE 802.11g standard, *International Journal of Computer Science and Network Security*, (11) 4 (2011), pp.136-142.
 - [2] V. Chernega, E. Glatz, S. Vinichenco, Estimation of effective data rate at transport level in networks of 802.11b, *SevNTU Journal, Informatics, Electronics, Communications*, Sevastopol, (131) (2012), pp.32-36 (in Russian).
 - [3] P. Roshan, J. Leary, 802.11 *Wireless LAN, Fundamentals*, Moscow, 2004, p. 304 (in Russian).
 - [4] V. Chernega, B. Plattner, *Wireless Local Area Computer Networks*, Kyiv, 2013, p.238 (in Ukrainian).
 - [5] IEEE Std 802.11g – 2003. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. *Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band*.
-



Чернега Віктор Степанович, 66 років, к.т.н., доцент кафедри інформаційних систем Севастопольського національного технічного університету. З 1964 по 1969 р. навчався у Севастопольському приладобудівному інституті за фахом "Автоматика і телемеханіка". У 1975 році закінчив аспірантуру при кафедрі автоматики і телемеханіки КПІ. Декілька років стажувався і працював у Федеральній вищій технічній школі м. Цюріха (Швейцарія).

Автор 25 авторських свідоцтв на винаходи СРСР і патентів України, 5-ти учбових посібників, рекомендованих МОН України для студентів ВНЗ, та біля 60 науково-технічних публікацій. Наукові інтереси: проектування і дослідження комп'ютерних мереж, систем передачі даних, систем автоматизованого контролю.



PERFORMANCE OF A TRANSPORT LEVEL OF WLANS IEEE 802.11g FUNCTIONING IN INFRASTRUCTURAL MODE

Victor Chernega

Sevastopol National Technical University
 University Str. 33, Sevastopol-99053, Ukraine
 v_chernega@rambler.ru

Abstract: *The procedure of frames exchange between client computers and a wireless access point based on 802.11g standard is analyzed in details. We have obtained the expressions which allow calculate the potential bandwidth of such wireless network.*

Keywords: *WLANS of 802.11g, TCP, UDP, infrastructural mode, carrying capacity.*

INTRODUCTION

The purpose of work is the detailed revealing of the procedure of frame exchange between client computers and base station in WiFi WLANS during the data transfer over protocols of a transport level of TCP and UDP for receipt of expressions, allowing to estimate maximally possible speed of payload transfer between the users of the network of IEEE 802.11g in the base mode in default of collisions and hindrances in a communication channel. It is thus assumed that the network works in the infrastructural mode while the frame exchange in the network is carried out over the access point (AP).

The throughput of virtual channel between two client stations of the network, created during the connection establishment on a transport level, is determined by payload content in the bits of N_B , given to the recipient during the session of connection in seconds T_S , i.e. is a transfer of effective data rate $V_{\text{eff}} = N_B / T_S$.

Procedure of connection session on protocol of TCP between two client stations of STA-1 and STA-2 through the access point AP includes the phase of establishment of connection between a source and recipient, phase of data transfer, phase of closing and disconnection. For determination of duration of connection phases, data transfer and disconnection by the author temporal diagrams of connection sessions between two client computers were built and the detailed analysis of exchange process of frames and packages in WLAN, working in infrastructural mode with the help of program of monitoring and analysis of network packages of CommView for WiFi was conducted.

On receipt of calculation formulas it was taken into account, that the client station of STA-1 during the transmission of TCP-packages before consuming the channel analyses its state. On discovering that the communication channel is free, the station maintains the obligatory pause T_{DIFS} , after expiration of which the random numbers generator starts and time of the reverse counting (*Backoff*) T_{BO} is calculated. If a communication channel remains free upon termination of interval of T_{BO} , the station of STA-1 forms a TCP-segment with the set flag of synchronization of SYN1:1 and zero data field. This segment on network-level is supplemented by an IP-header, in which the IP-address of the destination station of STA-2 and sender stations STA-1 is specified. The formed package is encapsulated in the frame of data link layer, in which MAC-address of access point (BSSID), recipient STA-2 and source of STA-1 are contained. The point of access accepts a TCP-packet with the bit of synchronization and, in default of errors in it, after self-control of obligatory short interframed pause of SIFS, the frame of confirmation sends the stations of STA-1 on the channel level (a frame MAC-ACK).

On the next stage the access point, along with the client stations of network, joins competition for the receipt of access to the environment. For this purpose it counts off the obligatory intervals of T_{DIFS} and T_{BO} and when there is no supportive in a channel it sends the package of request for connection establishment (package of TCP: SYN1:1) to the destination stations. STA-2 confirms the correctness of frame reception on channel level and after competition for a channel a package with

flags of confirmation of connection establishment set in the header of TCP (flag ACK is set in 1) and request for connection establishment from the station 2 (flag of SYN2:1) are sent. Then in a similar way a package of TCP:SYN2:1; ACK:1 is delivered to the station of STA-1. Confirmation of connection establishment from STA-2 is sent similarly in a separate package with set in the header of TCP by a bit ACK or in composition of the next package of information.

In the article the temporal diagram of exchange of frames and packages between the client stations and access point on protocol of TCP in the phase of data transfer is presented. The case of continuous transmission of two data packages is shown in the diagram. During the construction of the diagram it was taken into account that before the beginning of packages transmission the station of STA-1 must win the competition for access to the environment. It happens only in case when time of the reverse counting T_{BO} in this station is the least compared with an analogical parameter in other stations of local network, trying to get access to the channel, including the access point. On a diagram, in order to diminish of its sizes, the interval T_{BO} , maintained by the stations before the sending of package of confirmation of TCP:ACK, is not shown.

The process of closing of TCP-connection is that one of the stations must send a package with the flag FIN set in the single state. Confirmation of transfer of such package is carried out separately both on a channel and on transport level. The sending of package by one of the stations with the set flag RST results in the break of connection. The temporal diagram of this procedure is analogical to the diagram of connection establishment.

On the basis of the temporal diagrams built by an author the formulas are received, allowing counting temporal expenses on connection establishment T_C , data transfer of T_{DT-TCP} and completion of connection T_{FIN} without considering the losses of frames and their repeated transmission (5-9). The expenses of time on the transmission of packages on data link and transport levels were counted considering that confirmation packages, and also data packages are transferred in composition of of theoretically most effective data rate $V_{TCP-W3C}$ by a window algorithm with the transmission of one confirmation on three sent packages and with confirmation of every package V_{TCP-W1} are shown. On the same picture the graph of effective data rate V_{UDP} on protocol UDP is represented. The average data rate on protocol TCP, which is determined experimentally with the use of package of Chariot, is shown with the symbols \times . the frames of physical level. In the article the formula (10) of time expense for data transfer is shown also on transport level on protocol of UDP T_{TD-UDP}

considering retransmitting of package by the access point. In the article the graphs of dependence

Measuring of effective rate was made at technical transmission speed of 54 Mbit/s. For every connection session 10 MByte of text messages were transmitted. During measuring the length of informative part of package of information was changed. The transmission was carried out between two stationary computers, located in the distance of 3 meter from each other, supplied with radioadapters of D-Link type, working on an algorithm, determined by the standard of IEEE 802.11g in the mode of "only g". As the base station the access point of LinkSys WRT-54GL was used.

Researches showed that the effective data rate calculated by the obtained formulas coincides well enough with data, received during the experimental measuring of throughput on the real networks. Deviation of the real throughput from the theoretical is connected with the loss of packages due to spikes and buffer overflow, and also with the transmission of doubled packages. In the process of experiment there were cases, when high experimental rate exceeded theoretical for the case of transmission of confirmation frame on every package (V_{TCP-W1}) sent by a source, that is obviously connected with the transmission of one confirmation frame for a few data packages. However there were no cases of exceeding of maximum rate of the value V_{TCP-W3} .

REFERENCES

- [1] A.V. Barbosa, M.F. Caetano, J.I. Bordim, The Theoretical Maximum Throughput Calculation for the IEEE 802.11g Standard, *International Journal of Computer Science and Network Security*, (11) 4 (2011), pp.136-142.
- [2] V. Chernega, E. Glatz, S. Vinichenco, Estimation of effective data rate at transport level in networks of 802.11b, *SevNTU Journal, Informatics, Electronics, Communications*, Sevastopol, (131) (2012), pp.32-36 (in Russian).
- [3] P. Roshan, J. Leary, *802.11 Wireless LAN, Fundamentals*, Moscow, 2004, p. 304 (in Russian).
- [4] V. Chernega, B. Plattner, *Wireless Local Area Computer Networks*, Kyiv, 2013, p.238 (in Ukrainian).
- [5] IEEE Std 802.11g – 2003, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. *Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band*.