

**ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК ФІЗИЧНОГО КАНАЛУ НА ЯКІСТЬ  
ФУНКЦІОНУВАННЯ СЕГМЕНТУ БЕЗПРОВОДОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ**

*В статті розглянуто вплив відношення сигнал шум та величини інформаційних пакетів на пропускну здатність безпроводової мережі "Wi-Fi". Отримано розрахункове співвідношення для визначення пропускну здатності та залежності максимально можливої пропускну здатності безпроводового каналу з шумами у мережі за стандартом IEEE 802.11a.*

Найбільш важливими характеристиками фізичного каналу, що визначають телекомунікаційні можливості безпроводової мережі в цілому, є рівень сигналу та співвідношення сигнал-шум на вході приймача. Співвідношення сигнал-шум визначає можливість правильного детектування інформаційних сигналів. Цей процес характеризується коефіцієнтом помилкових бітів (BER) та коефіцієнтом помилкових пакетів (PER) [1]. Коефіцієнт помилкових пакетів *PER* можна розглядати, як імовірність не правильного передавання пакета на фізичному рівні

Визначимо вплив відношення сигнал-шум  $E_b/N_0$  на пропускну здатність каналу. Оцінювання цього впливу зробимо скориставшись програмним комплексом для проектування та моделювання безпроводових телекомунікаційних мереж «Advanced Design System» корпорації «Agilent Technologies».

Оскільки у специфікації IEEE 802.11a на фізичному рівні використано підходи, які згодом знайшли втілення у специфікаціях IEEE 802.11g та IEEE 802.11n для з'ясування особливостей функціонування безпроводових мереж стандартів IEEE 802.11x зробимо дослідження функціонування мережі IEEE 802.11a. Для моделювання було обрано найбільшу з обов'язкових швидкостей – 24 Мбіт/с.

Зробимо оцінку пропускну здатності, як функції відношення сигнал-шум у реальному каналі, для випадків використання двох типів транспортних протоколів, а саме – TCP та UDP. Перший, як відомо, забезпечує високу надійність передавання з устанавленням з'єднання, а другий – без устанавлення з'єднання.

Запропоновано методика оцінювання пропускну здатності, що складається з трьох етапів – на першому, розраховуємо максимальну пропускну здатність без урахування втрат пакетів у реальному каналі, на другому етапі, здійснюємо імітаційне моделювання процесу передавання пакетів на фізичному рівні й визначаємо коефіцієнт помилкових пакетів, третій етап - розрахунок пропускну здатності мережі з використанням результатів другого етапу.

Розглянемо окремо випадки, коли пакети містять 64, 128, 256, 512, 1024 або 1460 байтів корисної інформації. Розрахунок пропускну здатності для потоку TCP, що містять блоки даних з  $PL = 64$  байти, без урахування колізій, інтервалів очікування і втрат пакетів через шуми в каналі у разі застосування сигнальної швидкості 24 Мбіт/с наведено в табл. 1. Враховано додаткову службову інформацію, яка є обов'язковою через інкапсуляцію пакетів у процесі передавання між окремими рівнями моделі OSI. Так, розглянуто найбільш загальний випадок, за якого на мережному рівні додається ще 8 байтів відповідно до протоколу SNAP, а на MAC рівні додається ще 28 байтів інформації TCP. Тобто, у разі застосування протоколу TCP, до кожного блоку даних буде додано на каналному рівні ще 36 байтів. Пакет даних 64 байти на каналному рівні набуде обсягу  $(64+36)$ байти = 100 байтів = 800 бітів, один символ OFDM передає 192 біти кодованої послідовності зі швидкістю каналного коду 1/2. Тобто, інформаційних бітів буде удвічі менше – 96. 800 інформаційних бітів породжують 1600 кодованих бітів, для передавання яких знадобиться  $1600:192 = 8,3(3) \rightarrow 9$  символів OFDM. Тривалість одного символу становить 4 мкс. На

фізичному рівні 802.11a пакет супроводжується додатковим заголовком синхронізації приймача і службової інформації тривалістю 20 мкс.

Для розрахунку максимальної пропускної здатності каналу без урахування втрат пакетів і інтервалів очікування скористаємось співвідношенням [2]:

$$S_{max} = \frac{E[PL]}{T_s}, \quad (1)$$

де  $E[PL]$  – усереднене значення корисного навантаження в одному пакеті,  
 $T_s$  – системний інтервал часу необхідний для передавання пакету даних (MPDU)

Результати розрахунків для блоків даних 128, 256, 512, 1024, 1500 байтів у форматі протоколу TCP для режиму DCF наведено в табл. 2, а у форматі UDP – табл.3.

Таблиця 1 – Приклад розрахунку максимальної пропускної здатності  $S_{max}$  для пакетів з корисним навантаженням 64 байти

	Кадр даних TCP	ACK TCP	$T_c$
DIFS, мкс	34	34	34
$\Delta t_{TCP\_дані}$	20 мкс + 9·4 мкс = 20 мкс + 36 мкс=56 мкс	20 мкс + 3·4мкс = 20 мкс + 12 мкс	68 мкс
SIFS, мкс	16	16	16
802.11a ACK	20 мкс + 1·4мкс= 20 мкс + 4 мкс= 24 мкс	24 мкс	
Кадр, мкс	34+56+16+24=130	34+32+16+24=106	34+68+16=118
$T_s$ , мкс	130+106=236		118
$S_{max}$	PL: $T_s = 512:236 = 2, 169$ Мбіт/с		

Таблиця 2 – Залежність максимальної пропускної здатності  $S$  від розміру блоку корисних даних у форматі TCP без урахування втрат часу на колізії та очікування для режиму DCF

Корисне навантаження PL, байтів	$T_s$ , мкс	$S_{max}$ , Мбіт/с	$T_c$ , мкс
64	236	2,169	72
128	256	4,0	92
256	300	6,826	136
512	384	10,667	220
1024	556	14,733	392
1460	700	16,685	536

Таблиця 3 – Залежність максимальної пропускної здатності  $S$  від розміру блоку корисних даних у форматі UDP без урахування втрат часу на колізії та очікування для режиму DCF

Корисне навантаження PL, байтів	$T_s$ , мкс	$S_{max}$ , Мбіт/с	$T_c$ , мкс
64	122	4,197	64
128	156	6,592	84
256	198	10,343	128
512	284	14,457	192
1024	454	18,044	384
1460	600	19,488	528

Засобами імітаційного моделювання було визначено залежність коефіцієнту помилкових пакетів  $PER$  від значення  $E_b/N_0$ . Усереднені значення коефіцієнта помилкових бітів  $PER$  залежно від значення  $E_b/N_0$  наведено в табл.4.

Отримані значення коефіцієнта помилкових бітів  $PER$  використаємо для визначення пропускної здатності телекомунікаційного каналу безпроводової мережі з урахуванням витрат часу на очікування та втрат пакетів на фізичному рівні. Для розрахунку скористаємось співвідношенням

$$S = \frac{E[PL]}{E[RSS]} = \frac{E[PL]}{T_s + (n + p_c) \cdot T_c + n \cdot E[T_{idle}]}, \quad (2)$$

де  $E[RSS]$  – тривалість реального системного інтервалу, необхідного для передавання одного інформаційного пакета,

$n$  – кількість спроб передати інформаційний пакет без помилок,

$E[T_{idle}]$  – усереднені витрати часу на інтервали очікування, витрачені для передавання одного інформаційного пакета.

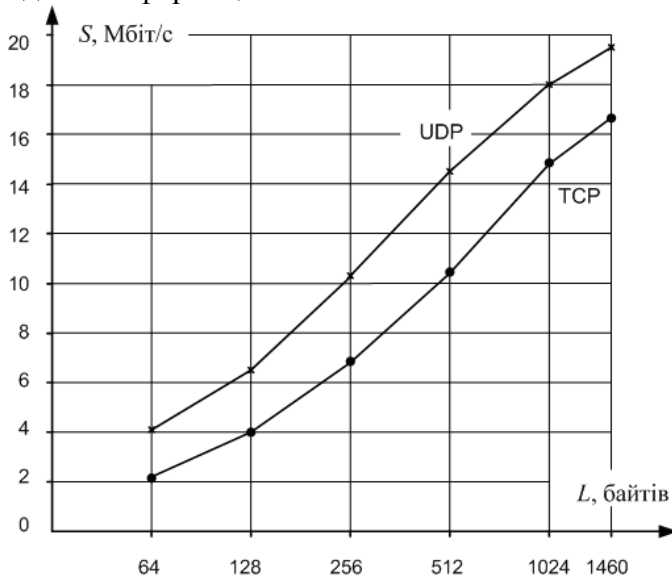


Рис. 1. Графіки залежності максимальної пропускної здатності від розміру блоку корисних даних у форматі протоколів TCP та UDP для режиму DCF, сигнальна швидкість  $R = 24$  Мбіт/с

Кількість спроб для передавання одного пакета без помилок безпосередньо залежить від коефіцієнта помилкових пакетів  $PER$  і може бути визначена як  $n = 1/(1 - PER)$ . Усереднена тривалість одного інтервалу очікування перед передаванням одного пакету за ідеальних умов має значення  $CW_i/2$ . Для спрощення розрахунків, розглянемо варіант, коли витрати часу на очікування будуть мінімальні, тобто, коли  $CW_i$  має постійне значення  $CW_i = (CW_{min} - 1) = CW$ . Оцінюючи імовірність колізії для випадку, коли у мережі є дві активні станції з насиченим інформаційним потоком можна записати, що  $p_c = 1/CW$ .

З урахуванням зроблених зауважень розрахункове співвідношення (2) набуде вигляду:

$$S = \frac{E[PL]}{E[RSS]} = \frac{E[PL]}{T_s + \left(\frac{1}{1 - PER} + \frac{1}{CW}\right) \cdot T_c + \frac{1}{1 - PER} \cdot \sigma \cdot \frac{CW}{2}}. \quad (3)$$

Таблиця 4 – Пропускна здатність реального каналу з насиченим сигнальним потоком із однорідних пакетів у форматі протоколу TCP з навантаженням  $PL$

$E_b/N_0$	$S$ , Мбіт/с				
	8	9	10	11	12
$PER$	0,9	0,4	0,1	0,02	0,000
$PL=64$ байтів	0,31956	1,28096	1,60234	1,67077	1,68699
$PL = 128$	0,56444	2,35987	2,99500	3,13265	3,16538
$PL = 256$	0,89801	4,02191	5,23626	5,50777	5,57279
$PL = 512$	1,29171	6,27312	8,44407	8,94975	9,07198
$PL = 1024$	1,64030	8,64814	12,09224	12,93315	13,13873
$PL = 1460$	1,79125	9,78507	13,92921	14,92559	15,21697

Графічні залежності максимально можливої пропускної здатності безпроводового каналу з шумами, реальної мережі за стандартом IEEE 802.11a наведено на рис. 2

Таблиця 5 – Пропускна здатність реального каналу з насиченим сигнальним потоком із однорідних пакетів у форматі протоколу UDP з навантаженням  $PL$

$E_b/N_0$	$S$ , Мбіт/с				
	8	9	10	11	12
$PER$	0,9	0,4	0,1	0,02	0,000
$PL=64$ байтів	0,36276	1,82850	2,50263	2,66291	2,70185
$PL = 128$	0,62538	3,11973	4,24975	4,51686	4,58166
$PL = 256$	0,97440	5,10059	7,10691	7,59464	7,71375
$PL = 512$	1,46171	7,68432	10,72938	11,47155	11,65292
$PL = 1024$	1,70121	9,75741	14,25908	15,42062	15,70853
$PL = 1460$	1,84117	10,73562	15,83562	17,12898	17,49813

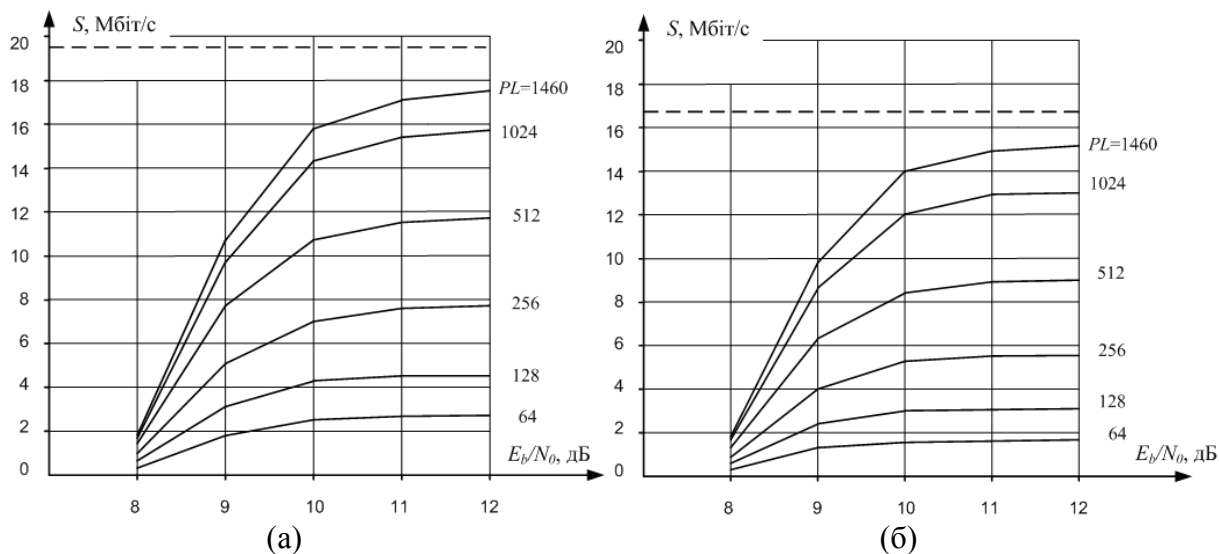


Рис. 2. Графіки залежності пропускної здатності безпроводового каналу від  $E_b/N_0$  у разі передавання пакетів з корисним навантаженням  $PL$  у форматі (а) – TCP, (б) – UDP

Пунктиром на рис.2 наведено розрахунковий рівень пропускної здатності каналу без урахування втрат для пакету з корисним навантаженням 1460 байтів.

### Висновки

З отриманих розрахункових залежностей рис.1 і (3) та результатів моделювання рис.2, можна зробити висновок, що для забезпечення передавання інформаційних пакетів з високою швидкістю і малими втратами слід застосовувати методи, за яких транспортні кадри містять якомога більше корисного навантаження, а також методи, що забезпечують більше відношення сигнал-шум на вході приймача. Такими методами можуть бути методи агрегування файлів малої величини у великі транспортні кадри відповідно до специфікації 802.11e. Отримані результати щодо оцінки пропускної здатності безпроводової мережі в реальних умовах мають хорошу кореляцію з результатами, отриманими іншими дослідниками у процесі натурних та імітаційних випробувань [3-4]

### Список використаних джерел

1. Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Раснаев Ю.А. Сети и системы радиодоступа. – М.:Эко-Трендз, 2005. – 384 с.
2. Giuseppe Bianchi, Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function// IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2000. – vol. 18 – №. 3. – p. 1055 – 1067
3. Спичихин А. С. Системы беспроводного широкополосного доступа. Функциональность и основные технические характеристики.//Технологии и средства связи. – 2006. – № 2. – с.43-48.
4. Передача потокового видео в сетях: руководство THG. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.thg.ru/network/video\\_streaming\\_i/index.html](http://www.thg.ru/network/video_streaming_i/index.html)