

## Практична робота №13

### Розрахунок дальності роботи бездротового каналу зв'язку 802.11

1.1. **Мета роботи:** Ознайомитись із стандартами IEEE 802.11 і діапазонами частот. Навчитися визначати дальність роботи каналу зв'язку 802.11 в залежності від необхідної швидкості передачі і використовуваного частотного каналу.

#### 1.2. Теоретичні відомості

Wi-Fi - торгова марка об'єднання Wi-Fi Alliance для бездротових мереж на базі стандарту IEEE 802.11, який об'єднує набір стандартів зв'язку для комунікації через бездротову локальну мережевий зоні частотних діапазонів 2,4; і 5 ГГц. Кожен з цих діапазонів розділяється на ряд піддіапазонів, або каналів. У різних країнах існують свої обмеження по використанню частотних діапазонів, тому і число доступних для неліцензійного використання каналів в кожній країні по-різному. В Україні для неліцензійного використання дозволені канали з діапазонів 2,4 і 5 ГГц. Параметри основних версій технології 802.11, що використовуються на території України, наведені в табл. 1.1. Для стандартів 802.11n і 802.11ac в дужках вказані швидкості одного потоку для тривалості захисного інтервалу 800 нс.

Таблиця 1.1  
Параметри основних версій технології 802.11

Стандарт	Рік	Частота	Ширину каналу	Швидкість потоку Мбіт/с	Кількість потоків	Метод модуляції
b	1999	2,4	22	1-11	1	DSSS
g	2003	2,4	20	6-54	1	OFDM
n	2009	2,4/5	20	7,2-72,2 (6,5-65)	4	OFDM
			40	15-150 (13,5-135)		
ac	2013	5	20	7,2-96,3 (6,5-86,7)	8	OFDM
			40	15-200 (13,5-180)		
			80	32,5-433,3 (29,2-390)		
			160	65-866,7 (58,5-780)		

Необхідно пам'ятати, що наведені максимальні швидкості для кожної з технологій є лише теоретично досяжними. Тобто вони можливі тільки при роботі точки доступу в ідеальних «лабораторних» умовах при відсутності зовнішніх перешкод. На практиці, навіть у сприятливих умовах, реально досяжна швидкість передачі може складати від третини до половини заданої в стандарті максимальної швидкості. Смуга пропускання 2,4 ГГц містить всього 14 каналів шириною 22 МГц кожен. Для стандарту 802.11g і більш пізніх ширина кожного каналу встановлена рівною 20 МГц. Сумарно вони займають смугу частот від 2,401 ГГц до 2,495 ГГц. Розподіл каналів по смузі частот наведено на рис. 1.1.

У цьому діапазоні одночасно доступні лише 3 смуги, що не перекриваються по 22 МГц на кожний канал. Список центральних частот

кожного каналу наведено в табл. 1.2.

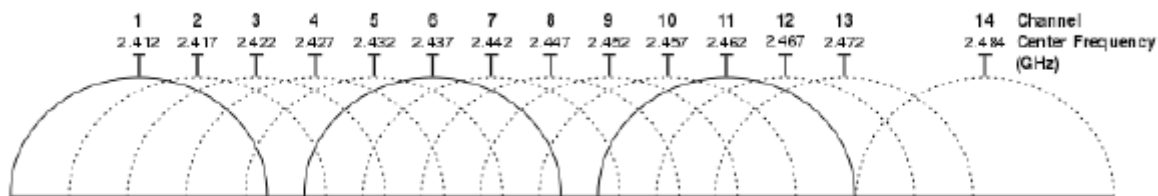


Рис. 1.1. Розподіл каналів 802.11 по смузі частот в діапазоні 2,4 ГГц

Таблиця 1.2

Центральні частоти каналів 802.11 в діапазоні 2,4 ГГц

Номер каналу	Частота МГц	Номер каналу	Частота МГц	Номер каналу	Частота МГц	Номер каналу	Частота МГц
1	2412	5	2432	9	2452	13	2472
2	2417	6	2437	10	2457	14	2484
3	2422	7	2442	11	2462		
4	2427	8	2447	12	2467		

Діапазон 5 ГГц розділений на чотири піддіапазони.

1. UNII-1: 5150-5250 МГц (доступно 4 частотних каналу).
2. UNII-2: 5250-5350 МГц (доступно 4 частотних каналу).
3. UNII-2 Extended: 5470-5725 МГц (доступно 11 частотних каналів).
4. UNII-3: 5725-5825 МГц (доступно 4 частотних каналу).

Ширина кожного каналу встановлена рівною 20 МГц.

Список центральних частот кожного каналу наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Центральні частоти каналів 802.11 в діапазоні 5 ГГц

Номер каналу	Частота МГц	Номер каналу	Частота МГц	Номер каналу	Частота МГц	Номер каналу	Частота МГц
<b>Піддіапазон UNII-1</b>							
36	5180	40	5200	44	5220	48	5240
<b>Піддіапазон UNII-2</b>							
52	5260	56	5280	60	5300	64	5320
<b>Піддіапазон UNII-2 Extended</b>							
100	5500	112	5560	124	5620	136	5680
104	5520	116	5580	128	5640	140	5700
108	5540	120	5600	132	5660		
<b>Піддіапазон UNII-3</b>							
149	5745	153	5765	157	5785	161	5805

Стандарти 802.11b і 802.11g використовують по одному каналу шириною 22 (20) МГц. У стандарті 802.11n можуть використовуватися канали шириною 40 МГц (два канали по 20 МГц), при цьому одночасно може використовуватися чотири таких каналу, в теорії забезпечуючи граничну сумарну швидкість до 600 Мбіт/с.

З огляду на, що в діапазоні 2,4 ГГц всього три непересічних 22 МГц каналу (або чотири 20 МГц), використовувати канали по 40 МГц

рекомендується тільки в діапазоні 5 ГГц. Для співіснування каналів шириною 20/40 МГц точка доступу стандарту 802.11n повинна переходити на інший канал або перемикається на використання каналу шириною в 20 МГц, якщо сусідня точка доступу починає передачу в одній з половин каналу 40 МГц.

У стандарті 802.11ac можуть використовуватися канали шириною 160 МГц (8 \* 20 МГц) при одночасній роботі до 8 таких каналів. Теоретична максимальна швидкість при цьому буде дорівнює 6,93 Гбіт/с. Головним недоліком широких каналів є більший вплив на них перешкод і, відповідно, меншу відстань передачі даних. Існує також зворотна модифікація каналів виробниками - зменшення їх ширини до 5 або 10 МГц, що дозволяє збільшити дальність передачі ціною меншою швидкості.

Метод одночасного використання декількох каналів, який використовується в 802.11n і 802.11ac, отримав назву МІМО (multiple input multiple output - множинний вхід, множинний вихід). Підвищення пропускної здатності відбувається за рахунок передачі сигналу по декільком частотним каналах і подальшого прийому з об'єднанням в один потік даних. Це можливо при використанні на кожен потік власної антени і свого тракту прийому/передачі на кожній стороні. Саме тому, точки доступу стандарту 802.11n, що мають лише одну антену, забезпечують теоретично досяжну швидкість лише 150 Мбіт/с (1 канал шириною 40 МГц). Прийнято користуватися позначенням  $M \times N$ , де  $M$  - число потоків на передачу, а  $N$  - число потоків на прийом. Таким чином, для досягнення максимально можливих 600 Мбіт/с в технології 802.11n необхідно використовувати конфігурацію  $4 \times 4$  потоків МІМО. Точка доступу при цьому повинна мати 4 антени.

1.2.1. Розрахунок дальності роботи бездротового каналу зв'язку 802.11  
Розрахунок дальності бездротового каналу Wi-Fi виводиться з формули (1.1) розрахунку втрат у вільному просторі

$$FSL = 33 + 20(\lg F + \lg D), \quad (1.1)$$

де FSL (Free Space Loss) - втрати у вільному просторі (дБ);  $F$  - центральна частота каналу, на якому працює система зв'язку (МГц);  $D$  - відстань між двома Wi-Fi точками (км). Отже, відстань  $D$  можна визначити за формулою (1.2).

$$D = 10^{\frac{FSL-33}{20} - \lg F}. \quad (1.2)$$

Втрати у вільному просторі також можна визначити за формулою (1.3), виходячи з сумарного посилення системи передачі  $Y_{дБ}$ .

$$FSL = Y_{дБ} - SOM, \quad (1.3)$$

де SOM (System Operating Margin) - запас в енергетиці радіозв'язку (дБ), який враховує можливі фактори, що негативно впливають на дальність зв'язку, такі як:

- температурний дрейф чутливості приймача і вихідної потужності передавача;
- всілякі атмосферні явища: туман, сніг, дощ;
- неузгодженість антени, приймача, передавача з антенно-фідерних трактом. Параметр SOM зазвичай береться рівним 10 дБ. Вважається, що такий запас щодо підсилення достатній для інженерного розрахунку.

Сумарне підсилення системи передачі розраховується за формулою (1.4).

$$Y_{\text{дБ}} = P_{t,\text{дБм}} + G_{t,\text{дБн}} + G_{r,\text{дБн}} - P_{\text{мін},\text{дБм}} - L_{t,\text{дБ}} - L_{r,\text{дБ}}, \quad (1.4)$$

де  $P_t$ , дБм - потужність передавача (паспортні дані пристрою);

$G_t$ , дБі коефіцієнт підсилення передавальної антени (паспортні дані пристрою);

$G_r$ , дБі - коефіцієнт підсилення приймальної антени (паспортні дані пристрою);

$P_{\text{мін}}$ , дБм - чутливість приймача на даній швидкості;

$L_t$ , дБ - втрати сигналу в коаксіальному кабелі і роз'ємі передавального тракту;

$L_r$ , дБ - втрати сигналу в коаксіальному кабелі і роз'ємі приймального тракту.

Втрати сигналу в коаксіальному кабелі і трактах прийому та передачі  $L_t$ , дБ і  $L_r$ , дБ необхідно враховувати тільки при використанні зовнішніх винесених антен.

При використанні точок доступу з внутрішніми або вмонтованими безпосередньо антеннами цими параметрами можна знехтувати.

У табл. 1.4 наведені середні показники чутливості для різних швидкостей передачі даних в діапазоні 2,4 ГГц для 802.11g і 5 ГГц для 802.11n (канал 40 МГц).

Таблиця 1.4

Залежність чутливості від швидкості передачі даних для 802.11g і 802.11n

Швидкість мбіт/с	Чутливість дБм	Швидкість мбіт/с	Чутливість дБм
<b>802.11g 2,4 ГГц</b>			
54	-66	18	-83
48	-71	12	-85
36	-76	9	-86
24	-80	6	-87
<b>802.11n 5 ГГц</b>			
15	-96	90	-86
30	-95	120	-83
45	-92	135	-77
60	-90	150	-74

### 1.2.2. Приклад розрахунку дальності роботи каналу зв'язку 802.11.

Для прикладу визначимо дальність роботи каналу зв'язку для технології 802.11n в 40 МГц каналі, що об'єднує канали 36 і 40, при швидкості передачі, що дорівнює 60 Мбіт/с.

Вихідні дані:

- Потужність передавача  $P_t$ , дБм = 16 дБм
- Коефіцієнт підсилення штатної антени передавача  $G_t$ , дБі = 3 дБі.
- Коефіцієнт підсилення штатної антени приймача  $G_r$ , дБі = 1 дБі.

Визначимо сумарний посилення системи передачі за формулою (1.4).

$$Y_{\text{дБ}} = 16 + 3 + 1 - (-90) = 110 \text{ дБ.}$$

За формулою (1.3) визначимо втрати у вільному просторі.

$$FSL = 110 - 10 = 100 \text{ дБ.}$$

Центральна смуга частот об'єднаного 40 МГц каналу (36 + 40) згідно з табл. 1.3 дорівнюватиме

$$F = 5190 \text{ МГц.}$$

Розрахуємо відстань між антенами, згідно з формулою (1.2).

$$D = 10^{\frac{100-33}{20} - \lg 5190} = 0,4313 \text{ км} \approx 431 \text{ м.}$$

### 1.3. Порядок виконання завдання:

1. Вибрати з табл. 1.5 відповідно до свого номеру варіанту вихідні дані для розрахунку. Всі розрахунки проводяться з урахуванням того, що використовуються штатні антени точок доступу. Для технології 802.11n і для каналу 1, і для каналу 2 наведені номери тільки перших 20 МГц «півканалів» - 40 МГц канал вони утворюють в сукупності з наступним по порядку 20 МГц каналом. Таблица 1.5

№ вар.	$P_t$ дБм	$G_t$ дБи	$G_r$ дБи	802.11g		802.11n	
				канал 1	канал 2	канал 1	канал 2
1	10	1	2	1	8	36	136
2	11	2	0	2	9	40	128
3	12	3	1	3	10	44	108
4	13	1	3	4	11	52	120
5	14	2	2	5	12	56	132
6	15	3	0	6	13	60	149
7	10	1	1	7	8	100	153
8	11	2	3	1	9	112	157
9	12	3	2	2	10	56	124
10	13	1	0	3	11	36	112
11	14	2	1	4	12	40	136
12	15	3	3	5	13	44	128
13	10	1	2	6	8	52	108
14	11	2	0	7	9	56	120
15	12	3	1	1	10	60	132
16	13	1	3	2	11	100	149
17	14	2	2	3	12	112	153
18	15	3	0	4	13	56	157
19	10	1	1	5	8	36	124
20	11	2	3	6	9	40	112
21	12	3	2	7	10	44	136
22	13	1	0	1	11	52	128
23	14	2	1	2	12	56	108
24	15	3	3	3	13	60	120
25	10	1	2	4	8	100	132
26	11	2	0	5	9	112	149
27	12	3	1	6	10	56	153
28	13	1	3	7	11	36	157
29	14	2	2	1	12	44	124
30	15	3	0	2	13	60	112

2. Для технології 802.11g (2,4 ГГц) для кожного із заданих 20 МГц каналів розрахувати дальності роботи для всіх можливих швидкостей передачі (табл. 1.4).

3. Для технології 802.11n (5 ГГц) для кожного із заданих 40 МГц каналів розрахувати дальності роботи для всіх можливих швидкостей передачі (табл. 1.4).

4. За отриманими значеннями дальності побудувати графіки залежності відстані передачі від швидкості передачі. Всі чотири графіка повинні бути побудовані на одній площині координат.

5. Зробити висновки за результатами розрахунків.