

Селіверстов Р. Г.

КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ



Лекція 7

БЕЗДРОТОВІ ЛОКАЛЬНІ МЕРЕЖІ

Глобальні мережі (WAN):

2G

3G

4G

...

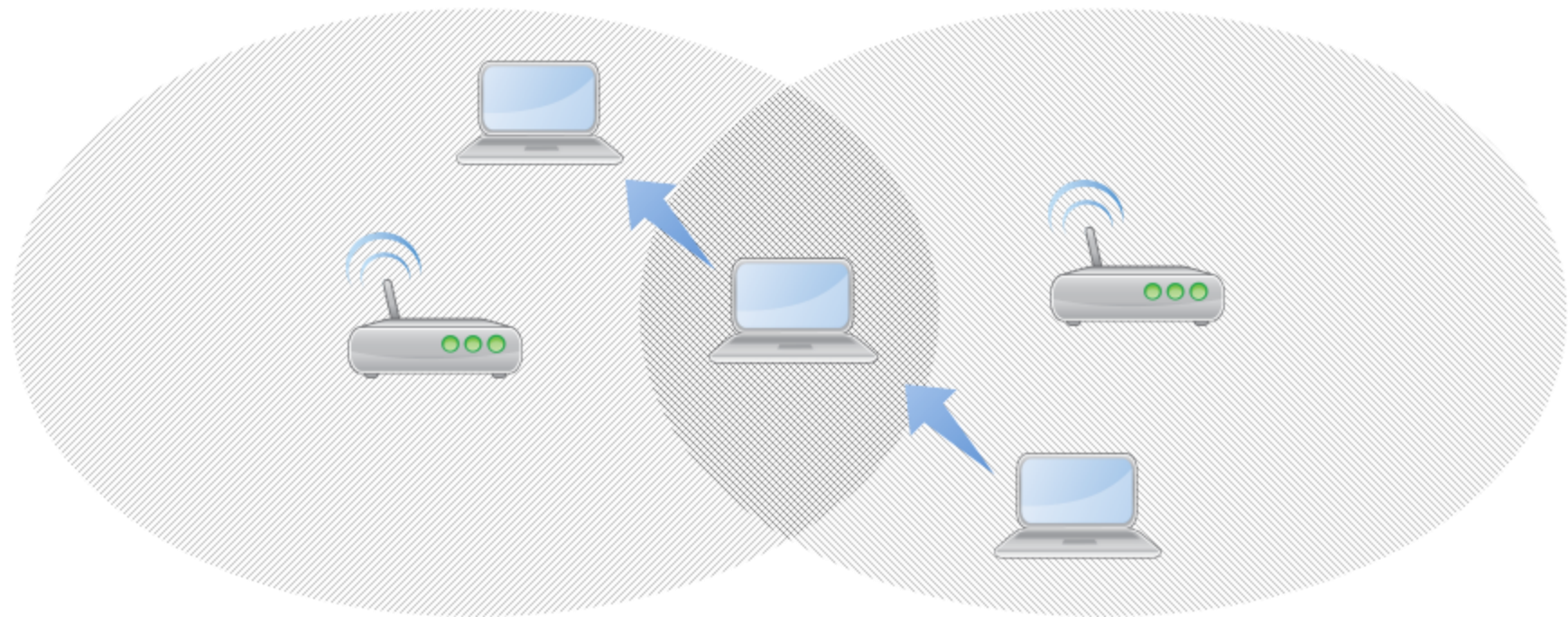
Локальні мережі (LAN):

802.11 (Wi-Fi)

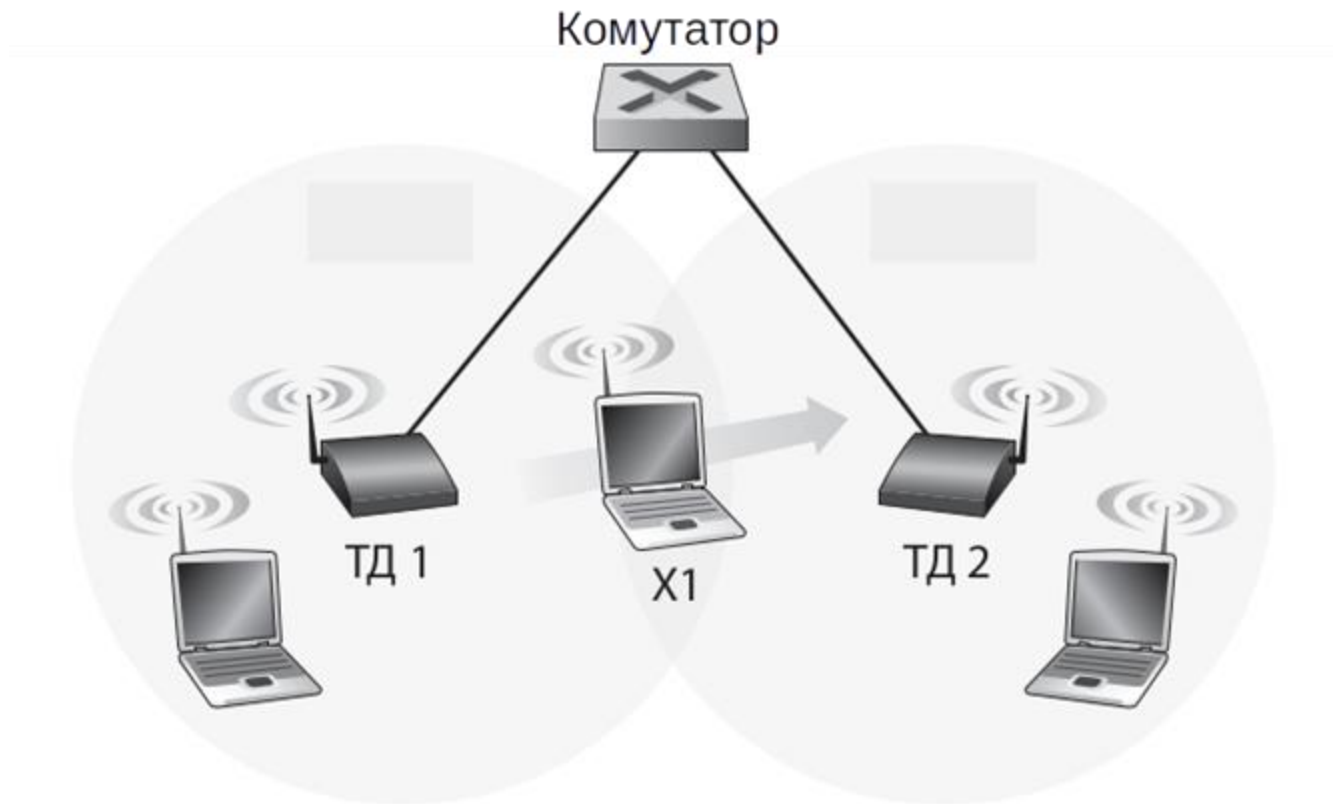
Персональні мережі (PAN):

(Bluetooth)

бездротовість \neq мобільність



Мобільність в межах єдиної IP-підмережі



Особливості бездротового зв'язку

- сигнал передається в багатьох напрямках;
- той самий сигнал можуть приймати багато приймачів;
- кілька джерел сигналу спотворюють один одного.

Наслідки: використання радіохвиль регулюється законодавством (різним типам надаються різні діапазони частот)

GSM - 900 МГц (потрібна ліцензія)

Wi-Fi - 2,4 ГГц і 5 ГГц (ліцензія не потрібна, але на цих частотах можуть працювати інші прилади)

	Мережі на основі Wi-Fi	Стільникові мережі
базова станція	точка доступу	вишка стільникового зв'язку
радіус охоплення	невеликий (~ 30 м) точка-точка: ~ 5 км	великий (~ 10 км)
швидкість передавання	11/54/200 Мбіт/с	384 Кбіт/с (3G), ~100 Мбіт/с (4G), ...
діапазон частот	неліцензований	ліцензований
власність	муніципальна/персональна	бізнес

Типи бездротових мереж

- **Одноперехідна мережа з інфраструктурою:**

хост <--> базова станція

- Одноперехідна мережа без інфраструктури:

хост <--> хост (Wi-Fi в режимі прямого підключення, Bluetooth)

- Багатоперехідна мережа з інфраструктурою:

хост <--> ... <--> хост <--> базова станція

- Багатоперехідна мережа без інфраструктури:

хост <--> ... <--> хост

Торговельна марка Wi-Fi®

Права належать **Wi-Fi Alliance**

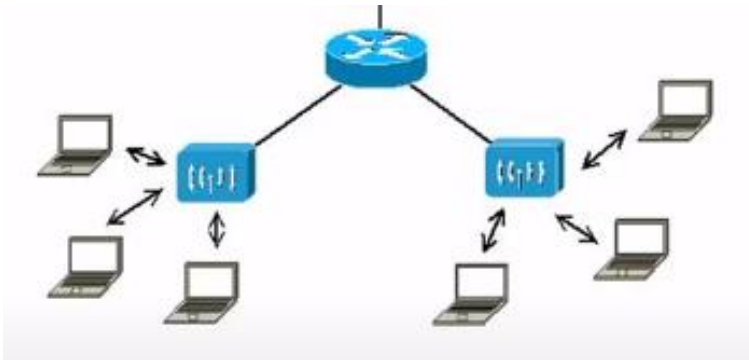
Ніяк не розшифровується (ранній варіант - **wireless fidelity**)

Повна назва стандарту: **IEEE 802.11 wireless LAN**

Право використання торговельної марки надається лише після проходження виробником обладнання перевірки на сумісність зі стандартом в **Wi-Fi Alliance** (наприклад, для Ethernet ніякої перевірки не потрібно)



Інфраструктурний режим



Однорангова мережа



Класичний Wi-Fi роутер = точка доступу (аналог хаба) + маршрутизатор в одному корпусі

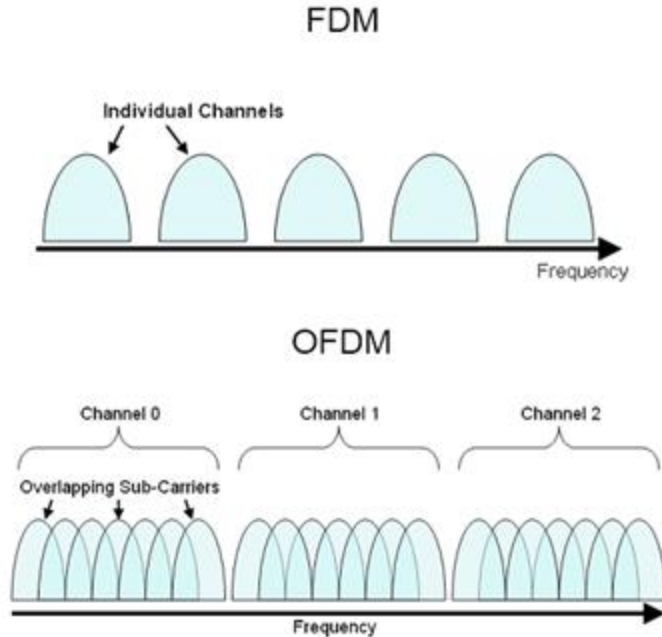
Wi-Fi: фізичний рівень

Стандарти Wi-Fi на фізичному рівні

Стандарт	Рік прийняття	Швидкість	Частота
802.11	1997	1 або 2 Мбіт/с	2.4 ГГц
802.11a	1999	54 Мбіт/с	5 ГГц
802.11b	1999	11 Мбіт/с	2.4 ГГц
802.11g	2003	54 Мбіт/с	2.4 ГГц
802.11n	2009 (Wi-Fi 4)	600 Мбіт/с (150 на одну станцію)	2.4 і 5 ГГц
802.11ac	2014 (Wi-Fi 5)	6.77 Гбіт/с (1.69 на одну станцію)	5 ГГц
802.11ax	2019 (Wi-Fi 6)	до 11 Гбіт/с	1-7 ГГц (за потреби)
802.11be	2023 (Wi-Fi 7)	До 30 Гбіт/с	6 ГГц

Відмінності - ширина каналу, метод модуляції сигналу

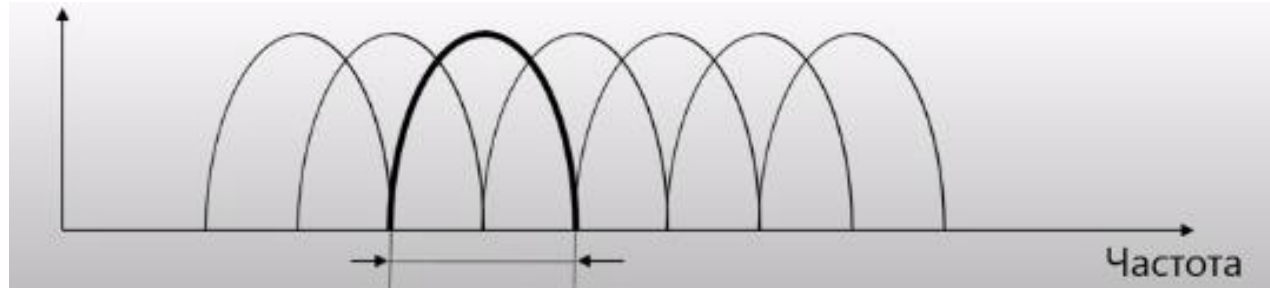
OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)



Адміністратор призначає **SSID** (service set identifier) з даними для аутентифікації (MAC-адреса або логін-пароль) і 1 з 14 каналів.

Wi-Fi джунглі - на одному каналі декілька станцій

Ширина каналу



Ширше - краще

Перші стандарти: 20 МГц

802.11n: 40 МГц

802.11ac: 80 МГц (обов'язково), 160 МГц (за бажанням виробника)

MIMO (Multiple Input Multiple Output)



Метод кодування сигналу для використання кількох антен (починаючи з 802.11n)

Адаптація швидкості

В Ethernet швидкість передавання фіксована (однакова для усіх пристроїв мережі). Wi-Fi вміє змінювати швидкість передавання в залежності від якості сигналу (висока якість - швидкість збільшується, низька - зменшується)

Досягається

шляхом зміни:

- ширини каналу;
- методу модуляції;
- інтервалу між сигналами.

MCS index ^[a]	Spatial Streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (in Mbit/s) ^{[16][b]}							
				20 MHz channels		40 MHz channels		80 MHz channels		160 MHz channels	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15	29.3	32.5	58.5	65
1	1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120	234	260	468	520
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150	292.5	325	585	650
8	1	256-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
9	1	256-QAM	5/6	N/A	N/A	180	200	390	433.3	780	866.7

X Networks Table keyboard shortcuts: j=down, k=up, s=star, c=clear all

X inSSIDer has starred the network you are connected to. To optimize a different one, star it in the Networks list below

FILTERS



SSID or Vendor

Channel

Signal

Security

802.11

SSID	SIGNAL	CHANNEL	SECURITY	MAC ADDRESS	802.11
07	-46	11	WPA-Personal	00:15:70:71:80:60	g
α-public	-52	6	WPA-Personal	00:15:70:2E:75:D0	g
	-54	11	WPA-Personal	00:15:70:3E:22:C0	g
	-69	11	WPA-Personal	00:15:70:3C:69:10	g
da	-71	6+10	Open	C8:3A:35:1C:E1:10	n
	-78	11	WPA-Personal	00:15:70:2C:5C:80	g
ccessPoint	-81	6	WPA-Personal	00:30:4F:5D:D8:01	g
α-public	-81	1	WPA-Personal	00:15:70:38:36:D0	g
	-84	6	WPA-Personal	00:15:70:3C:55:00	g
ea??s Mac Pro	-84	11	Open	44:D8:84:6D:BD:E1	n
EXLIFT	-94	1	WPA2-Personal	00:25:9C:80:B9:07	g

★ 007_71:80:60

11 49

Channel Link Score

MAC 00:15:70:71:80:60

Security WPA-Personal

Co-Channel 4 Networks

802.11 g

Overlapping 1 Network

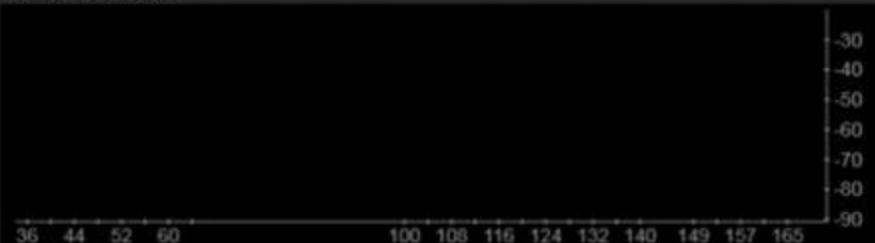
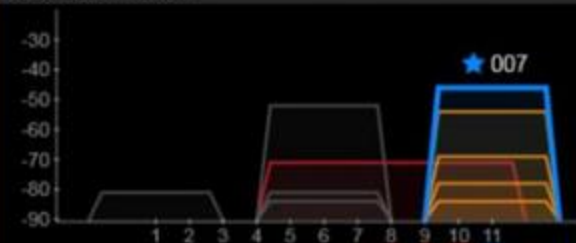
Max Rate 54

Signal -46 dBm



2.4 GHz NETWORKS

5 GHz NETWORKS



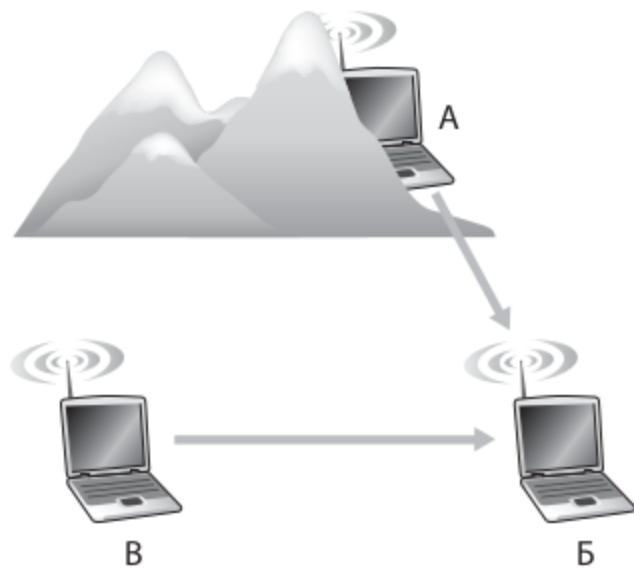
Wi-Fi: доступ до середовища
передавання (канальний рівень)

Особливості бездротового зв'язку

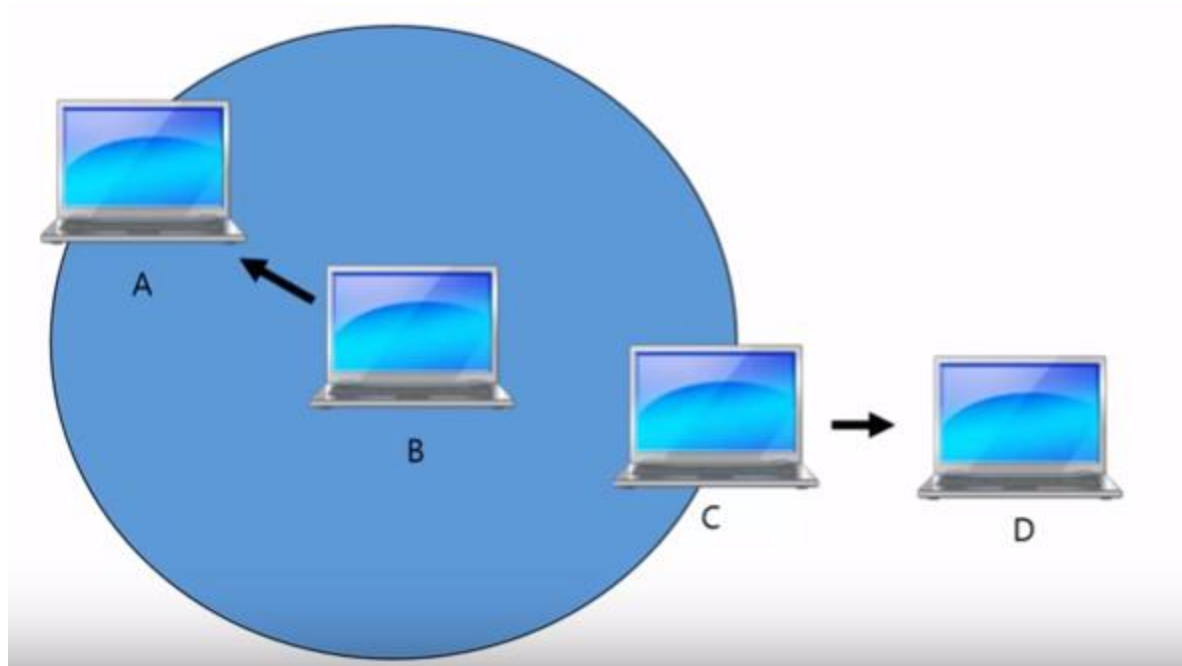
- ослаблення (розсіювання) сигналу;
- електромагнітні завади (фоновий шум);
- розмивання (відбиття від об'єктів) сигналу.

Наслідки: бездротовим каналам характерна **велика кількість бітових помилок**, тому у них використовуються **потужні алгоритми виявлення помилок і надійні протоколи передавання даних канального рівня**.

Проблема прихованих передавачів



Проблема “засвіченої” станції



Виявлення колізій

Ethernet

- Хост передає і одночасно приймає сигнал (якщо сигнали відрізняються - колізія, причому вона виявляється одразу)
- Хост припиняє передавання і посилює колізії передаванням спеціальної Jam-послідовності

Wi-Fi

- Сигнал про виявлену колізію може не дійти до всіх станцій (проблеми прихованого передавача і засвіченої станції)
- Колізії виявляються шляхом відсутності підтвердження про отримання (тобто, після спливання деякого інтервалу часу - таймауту)

На відміну від Ethernet, дані підтверджуються (повторно надсилаються в разі спливання таймауту, встановленого передавачем) на канальному рівні

Колізія - відсутність підтвердження - дуже недешева (треба вичікувати таймаут)

CSMA/CA (CSMA with collision avoidance) - протокол множинного доступу з контролем несучої та **запобіганням** колізій.

CSMA/CA: міжкадрові інтервали

Хост прослуховує ефір.

Якщо ніхто не передає, то:

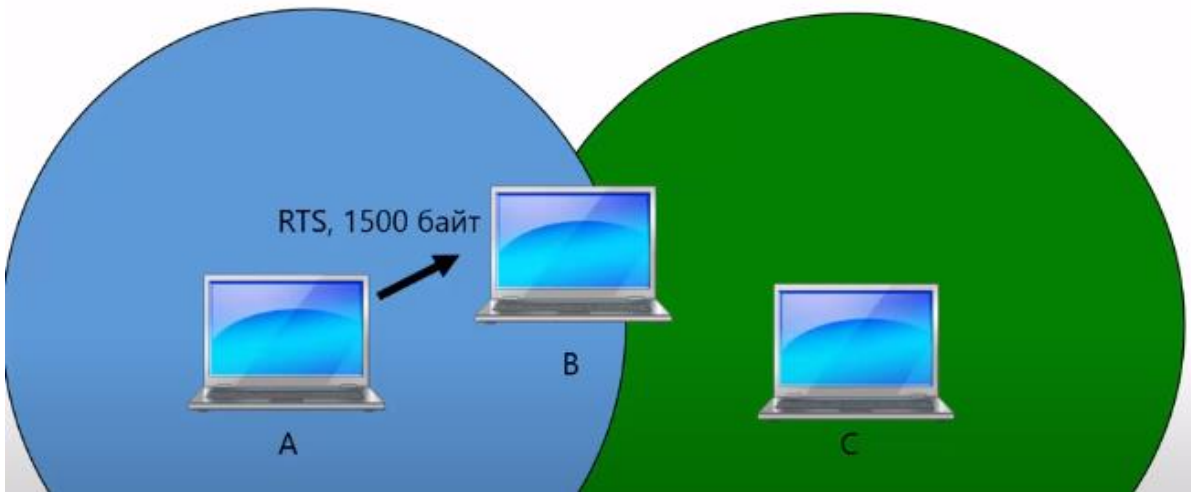
- якщо він хоче передати кадр, то вичікує звичайний міжкадровий інтервал;
- якщо він хоче передати підтвердження, то вичікує короткий міжкадровий інтервал і передає підтвердження.

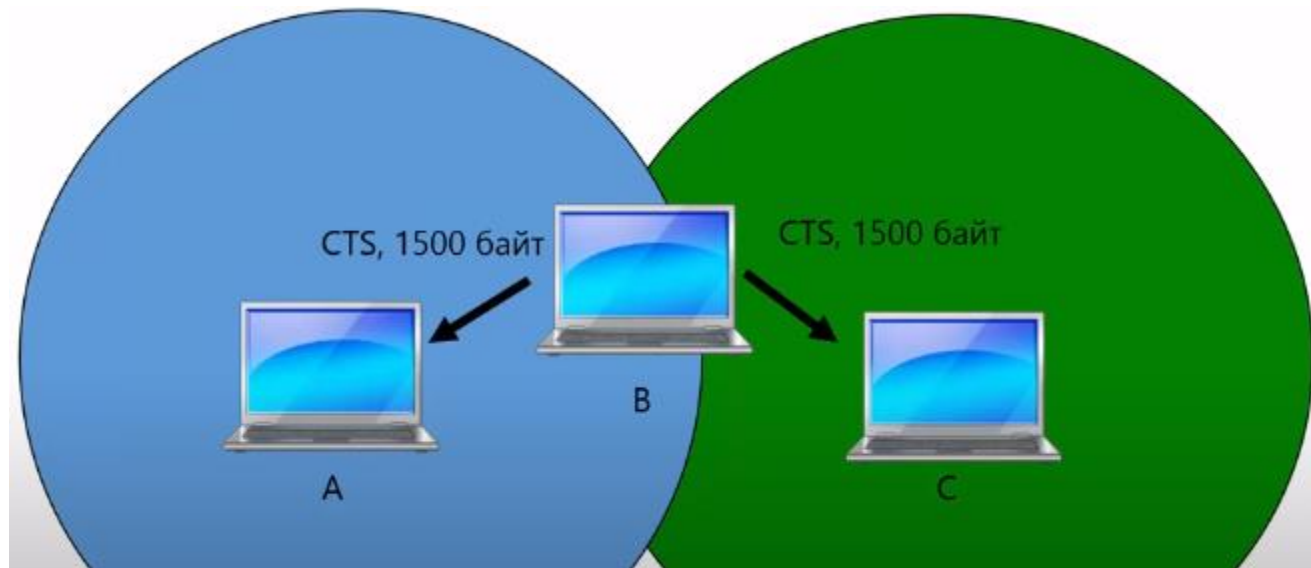
Після міжкадрового інтервалу настає період мовчання: хост генерує число - кількість слотів очікування (тривалість одного слоту різна для різних стандартів). Після очікування прослуховує і передає.

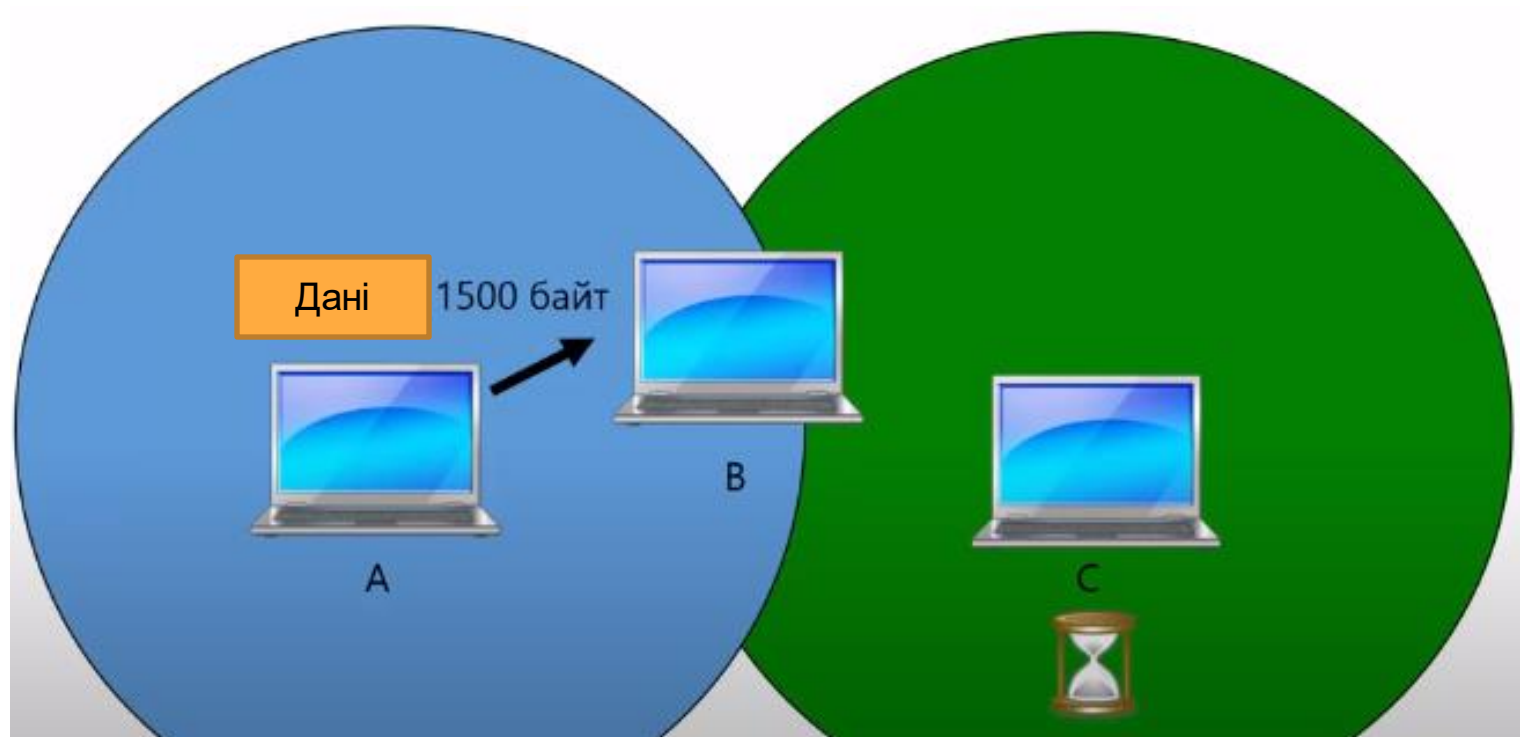
CSMA/CA - на практиці працює, але теоретично не вирішує проблем прихованого передавача і "засвіченої" станції

MACA (Multiple Access with collision avoidance) - опційний протокол (зазвичай достатньо CSMA/CA), використовує керуючі кадри **RTS (Request To Send)** / **CTS (Clear To Send)** - вирішує проблеми прихованого передавача та "засвіченої" станції.

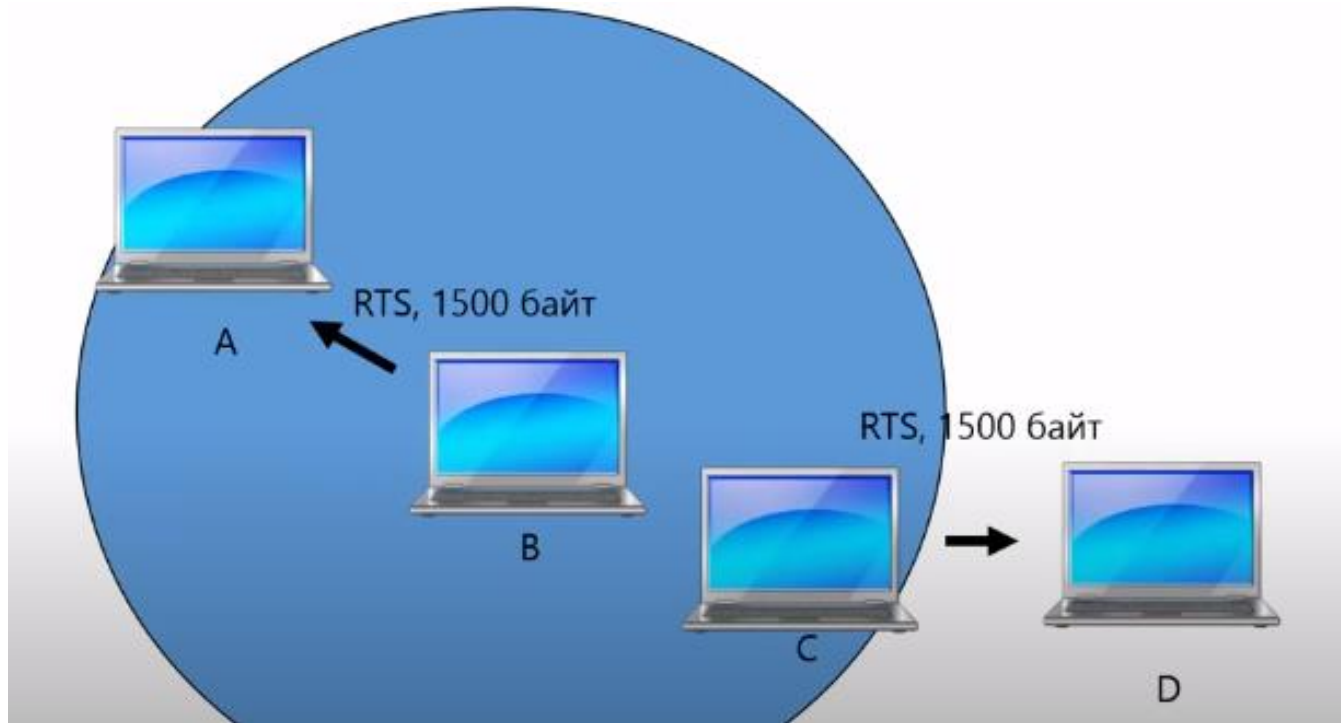
МАСА: вирішення проблеми прихованого передавача

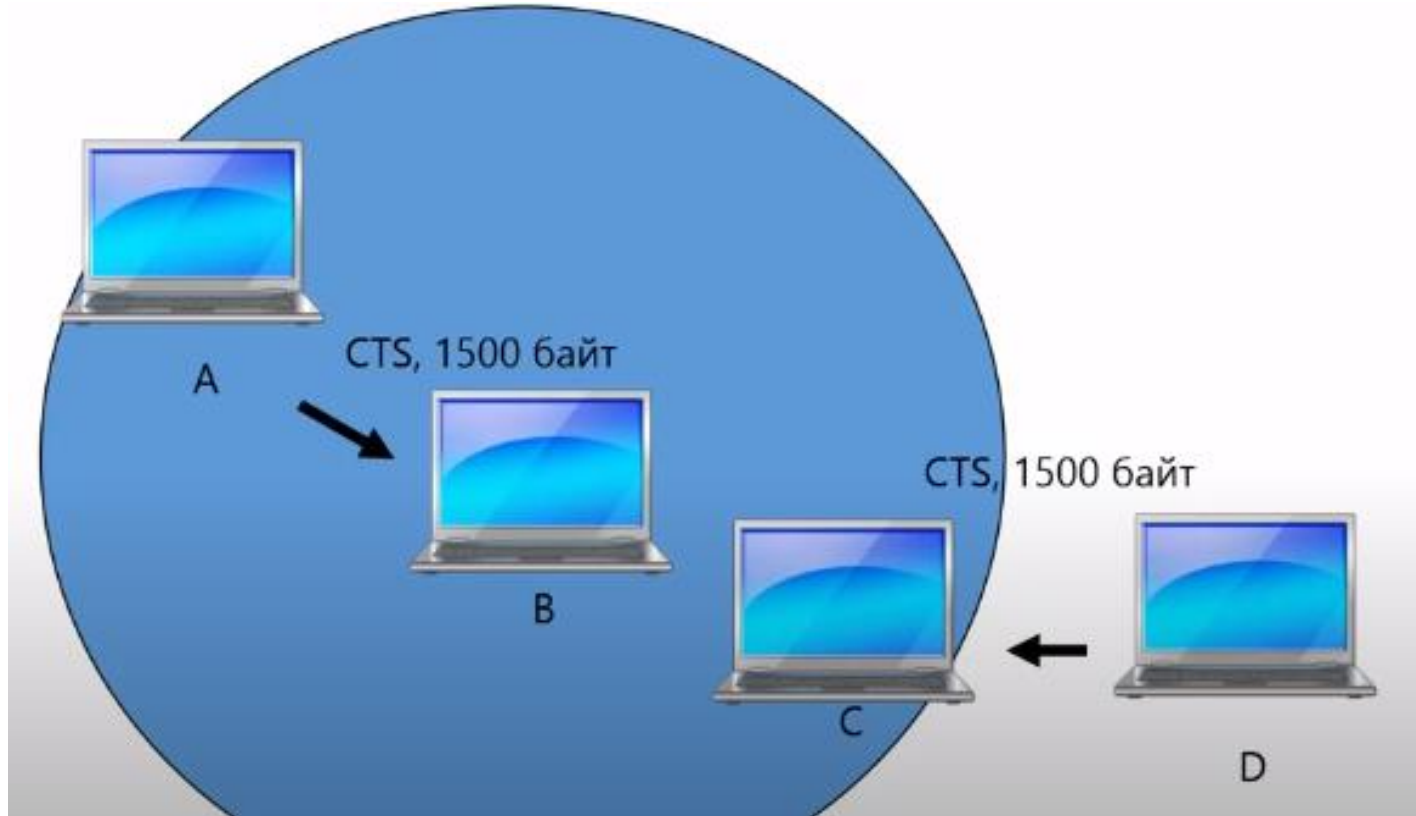


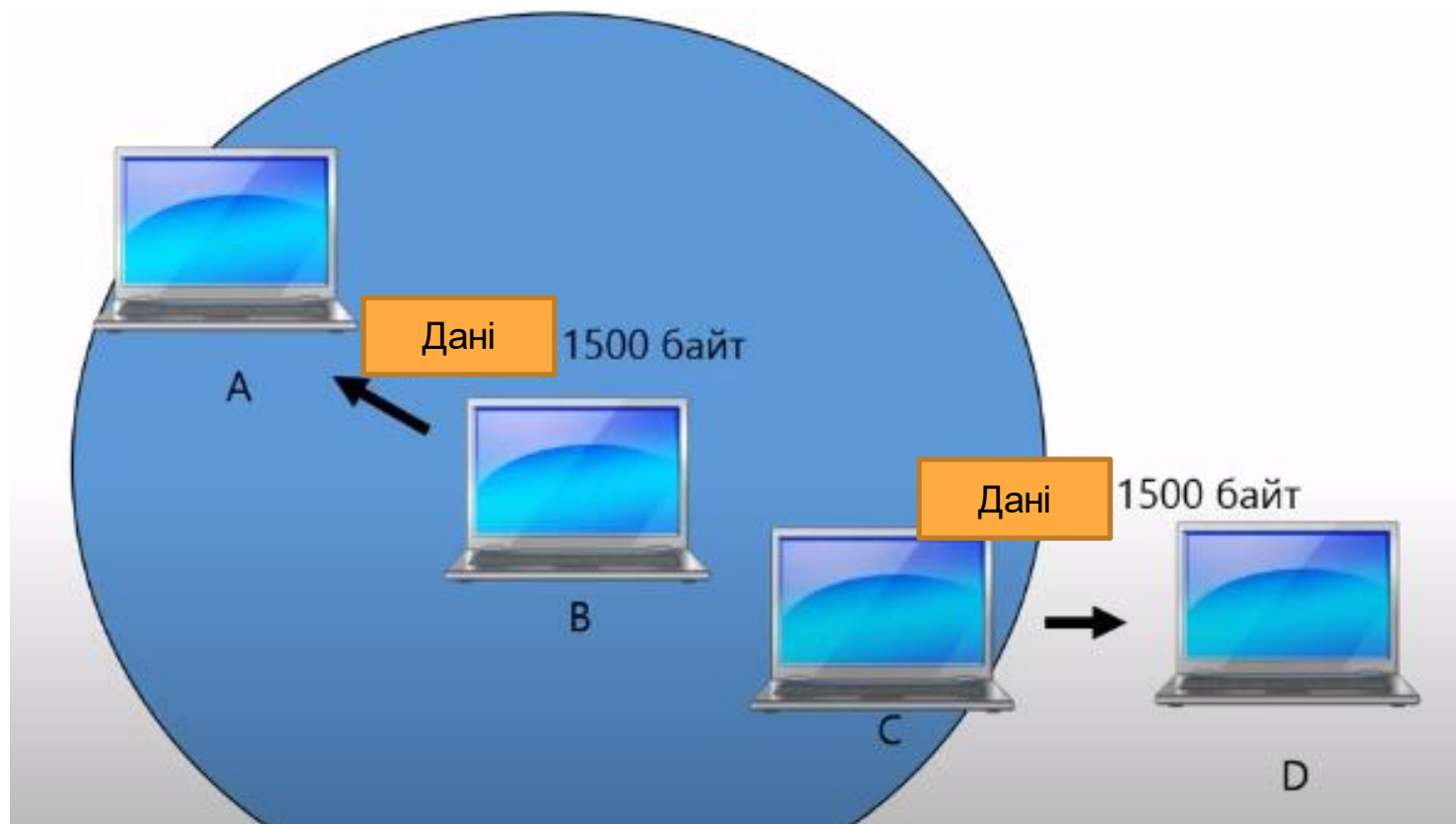




МАСА: вирішення проблеми "засвіченої" станції







Wi-Fi: формат кадру

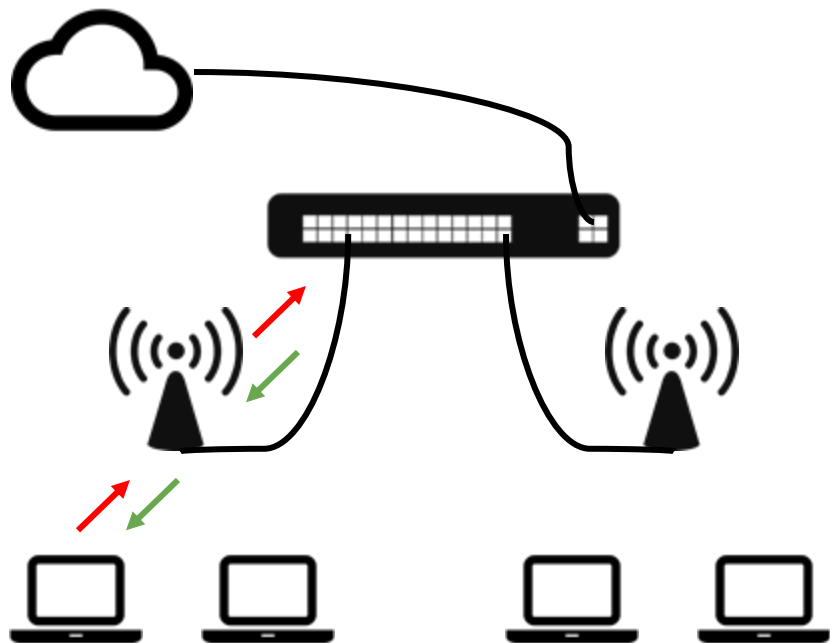
LLC - кадр Ethernet, MAC - кадр 802.11

2 байти	2	6	6	6	2	6	0-2304	4
керування кадром	трива- лість	адреса 1	адреса 2	адреса 3	керування чергою	адреса 4	дані	контр. сума

Основна особливість - 4 адреси:

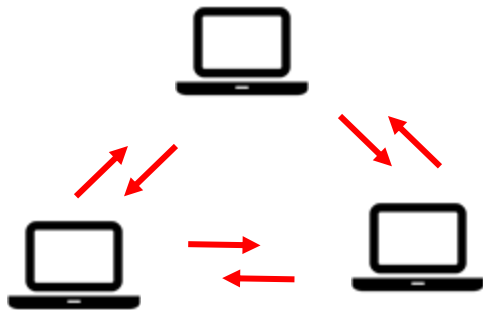
- DA - Destination Address
- SA - Source Address
- RA - Receiver Address (приймач даних з б/д середовища)
- TA - Transmitter Address (передавач даних в б/д середовище)

Адреса 1	Адреса 2	Адреса 3	Адреса 4
RA (Access Point)	TA=SA (Host)	DA (Router)	
RA=DA (Host)	TA (Access Point)	SA (Router)	



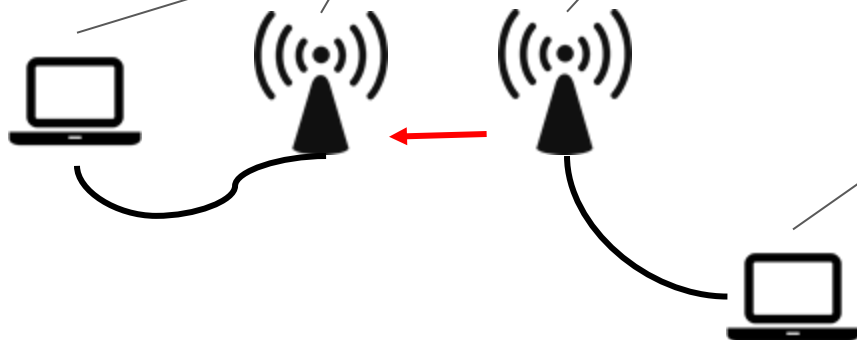
Інфраструктурний режим

Адреса 1	Адреса 2	Адреса 3	Адреса 4
RA = DA	TA = SA	BSSID identifier (генерується автоматично)	



Однорангова мережа

Адреса 1	Адреса 2	Адреса 3	Адреса 4
RA	TA	DA	SA



Бездротовий міст

2 байти	2	6	6	6	2	6	0-2304	4
керування кадром	тривалість	адреса 1	адреса 2	адреса 3	керування чергою	адреса 4	дані	контр. сума

2 біти	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1
версія протоколу	тип кадру	підтип	To DS (від б/д до дрот.)	From DS (від дрот. до б/д)	MF	RT	PM	MD	PF	Order

Версія протоколу: 0 (решта значень зарезервована на майбутнє); **Тип кадру:** кадр даних, RTS, CTS, ACK (підтвердження отримання), дані, кадри керування тощо.

MF (More Fragments) - фрагментація (номер послідовності і фрагмента в полі керування чергою)

RT - повторне відправлення (підтвердження може теж згубитися!)

PM (Power Management) - керування живленням (станція повідомляє про перехід в сплячий режим); **MD (More Data)** - точка доступу повідомляє, що ще є дані; **PF (Protection Frame)** - чи використовується шифрування; **Order** - чи важливий порядок кадрів

Багато помилок - фрагментація

1500 байт

500 байт

№ послідовності = 12345, № фрагмента = 1, MF = 1

500 байт

№ послідовності = 12345, № фрагмента = 2, MF = 1

500 байт

№ послідовності = 12345, № фрагмента = 3, MF = 0

Швидкість падає, але дані все ж передаються

Керування живленням (PSM – Power Saving Mode)

Важливо економити енергію, щоб продовжити службу батареї!

PSM:

- Режими роботи станції - активний і сплячий.
- У сплячому режимі дані не передаються і не приймаються.
- Точка доступу записує кадри для сплячої станції в буфер.
- Спляча станція регулярно прокидається і запитує в точки доступу, чи є кадри для неї. Якщо так, то приймає їх і знову переходить у сплячий режим

Сервіси Wi-Fi

Сервіси Wi-Fi

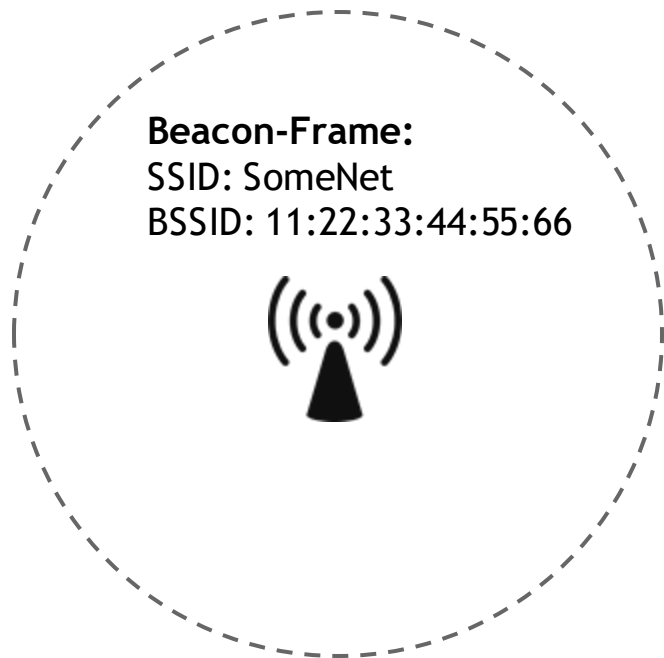
Ethernet:

Передавання даних (достатньо просто фізично під'єднатися)

Wi-Fi:

- Аутентифікація
- Асоціація (обмін технічними повідомленнями)
- Передавання даних
- Захист інформації (шифрування)
- Роумінг
- ...

Базовий набір сервісів



BSSID (Basic Service Set Identifier - MAC-адреса)

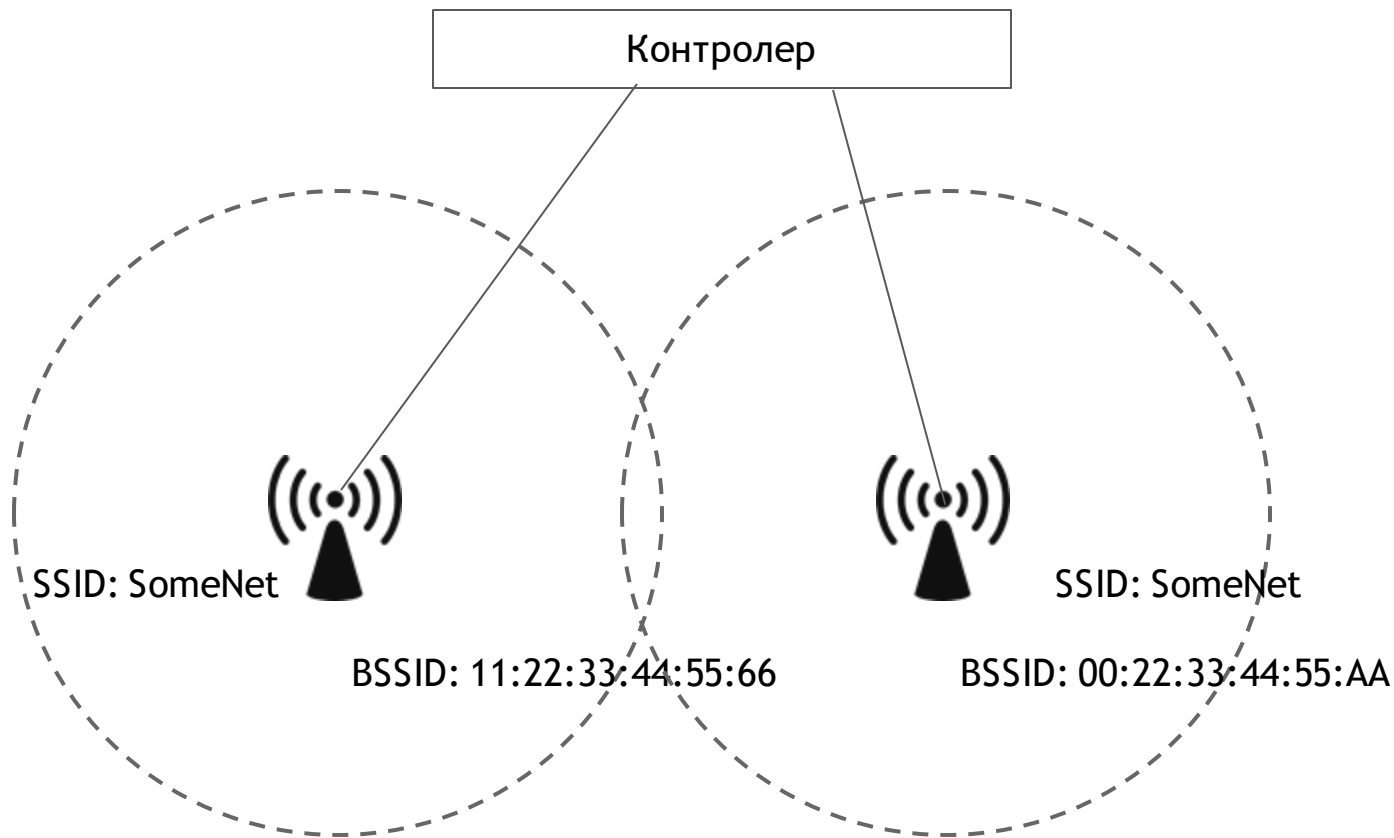
Режими аутентифікації:

- Open (під'єднатися може хто завгодно, шифрування не використовується!)
- Personal (один пароль для всіх пристроїв)
- Enterprise (різні паролі, вимагає додаткової інфраструктури - сервера аутентифікації (протоколи RADIUS, LDAP та ін.)

Іноколи після підключення до точки доступу потрібна додаткова авторизація на сервері авторизації (у вікні браузера)

Асоціація

Розширений набір сервісів: роумінг / реасоціація



Шифрування

Шифруються тільки **дані**, заголовки не шифруються

Типи шифрування:

- **WEP (Wired Equivalent Privacy)** - вже не використовується, легко зламується
- **WPA (Wi-Fi Protected Access)**
- **WPA2** (на сьогодні зламати не вдалося)

802.15.1 (Bluetooth)

Належить до WPAN (Wireless Personal Area Networks) - **до 10 м**

TDM - мультиплексування з розділенням по часу



Мережі на основі стільникового зв'язку

Стандарт **GSM (Global System for Mobile Communication)**

Мережі **1G, 2G, 3G, 4G, 5G**

2G: Комплексне використання технологій **FDM** і **TDM**

3G: **GPRS (General Packet Radio Service)**

4G: технології **LTE** і **WiMAX**

5G: стандарт **NR (New Radio)**

6G: ...



Протокол CDMA

CDMA (Code Division Multiple Access) - протокол множинного доступу з кодовим розділенням.

Відправник 1

1	1	1	0
---	---	---	---

0				1			
0	0	0	1	1	1	1	0

Відправник 2

1	0	1	0
---	---	---	---

1				1			
1	0	1	0	1	0	1	0

Отримувач

1	0	1	1	2	1	2	0
---	---	---	---	---	---	---	---