

Лекція 8.

Тема. Канали передачі та прийому інформації.

Розділ. Модуляція в каналах передачі та прийому інформації.

План лекції:

1. Визначення модуляції.
2. Види модуляції.
 - 1.1. Аналогова модуляція.
 - 1.2. Цифрова модуляція.
 - 1.3. Імпульсна модуляція.
3. Основні характеристики.
4. Деякі види модуляції.
 - 4.1. Дельта модуляція.
 - 4.2. Сигма-дельта модуляція.
 - 4.3. Стандарти мобільного зв'язку.

1. Визначення модуляції.

Модуляція (лат. *modulatio* - розміреність, ритмічність) - процес зміни одного або декількох параметрів високочастотного несучого коливання за законом низькочастотного інформаційного сигналу (повідомлення).

Інформація, передається, закладена в керуючому (модулюючому) сигналі, а роль носія інформації виконує високочастотне коливання, що має назву несучого. Модуляція, таким чином, являє собою процес «насадки» інформаційного коливання на заздалегідь відому несучу.

В результаті модуляції спектр низькочастотного керуючого сигналу переноситься в область високих частот. Це дозволяє при організації мовлення налаштувати функціонування всіх приймально-передавальних пристроїв на різних частотах для того, щоб вони «не заважали» один одному.

У ролі несучого коливання можуть бути використані коливання різної форми (гармонійні, прямокутні, трикутні і т. д.), однак найчастіше застосовуються гармонійні коливання. В залежності від того, який з параметрів несучого коливання змінюється, розрізняють види модуляції, а саме амплітудна, частотна, фазова та ін. Модуляція дискретним сигналом називається цифровою модуляцією або маніпуляцією.

2. Види модуляції.

Розрізняють слідуючі види модуляції (рис. 8.1.).

Аналогова модуляція

- Амплітудна модуляція (АМ)
- Амплітудна модуляція з однією бічною смугою (SSB - односмугова АМ)
- Балансная амплітудна модуляція (БАМ) - АМ з придушенням несучої

- Квадратурна модуляція (QAM)
- Кутова модуляція
- Частотна модуляція (ЧМ)
- Лінійна частотна модуляція (ЛЧМ)
- Фазова модуляція (ФМ)
- Сигнально-кодова модуляція (СКМ), в англomовному варіанті Signal
- Code Modulation (SCM)
- Дельта (Δ), сігма-дельта модуляція (Σ - Δ)

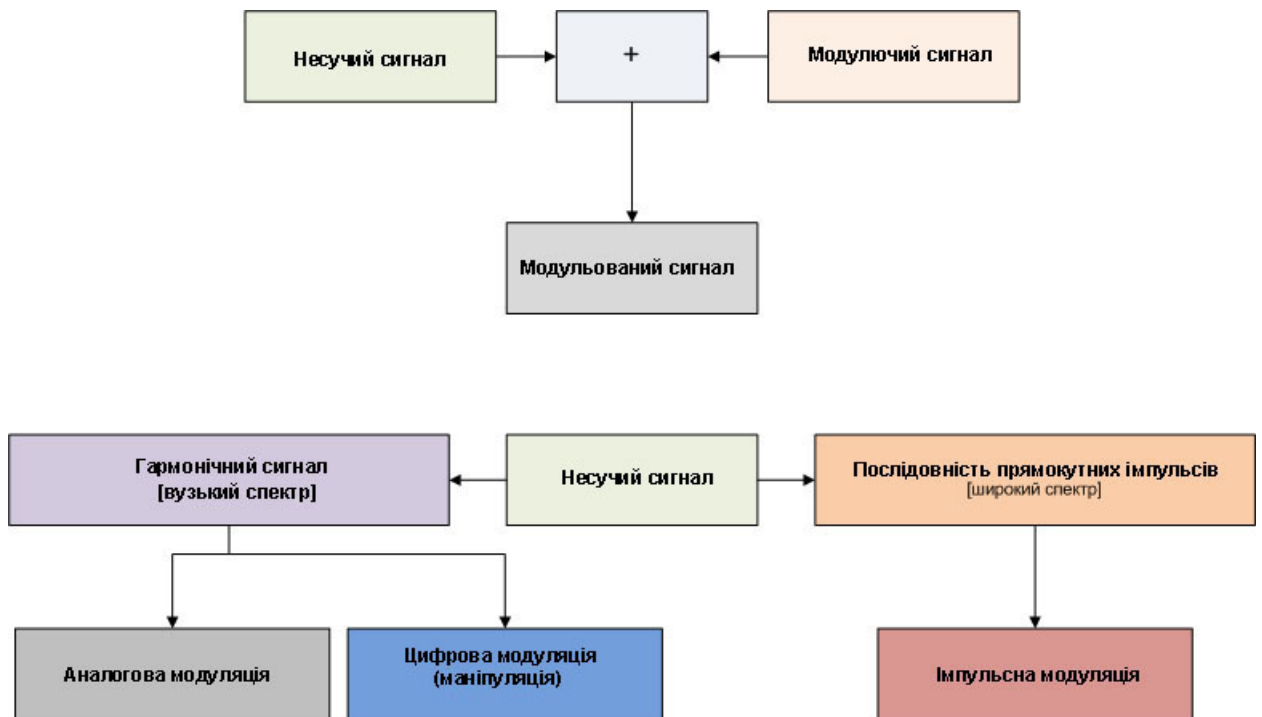


Рисунок. 8.1. Види модуляції.

Цифрова модуляція (маніпуляція).

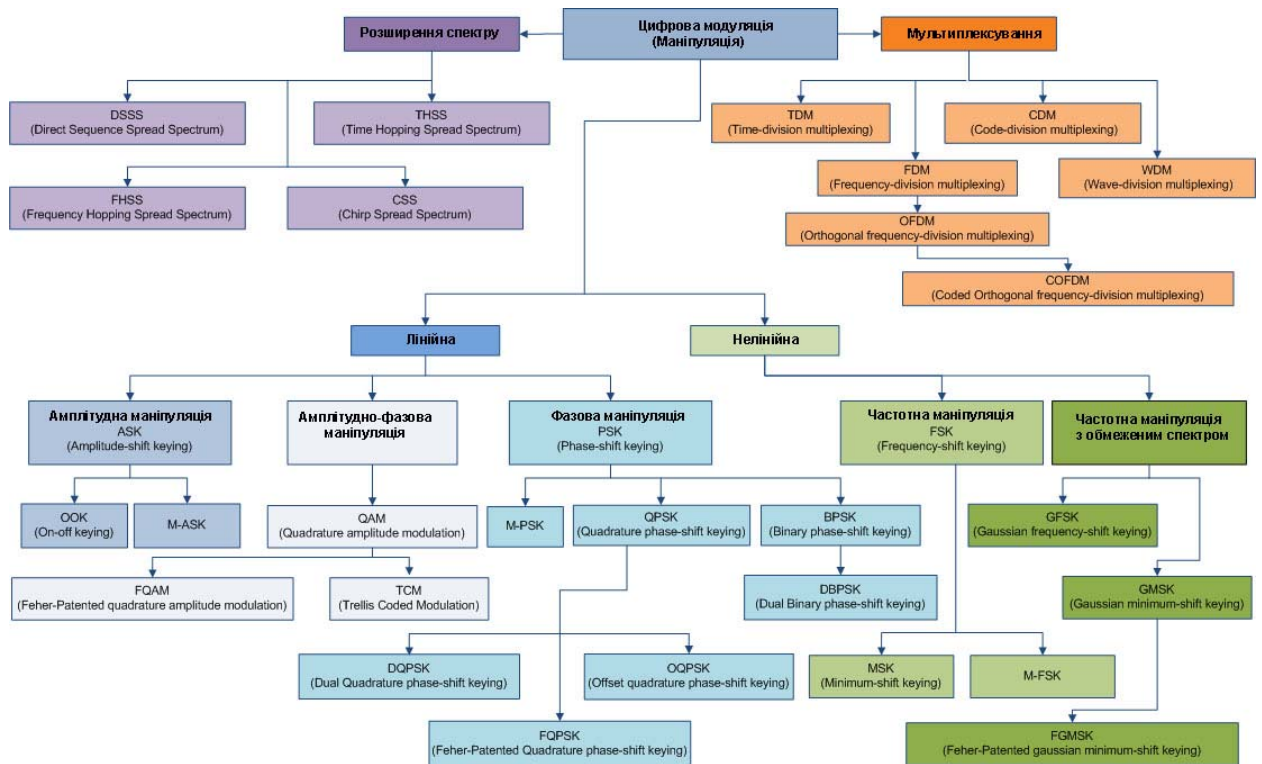


Рисунок 8.2. Цифрова модуляція (маніпуляція).

Імпульсна модуляція.

- Імпульсно-кодова модуляція (ІКМ або РСМ - Pulse Code Modulation)
- Диференціальна імпульсно-кодова модуляція (ДІКМ або DPCM - Differential PCM)
- Адаптивна диференціальна імпульсно-кодова модуляція (АДІКМ або ADPCM - Adaptive DPCM)
- Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ)
- Амплітудно-імпульсна модуляція (АІМ)
- Частотно-імпульсна модуляція (ЧІМ)
- Щілинно-імпульсна модуляція
- Фазово-імпульсна модуляція (ФІМ)
- Дельта-модуляція (ДМ або Δ модуляція)
- Сігма-дельта модуляція (Σ - Δ)

3. Основні характеристики.

● **Енергетична ефективність** (потенційна завадостійкість) характеризує достовірність переданих даних при впливі на сигнал адитивного білого гауссовського шуму, за умови, що послідовність символів відновлена ідеальним демодулятором. Визначається мінімальним співвідношенням сигнал / шум (E_b/N_0), який необхідний для передачі даних через канал з ймовірністю помилки, що не перевищує задану. Енергетична ефективність визначає мінімальну потужність передавача, необхідну для достовірної роботи. Характеристикою методу модуляції є крива енергетичної

ефективності - залежність ймовірності помилки ідеального демодулятора від співвідношення сигнал / шум (E_b/N_0).

- **Спектральна ефективність** - співвідношення швидкості передачі даних до використаної смуги частот пропускання радіоканалу.

Приклади:

AMPS: 0,83

NMT: 0,46

GSM: 1,35

- **Стійкість до впливів каналу** передачі характеризує достовірність переданих даних при впливі на сигнал специфічних викривлень: завмирання внаслідок багатопроменевого поширення, обмеження смуги, зосереджені по частоті або часу завади, ефект Доплера та ін.

- **Лінійність підсилювачів**. Для посилення сигналів з деякими видами модуляції можуть бути використані нелінійні підсилювачі, що дозволяє істотно знизити енергоспоживання передавача, при цьому рівень позасмугового випромінювання не перевищує допустимих меж. Даний фактор важливий для систем рухомого зв'язку.

- **Складність реалізації** - визначається обчислювальним ресурсом, необхідним для реалізації алгоритму демодуляції, і вимогами до характеристик аналогової частини.

4. Деякі види модуляції.

4.1. Дельта-модуляція (Δ).

Дельта-модуляція (ДМ) - спосіб перетворення аналогового сигналу в цифрову форму. Метод дельта-модуляції був винайдений в 1946 р.

Суть модуляції.

У кожен момент відліку часу сигнал порівнюється з пилкоподібною напругою на кожному кроці дискретизації. Якщо відлік сигналу перевищує по амплітуді пилкоподібну напругу, то останній наростає до наступної точки дискретизації, в іншому випадку він змінює зростання на спад. У простій системі нахил пилкоподібної напруги зберігається незмінним на всьому протязі процесу. Отриманий бінарний сигнал можна розглядати як похідну від пилкоподібної напруги. Вибираючи досить малим значення кроку Δ , можна отримати будь-яку задану точність представлення сигналу.

Фактично, дельта-модуляція являє собою різновид іншого, більш відомого, способу перетворення - імпульсно-кодової модуляції (ІКМ), в якій число рівнів квантування дорівнює двом. При ДМ по каналу зв'язку передається не абсолютне значення сигналу, а різниця між вихідним аналоговим сигналом і апроксимуючою напругою (сигнал помилки). У порівнянні зі своїми вічними конкурентами, ІКМ і АДІКМ, дельта-модуляція характеризується меншою складністю технічної реалізації, більш високими перешкодозахищеністю і гнучкістю зміни швидкості передачі. Перевага дельта-модуляції в порівнянні, наприклад, з ІКМ, яка також генерує бінарний сигнал, полягає не стільки в реалізованій точності при заданій частоті дискретизації, скільки в простоті реалізації.

Основний недолік ДМ полягає в тому, що дельта-кодер не встигає відстежувати швидкі зміни рівня сигналу, внаслідок чого виникає перевантаження по крутизні. Існує велика кількість різновидів ДМ, в яких задіюються різні механізми усунення цього виду спотворень.

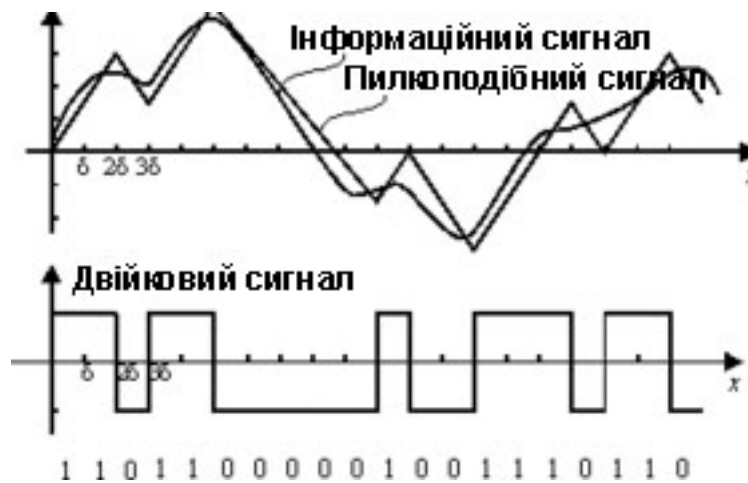


Рисунок 8.3. Дельта модуляція.

4.2. Сіigma-дельта (Δ - Σ) модуляція.

Сіigma-дельта модуляція здійснюється всього одним розрядом, але з частотою, що в десятки і сотні разів перевищує частоту Найквіста (FH). У процесі такого перетворення аналізується не амплітуда сигналу, а напрямок її зміни. Якщо амплітуда зростає, то результатом перетворення буде 1, а якщо зменшується - то 0. Нульовий рівень кодується чергуючими нулями і одиницями. Основна ідея цього методу полягає в тому, що спектр шуму квантування, що виникає в процесі дискретизації з низькою роздільністю, перетвориться таким чином, що в смузі низьких частот його рівень знижується, а в області високих частот (за межами основної смуги) підвищується. Потім отриманий цифровий потік проріджують фільтром низьких частот з отриманням послідовності відліків необхідної розрядності, що слідує з обраною частотою дискретизації.

" Δ - Σ "-модуляція відрізняється від простої Δ -модуляції тим, що передається інтеграл різниці дельта модуляції. Така модуляція має високу завадостійкість. На рис. 8.4. показана структурна схема модулятора за методом сіigma-дельта (Δ - Σ) модуляції.

Склад: двохходовий інтегратор, компаратор (дискримінатор нуля), ГТІ, логічні елементи "і", реверсивний ЛЛ.

При вхідній напрузі $u_x = 0$ схему можна розглядати як симетричний мультівібратор, або як ПНЧ з початковою частотою $\neq 0$.

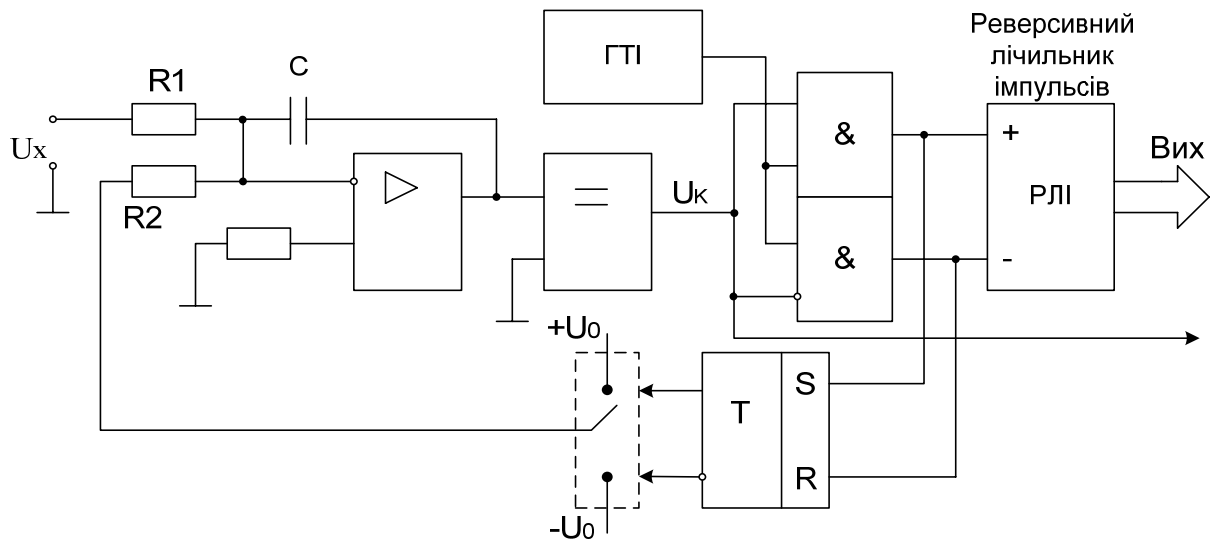


Рисунок 8.4. Схема "Сігма-дельта" модулятора.

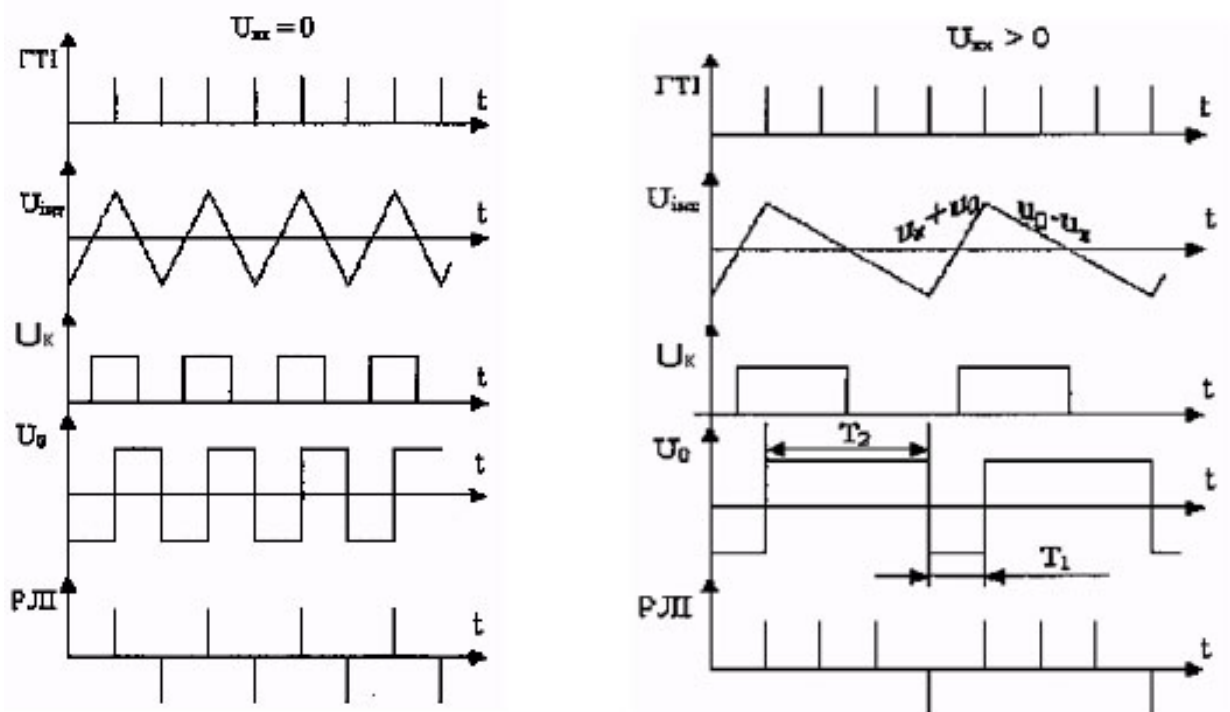


Рисунок 8.5. Часові діаграми роботи "Δ-Σ" модулятора.

Кількість імпульсів, що надходить до сумуючого і від'ємного входів буде рівною і результат перетворення дорівнює нулю.

При $u_x \neq 0$ симетрія порушується і кількість імпульсів, що приходять від ГТІ на РЛІ (реверсивний ЛІ) за час T_1 і T_2 будуть різними. Таким чином відбувається перетворення u_x у відносну щільність імпульсів і кодування цієї щільності. Схема може реагувати на будь-яку полярність вхідного сигналу.

Основні співвідношення:

$$\frac{1}{RC} \int_0^{T_1} (u_x + u_0) dt = \frac{1}{RC} \int_0^{T_2} (u_0 - u_x) dt, \quad R_1 = R_2 = R$$

$$(u_x + u_0)T_1 = (u_0 - u_x)T_2 \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2 + T_1} = \frac{u_x}{u_0}; \quad \frac{N_2 - N_1}{N_2 + N_1} = \frac{u_x}{u_0}$$

Якщо забезпечити $N_1 + N_2 = \text{const}$, то $N_1 - N_2$ пропорційно u_x . і додатково на виході РЛП отримаємо двійковий паралельний код, пропорційний вхідній напрузі, тобто АЦП. Модульований сигнал U_k формується на виході компаратора.

4.3. Стандарти мобільного зв'язку.

Мобільний зв'язок надає можливість використання його для передачі вимірювальної інформації з двох причин – високий рівень технічних характеристик та широка доступність в поєднанні з низькою собівартістю реалізації.

Для систем зв'язку існує два основних ресурсу - частота і час.

Поділ пари приймачів і передавачів по **частотах** базується на тому, що кожній парі виділяється частина спектра на весь час з'єднання, називається **FDMA** (Frequency Division Multiple Access).

Поділ за **часом** базується на тому, що кожній парі приймач-передавач виділяється весь (або велика частина) спектру на виділений відрізок часу, називають **TDMA** (Time Division Multiple Access).

У **CDMA** (Code Division Multiple Access), для кожного вузла виділяється весь спектр частот і весь час. CDMA використовує спеціальні коди для ідентифікації з'єднань і організації каналів. Канали трафіку при такому способі розділення середовища створюються за допомогою застосування широкосмугового кодо-модульованого радіосигналу - шумоподібного сигналу, що передається в загальний для інших аналогічних передавачів канал, в єдиному широкому частотному діапазоні. В результаті роботи декількох передавачів ефір у існуючому частотному діапазоні стає ще більш шумоподібним. Кожен передавач модулює сигнал із застосуванням присвоєного в даний момент кожному користувачеві виділеного йому числового кода. Приймач, настроєний на той самий код, виділяє з загальної какофонії радіосигналів ту частину сигналу, яка призначена для нього. Часове або частотне розділення каналів у явному вигляді тут відсутнє, кожен абонент постійно використовує всю ширину каналу, передаючи і отримуючи сигнал до/з спільного частотного діапазону. При цьому широкосмугові канали прийому та передачі знаходяться на різних частотних діапазонах і не заважають один одному. Смуга частот одного каналу дуже широка, мовлення абонентів накладається одне на одного, але, оскільки їх коди модуляції сигналу відрізняються, вони можуть бути виділені апаратно-програмними засобами приймача.

FDMA (англ. Frequency Division Multiple Access - множинний доступ з поділом каналів по частоті) - спосіб використання радіочастот, коли в одному частотному діапазоні знаходиться тільки один абонент, різні абоненти використовують різні частоти в межах однієї соти. Тому, поки початий запит не закінчений, канал закритий до інших сеансів зв'язку. Повна дуплексна

(Full-Duplex) FDMA передача використовує 2 канали, один для передачі, інший для прийому. FDMA використовувався в першому поколінні (1G) аналогової зв'язку і цей принцип реалізований в стандартах GSM (спільно з TDMA), AMPS, N-AMPS, NMT, ETACS (американський стандарт).

TDMA (англ. Time Division Multiple Access - множинний доступ з поділом часу) - спосіб використання частот, коли в одному частотному діапазоні знаходяться декілька абонентів, але різні абоненти використовують різні часові слоти (інтервали) для передачі. Таким чином, TDMA надає кожному користувачеві повний доступ до діапазону частот протягом короткого періоду часу (в GSM один частотний інтервал ділиться на 8 тимчасових слотів).

CDMA (англ. Code Division Multiple Access - множинний доступ з кодовим поділом) - технологія зв'язку, при якій канали передачі мають спільну смугу частот, але різну кодову модуляцію. Найбільшу популярність CDMA отримала після появи мереж стільникового мобільного зв'язку.

WiMAX стандарт.

WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access, стандартизована інститутом IEEE технологія широкопasmового бездротового зв'язку є доповненням стандарту DSL і кабельної технології в якості альтернативного вирішення проблеми "останньої милі" на великих відстанях. Технологію WiMAX можна використовувати для реалізації широкопasmових з'єднань "останньої милі", розгортання точок бездротового доступу, організації високошвидкісного зв'язку між філіями компаній і вирішення інших подібних задач.

Таблиця існуючих версій стандарту WiMAX.

Технологія	Стандарт	Використання	Пропускна здатність	Радіус дії	Частоти
Wi-Fi	802.11a	WLAN	до 54 Мбіт/с	до 300 метрів	5,0 ГГц
Wi-Fi	802.11b	WLAN	до 11 Мбіт/с	до 300 метрів	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11g	WLAN	до 54 Мбіт/с	до 300 метрів	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11n	WLAN	до 450 Мбіт/с	до 300 метрів	2,4 — 2,5 или 5,0 ГГц
WiMax	802.16d	WMAN	до 75 Мбіт/с	25-80 км	1,5-11 ГГц
WiMax	802.16e	Mobile WMAN	до 40 Мбіт/с	1-5 км	2,3-13,6 ГГц

Технологія	Стандарт	Використання	Пропускна здатність	Радіус дії	Частоти
WiMax 2	802.16m	Mobile WMAN	до 1 Гбіт/с (<u>WMAN</u>)	В розробці	120-150 км
Bluetooth v. 1.1	802.15.1	WPAN	до 1 Мбіт/с	до 10 метрів	2,4 ГГц
Bluetooth v. 2.0	802.15.3	WPAN	до 2,1 Мбіт/с	до 100 метрів	2,4 ГГц
Bluetooth v. 3.0	802.11	WPAN	от 3 Мбіт/с до 24 Мбит/с	до 100 метрів	2,4 ГГц
UWB	802.15.3a	WPAN	110-480 Мбіт/с	до 10 метрів	7,5 ГГц
ZigBee	802.15.4	WPAN	от 20 до 250 Кбіт/с	1-100 м	2,4 ГГц (16 каналов)
Інфрачервоні лінії зв'язку	IrDa	WPAN	до 16 Мбіт/с	5 до 50 см	Інфрачервоне випромінювання