

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ МУЛЬТИМЕДІА

**Методичні вказівки**  
до лабораторних робіт  
з дисципліни «Методи та засоби створення мультимедіа»  
для студентів радіотехнічного факультету

*Рекомендовано вченою радою радіотехнічного факультету*

Київ  
НТУУ «КПІ»  
2012

Методи та засоби створення мультимедіа [Текст] : метод. вказівки до лаборатор. робіт з дисципліни «Методи та засоби створення мультимедіа» для студ. радіотехнічного ф-ту / Уклад.: Р.В. Антипенко - К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 19 с.

Гриф надано вченою радою радіотехнічного факультету НТУУ "КПІ"

(Протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_)

Рекомендовано навчально-методичною комісією радіотехнічного факультету

(Протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_)

На в ч а л ь н е   в и д а н н я

Методи та засоби створення мультимедіа

**Методичні вказівки**

до лабораторних робіт

з дисципліни «Методи та засоби створення мультимедіа»

для студентів радіотехнічного факультету

Укладачі

*Антипенко Руслан Володимирович, к.т.н.,доц.*

Відповідальний

редактор

*Рибін Олександр Іванович, д.т. н, проф.*

Рецензент

*Сєдов Сергій Олексійович, к.т.н. доц.*

*За редакцією укладачів*

---

НТУУ «КПІ»

Радіотехнічний факультет

03056, Київ, вул.Політехнічна, 12, корп. 17

Тел./факс (044) 454-92-93

## Лабораторна робота № 1

### Тема: АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ MPEG-2.

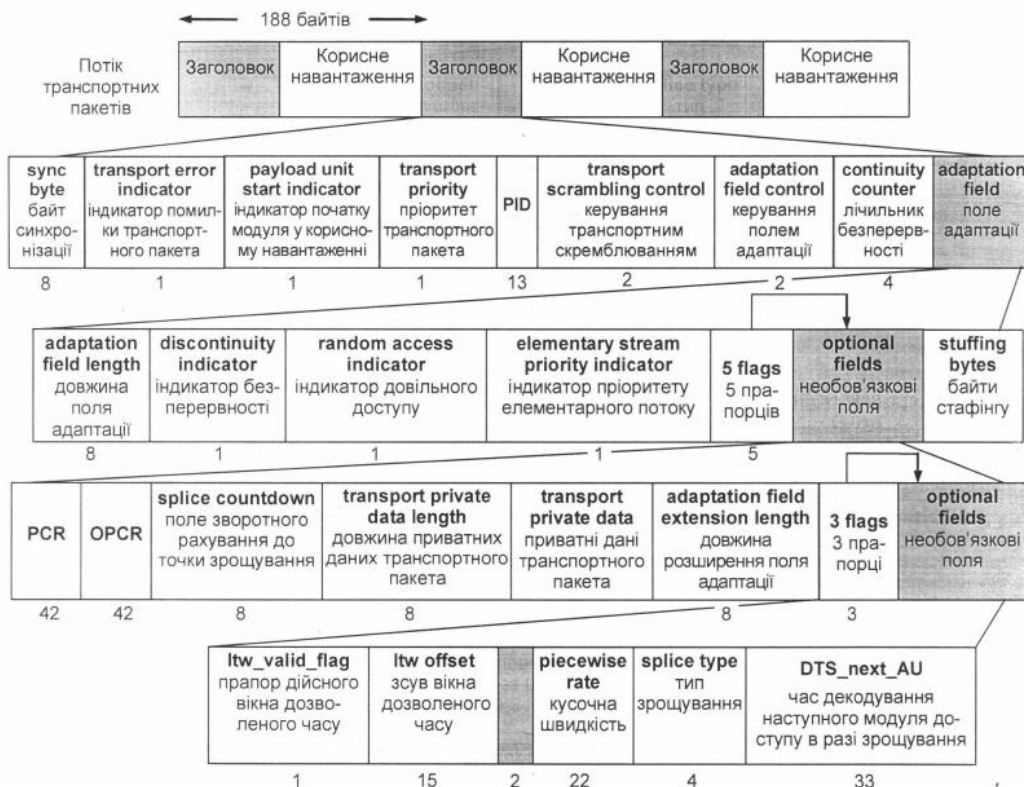
**Мета роботи:** ознайомитися з аналізатором транспортних потоків DTC-320 StreamXpert (DekTec Digital Video BV), вивчити структуру транспортного потоку MPEG-2, провести контроль якості транспортного потоку MPEG-2 у відповідності із ДСТУ ETSI TR 101 290:2004.

#### Завдання на роботу.

1. Ознайомитися із аналізатором потоків DTC-320 StreamXpert (DekTec Digital Video BV).
2. Визначити наявні сервіси в запропонованому мультиплексі.
3. Визначити характеристики потоків аудіо, відео та даних.
4. Визначити PID таблиць сервісної інформації.
5. Виміряти параметри PCR.
6. Провести контроль якості транспортного потоку у відповідності із ETSI TR 101 290.
7. Зробити висновки.

#### Теоретична довідка.

1. Синтаксис транспортного потоку MPEG-2 показано на рис. 1.



## Рисунок 1 – Синтаксис транспортного потоку

### 2. Таблиці сервісної інформації.

Специфічна програмна інформація **PSI (Program-Specific Information)** надає дані, необхідні для автоматичного конфігурування приймача:

**PMT (Program Map Table)** таблиця програмної карти

**PAT (Program Association Table)** таблиця програмних зв'язків

**CAT (Conditional Access Table)** таблиця обмеженого доступу

**NIT (Network Information Table)** таблиця мережної інформації

Службова інформація **SI (Service Information)** призначена для опису технічних атрибутів кожної із доступних служб і необхідна для того, щоб користувач міг ідентифікувати служби та події, що можуть переноситися різними мультимедіа по різних мережах:

**SDT (Service Description Table)** таблиця опису служб

**EIT (Event Information Table)** таблиця інформації про події

**TDT (Time and Date Table)** таблиця часу і дати

**TOT (Time Offset Table)** таблиця часового зсуву

**BAT (Bouquet Association Table)** таблиця об'єднання пакета програм

**RST (Running Status Table)** таблиця стану передач

**ST (Stuffing Table)** таблиця стафінга (заміна чи відміна дії існуючих секцій)

**SIT (Selection Information Table)** таблиця селективної інформації

**DIT (Discontinuity Information Table)** таблиця неоднорідності інформації

**TSDT (Transport Stream Description Table)** таблиця опису транспортного потоку

### 3. Опорні відліки програмної синхронізації **PCR (Program Clock Reference)**.

Для відтворення відеосигналу необхідно відновлення тактової частоти синхронізації 27 МГц на стороні декодера системи передавання цифрового телебачення. Для можливості відновлення тактової частоти синхронізації всередині транспортного потоку передають значення PCR. Необхідно, щоб значення PCR були правильними в точці введення і щоб їх не було спотворено в колі передавання настільки, щоб могли виникнути проблеми в процесі декодування стиснених сигналів.

Вимірюючи інтервал між прибуттям значень PCR, точність очікуваних значень і джитер, накопичений на цих значеннях PCR, переданих у транспортному потоці, необхідно впевнитися у можливості декодування такого потоку.

Опорний сигнал синхронізації програми — точність **PCR\_AC**.

**Визначення** Точність значення PCR, параметр PCR\_AC визначено як різницю між фактичним значенням PCR і значенням, що має бути в TS представлено індексом байта його фактичної позиції. Значення може бути розраховано для сталої швидкості потоку TS, вимірювання не може призвести до результатів, які мають сенс, за змінної швидкості цифрового потоку TS. Значення параметра PCR\_AC має бути надано в наносекундах.

Вимірювання призначено, щоб визначити повну помилку значення PCR відносно його позиції в TS. Допустимі відхили, визначені в ISO/IEC 13818-1, дорівнюють  $\pm 500$  нс.

Це вимірювання може проводитись як під час роботи служби, так і коли служба не працює.

**Примітка.** Точність PCR визначено у ISO/IEC 13818-1: "Допустимі відхили визначено для значень PCR. Допустимі відхили PCR визначено як максимально дозволена похибка отриманих міток PCR. Ця похибка може бути через неточність у значеннях PCR чи зміну PCR під час повторного мультиплексування. Вона не містить похибки часу прибуття пакета через мережний джитер чи інші причини"

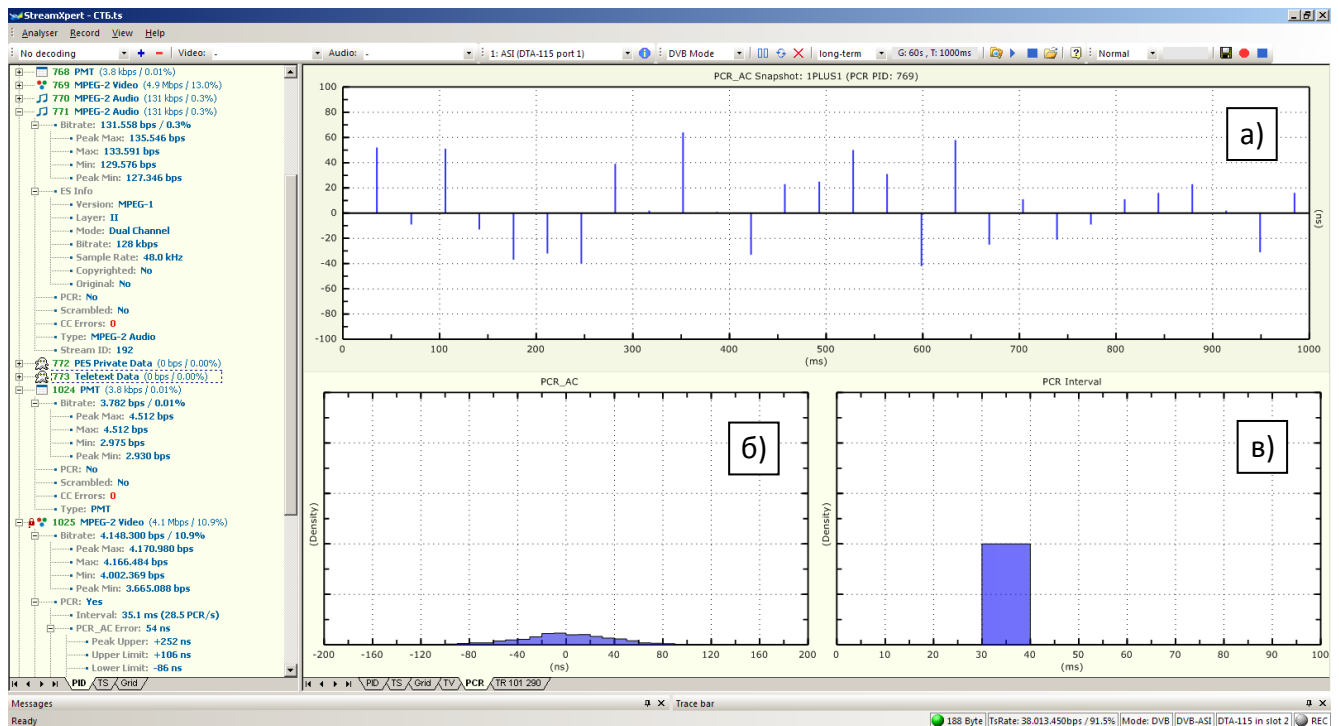


Рисунок 3 – Параметри PCR (а – ряд послідовних вимірювань PCR, б – розподіл параметрів PCR, в – інтервали між послідовними значеннями PCR)

#### 4. Контроль транспортного потоку MPEG-2 за рекомендаціями ETSI TR 101 290.

В Україні впроваджено стандарт, який містить методики вимірювання характеристик і параметрів цифрових мовленнєвих систем і їх компонент: **ДСТУ ETSI TR 101 290:2004 Цифрове телевізійне мовлення. Характеристики системи передавання. Настанови щодо вимірювання.**

Метою випробувань є забезпечення простого і швидкого контролю транспортного потоку MPEG-2. Випробування згруповано у трьох таблицях за ступенем їх важливості для процесів контролювання.

У першій таблиці зазначено основний набір параметрів, який вважають необхідним для впевненості в тому, що цей потік може бути декодовано. У другій таблиці зазначено додаткові

параметри, рекомендовані для постійного контролювання. Третя таблиця містить перелік необов'язкових додаткових параметрів, які можуть становити інтерес для деяких застосувань.

Аналізатор потоків DTC-320 StreamXpert має вбудовані шаблони ETSI TR 101 290 (рис. 1).

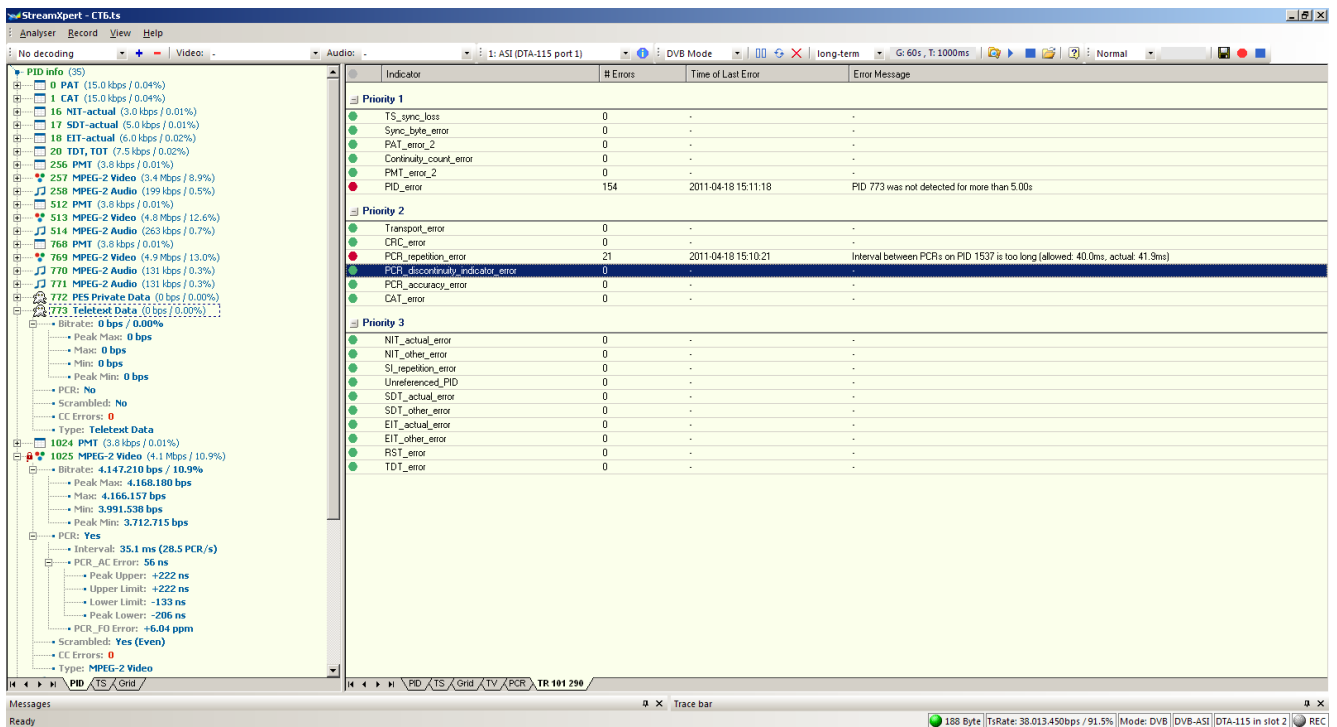


Рисунок 4 – Шаблони ETSI TR 101 290

**Перший пріоритет:** параметри, необхідні для декодування (основний контроль).

### TS\_sync\_loss

Під час оцінювання транспортного потоку MPEG-2 найважливішою функцією є захоплення синхронізації. Реально синхронізація TS залежить від кількості правильних байтів синхронізації, необхідних для забезпечення синхронізації пристрою, та кількості, за якої синхронізація неможлива.

Запропоновано, щоб п'яти послідовних правильних байтів синхронізації (ISO/IEC 13818-1, додаток G.01) було достатньо для захоплення синхронізації, а наявність двох чи більше послідовних пошкоджених байтів синхронізації спричиняла індикацію втрати синхронізації.

*Тільки за наявності синхронізації може бути проведено оцінювання інших параметрів.*

### Sync\_byte\_error

Цей показник встановлюється у разі, якщо правильний байт синхронізації (0x47) не з'являється після 188 байтів чи 204 байтів. Це положення є базовим, тому що таку структуру використовують для синхронізації скрізь у трактах кодування і декодування. Важливо, щоб кожний байт синхронізації було перевірено на коректність, тому що у кодерах перевірки байтів синхронізації може і не бути. Більш того, у деяких кодерах прапорець, байта синхронізації використовують у паралельному інтерфейсі для керування переустановленням початкового числа у генераторі випадкових чисел та інверсією байта без перевірки, чи є відповідний байт дійсно байтом синхронізації.

**PAT\_error** (індикатор 1.3 на рис. 5)

У таблиці програмних зв'язків (PAT), що з'являється тільки в пакетах з PID 0x0000, міститься повідомлення для декодера, яка програма є в транспортному потоці, та є вказівка на таблиці програмної карти, в якій, в свою чергу, є вказівка на компоненти відео-, аудіопотоків та потоків даних, з яких скомпоновано програму.

Якщо PAT втрачено, жодну програму не може бути декодовано.

У пакеті з PID 0x0000 не може міститись нічого, окрім PAT.

#### **PAT\_error\_2**

Переформульований опис помилки PAT\_error\_2 стосується можливості того, що таблиця Програмних Зв'язків може складатися з кількох (послідовних) секцій з тим самим table\_id 0x00.

#### **Continuity\_count\_error**

Для цього показника об'єднано три перевірки. Передумови "невірний порядок надходження пакетів" і "втрачений пакет" можуть створити проблеми для інтегрованого приймача-декодера, який не обладнано додатковою буферною пам'яттю та вбудованими обчислювальними засобами. Для випробувального обладнання немає необхідності розрізняти ці дві передумови, тому що їх об'єднано логічним ЧИ разом з третьою передумовою в один показник.

Це може також стосуватись і втрати пакета на лініях ATM, де один втрачений пакет ATM може спричинити втрату всього пакета MPEG-2.

Передумова "пакет з'являється частіше ніж двічі" може бути ознакою глибшої проблеми, яку постачальник послуги має тримати під наглядом.

#### **PMT\_error**

У таблиці програмних зв'язків (PAT) є повідомлення для декодера, скільки програм є в потоці, і посилання на таблиці програмної карти (PMT), які містять інформацію, де може бути знайдено частки якогось заданого сюжету. Цими частками у контексті є відеопотік (звичайно один) і аудіо- потоки, а також потік даних (наприклад телетекст). Без PMT відповідну програму не може бути декодовано.

#### **PID\_error** (індикатор 1.6 на рис. 5)

Цей показник використовують у разі перевірки, чи існує потік даних для кожного PID, який з'являється. Така помилка може виникнути, якщо транспортний потік мультимплексовано чи демультимплексовано, а потім знов ремультимплексовано.

Інтервал, визначений користувачем, не має перевищувати 5 с для PID аудіосигналу і відео- сигналу (див. примітку). Для служб даних і аудіослужб з дескриптором мови відповідно до ISO 639, параметр типу якого більше за '0', має бути виключено це обмеження у 5 с.

**Примітка.** Для PID, що несуть іншу інформацію, таку як субтитри, служби даних і аудіослужби з дескриптором мови відповідно до ISO 639, параметр типу якого більше за '0', часовий інтервал між двома послідовними пакетами того самого PID має бути значно довше.

В принципі, для кожного PID може бути визначено інший встановлений користувачем період.

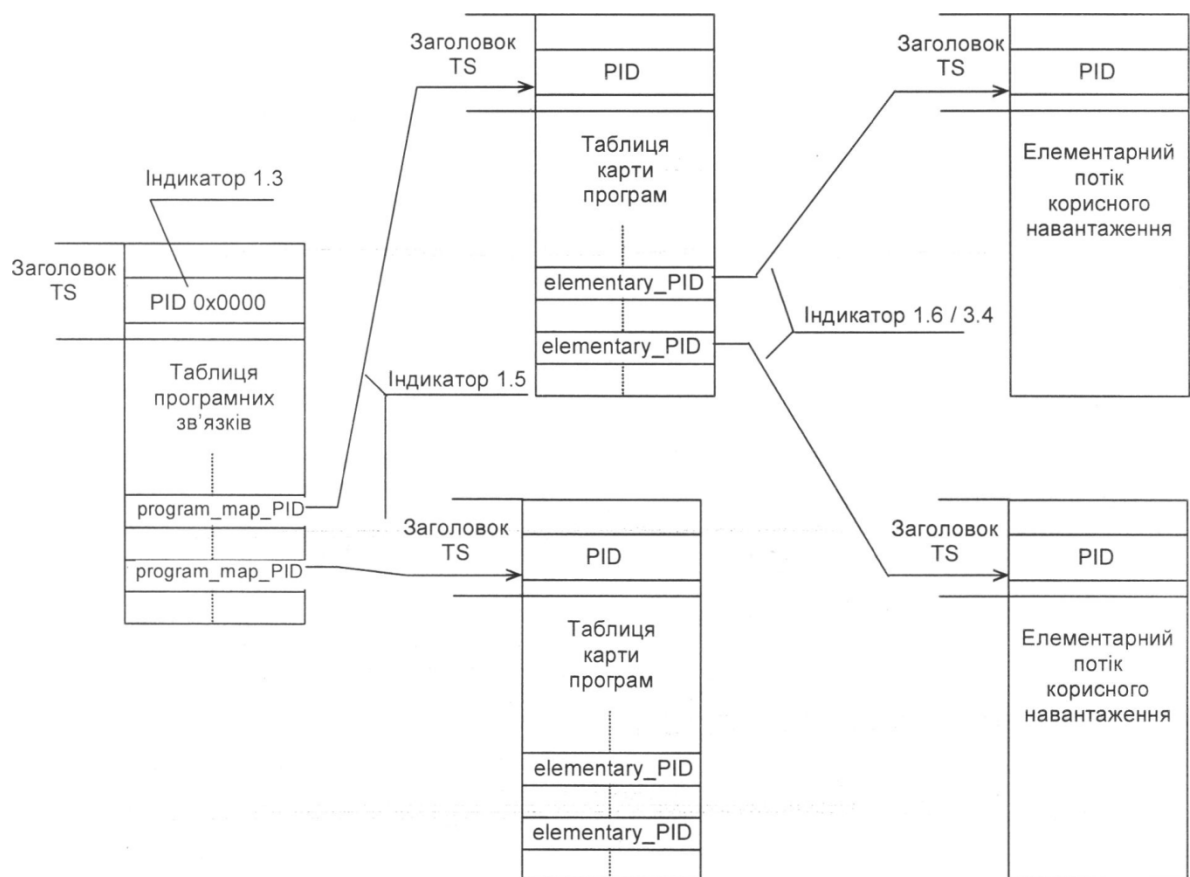


Рисунок 5 — Показники, пов'язані зі структурою транспортного потоку

**Другий пріоритет:** параметри, рекомендовані для постійного чи періодичного контролювання.

#### Transport\_error

Базовий показник помилок у транспортному потоці реалізує логічну функцію, але ним також може бути переустановлюваний двійковий лічильник, який підраховує помилкові пакети TS. Цей лічильник призначено для статистичного оцінювання помилок. Якщо з'являється помилка, то цей пошкоджений пакет далі не повинен використовуватись для індикації про помилки.

Може мати сенс детальніший аналіз пошкоджених пакетів, наприклад забезпеченням окремих лічильників помилок TS для кожного програмного потоку чи включенням PID кожного пошкодженого пакета до протоколу реєстрації подій Transport\_error. Такий додатковий аналіз є необов'язковим і не є частиною цього стандарту.

#### CRC\_error

Перевірка кодом CRC для таблиць CAT, PAT, PMT, NIT, EIT, BAT, SDT чи TOT показує, чи пошкоджено вміст відповідної таблиці. У разі пошкодження вміст відповідної таблиці далі не повинен використовуватись для індикації про помилки.

#### PCR\_repetition\_error

Мітки PCR використовують для підстроювання місцевих генераторів сигналу синхронізації системи з частотою 27 МГц. Якщо ці мітки не з'являються з необхідною регулярністю, частота може мати джитер чи дрейф. Приймач-декодер може вийти з

синхронізму. У системах DVB рекомендовано, щоб період повторювання був не більше за 40 мс.

Показник помилки, який може відображувати результат перевірки періоду повторювання, у майбутніх реалізаціях має називатись **PCR repetition error**.

#### **PCR\_discontinuity\_indicator\_error**

Цей показник встановлюють, коли виникає порушення безперервності значень PCR, яке не було зазначено належним чином індикатором порушення безперервності. Цей показник рекомендовано використовувати для майбутніх реалізацій.

#### **PCR\_accuracy\_error**

Точність PCR в межах  $\pm 500$  не вважають достатньою для відтворення колірнісного підносійного колювання від сигналу системної синхронізації.

Це випробування має бути виконано тільки на транспортному потоці зі сталою швидкістю, як це визначено у ISO/IEC 13818-1.

Подальшу інформацію щодо вимірювань джитера PCR наведено в 5.3.2 та додатку I ДСТУ ETSI TR 101 290:2004.

#### **CAT\_error**

CAT вказує на можливість для приймача з декодером знайти повідомлення EMM, що стосується системи умовного доступу, яку використовує приймач. Якщо CAT немає, приймач не в змозі одержати повідомлення адміністратора системи.

### **Третій пріоритет: контроль, залежний від застосування.**

#### **NIT\_actual\_error**

Таблиці мережної інформації (NIT) згідно зі стандартами DVB містять інформацію про частоту, швидкості кодів, модуляцію, поляризацію тощо різних програм, які може бути використано декодером. Контролюють, чи є NIT, що стосуються відповідного транспортного потоку, у цьому потоці, чи має NIT правильний PID.

#### **NIT\_other\_error**

Надалі таблиці мережної інформації може бути представлено під різними PID і в них зроблено посилання до інших транспортних потоків, щоб забезпечити більше інформації щодо програм, доступних на інших каналах. Їх перенесення не є обов'язковим, тому перевірки виконують тільки якщо вони є.

#### **SI\_repetition\_error**

Мінімальну і максимальну періодичність таблиць службової інформації визначено у EN 300 468 [7], TR 101 211 [8]. Цю періодичність і контролює показник SI\_repetition\_error. Цей показник має бути встановлено додатково до інших індикаторів помилок повторювання специфічних таблиць.

#### **Unreferenced\_PID**

Кожний потік даних програми, що не є приватною, повинен мати значення PID, зазначені у таблицях PMT.

#### **SDT\_actual\_error**

Таблиця SDT описує служби, доступні глядачеві. Її розділяють на субтаблиці, які містять деталі контенту поточного транспортного потоку (обов'язково) та іншого транспортного потоку

(необов'язково). Без SDT приймач IRD не в змозі надати глядачеві перелік доступних послуг. Можна також передавати BAT на тому самому PID, який групує служби в пакет.

#### **SDT\_other\_error**

Цю перевірку виконують, якщо встановлено наявність SDT для інших транспортних потоків.

#### **EIT\_actual\_error**

Таблиця інформації про події (EIT) описує, що йде тепер і буде далі на кожній службі, та необов'язково може надавати цілком розклад програм. Цю таблицю поділяють на кілька суб-таблиць, які містять обов'язкову інформацію про те, що йде зараз і буде слідом для поточного ТБ. Якщо немає інформації про "поточні" чи "наступні" події, порожні секції EIT передають згідно з TP 101 211 [8]. Розклад програм у EIT є доступним тільки у разі, якщо транспортний потік не скрембльовано.

#### **EIT\_other\_error**

Цю перевірку виконують, якщо встановлено наявність EIT для інших транспортних потоків.

#### **RST\_error**

Таблиця RST надає механізм швидкого поновлення інформації стану передач, поданого у EIT.

#### **TDT\_error**

Таблиця TDT містить інформацію про поточний універсальний скоординований час і дату (UTC). На додаток до TDT може бути передано таблицю TOT, яка містить дані про зсув місцевого часу на заданій території.

Перенесення деяких таблиць є необов'язковим, і тому тільки у разі їх наявності здійснюють перевірки таких показників:

**NIT\_other;**

**SDT\_other;**

**EIT\_P/F\_other;**

**EIT\_schedule\_other;**

**EIT\_schedule\_actual.**

За наявності цих таблиць перевірка здійснюється автоматично, скоріше вимірюванням часового інтервалу, ніж знаходженням першої секції.

Як подальше розширення перевірок та вимірювань, згаданих вище, рекомендовано додаткову перевірку, що стосується службової інформації (SI): у таблицях SI мають бути всі обов'язкові дескриптори, й інформація у цих таблицях має бути послідовною, без суперечностей.

Лабораторна робота № 2  
**Тема: АНАЛІЗ ЦИФРОВОЇ МОДУЛЯЦІЇ**

**Мета роботи:** Вивчити методи цифрової модуляції та демодуляції сигналів.

### **1 Амплітудна маніпуляція (ASK)**

**Побудувати** графік ASK-сигналу, що містить всі можливі символи при M-позиційній ASK.

Початкові дані:

Кількість рівнів маніпуляції:  $M = 4$ .

Символьна швидкість:  $F_d = 1$ .

Носійна частота:  $F_c = 4$ .

Частота дискретизації:  $F_s = 40$ .

Символи повинні приймати цілі значення, що лежать в діапазоні  $0 \dots M-1$ . Символу 0 відповідає значення амплітуди, що дорівнює  $-1$ , а символу  $M-1$  - значення амплітуди, що дорівнює  $1$ .

**Для магістрів:** Змоделювати випадковий інформаційний сигнал. Довжина повідомлення, що передається - 2 байта. Сформувати відповідний ASK-сигнал.

Функція MATLAB: *dmod*.

### **2 Фазова маніпуляція (PSK)**

**Побудувати** графік PSK-сигналу, що містить всі можливі символи при M-позиційній PSK.

Початкові дані:

Кількість рівнів маніпуляції:  $M = 4$ .

Символьна швидкість:  $F_d = 1$ .

Носійна частота:  $F_c = 4$ .

Частота дискретизації:  $F_s = 40$ .

Символи повинні приймати цілі значення, що лежать в діапазоні  $0 \dots M - 1$ . Символу  $k$  відповідає значення початкової фази, що дорівнює  $2\pi k/M$  радіан.

Функція MATLAB: *dmod*.

### 3 Частотна маніпуляція (FSK)

**Побудувати** графік FSK -сигналу.

Початкові дані:

Довжина повідомлення, що передається: 1 байт (задати самостійно).

Кількість частот маніпуляції:  $M = 2$ .

Частота символу «0»:  $f_0 = 800$ .

Частота символу «1»:  $f_1 = 1600$ .

Девіація:  $d = \frac{f_1 - f_0}{2}$ .

Символьна швидкість:  $F_d = 400$ .

Частота дискретизації:  $F_s = 16000$ .

Символи повинні приймати цілі значення, що лежать в діапазоні  $0 \dots M - 1$ .

Функція MATLAB: *dmod*.

### 4 Демодуляція FSK -сигналу

Одним із методів приймання FSK-сигналу є кореляційний метод. Кореляційне приймання FSK-сигналу може бути *когерентним* та *некогерентним*.

Когерентний метод може використовуватися, якщо відомі початкові фази посилок. Сутність його лежить в розрахунку взаємної кореляції між прийнятим сигналом та опорними сигналами, що являють собою гармонічні коливання із використовуваними для маніпуляції частотами.

Взаємна кореляція сигналу з  $k$ -м опорним сигналом для  $n$ -го символу розраховується за формулою:

$$z_k(n) = \int_{nT}^{(n+1)T} s(t) \cos(\omega_k t + \varphi_{0k}) dt,$$

де  $s(t)$  - FSK-сигнал,  $T$  - тривалість передачі символу.

Після розрахунку  $z_k(n)$  для усіх  $k$  знаходиться максимальне значення. Значення  $k$ , що відповідає максимальному  $z_k(n)$ , приймається у якості демодульованого символу.

Якщо початкові фази посилок невідомі (найчастіше так і буває) – використовують некогерентний (квадратурний) кореляційний прийом. В цьому випадку опорними сигналами є не дійсні гармонічні коливання, а комплексні експоненти:

$$z_k(n) = \left| \int_{nT}^{(n+1)T} s(t) \exp(j\omega_k t) dt \right|.$$

Завадостійкість некогерентного метода нижча, чим у когерентного.

**Оцінити** завадостійкість FSK при когерентній та некогерентній демодуляції:

- Змоделювати випадковий інформаційний сигнал.
- Сформувати відповідний FSK-сигнал.
- Додати шум та реалізувати когерентну та некогерентну демодуляцію сигналу з шумом.
- Для різних значень співвідношення сигнал/шум отримати графіки завадостійкості (залежність ймовірності помилки від відношення сигнал/шум).

*Початкові дані:*

Довжина повідомлення, що передається: 10000 біт (випадкова послідовність).

Кількість частот маніпуляції:  $M = 2$ .

Частота символу «0»:  $f_0 = 1180$ .

Частота символу «1»:  $f_1 = 980$ .

Символьна швидкість:  $F_d = 300$ .

Частота дискретизації:  $F_s = 9600$ .

*Функції MATLAB: dmod, awgn, ddemod, symerr, semilogy.*

## **5 Мінімальна частотна маніпуляція (MSK)**

---

## **6 Квадратурна маніпуляція (QAM/ QASK)**

При *квадратурній маніпуляції* (Quadrature Amplitude Modulation (QAM) або Quadrature Amplitude-Shift Keying (QASK)) кожному із можливих значень дискретного символу  $C_k$  ставиться у відповідність пара величин – амплітуди синфазної та квадратурної складової або амплітуда та початкова фаза носійного коливання (що еквівалентно):

$$C_k \rightarrow (a_k, b_k), \quad s(t) = a_k \cos \omega_0 t + b_k \sin \omega_0 t, \quad kT < t < (k+1)T,$$

або

$$C_k \rightarrow (A_k, \varphi_k), \quad s(t) = A_k \cos(\omega_0 t + \varphi_k), \quad kT < t < (k+1)T.$$

Параметри аналогового коливання, що відповідає дискретному символу  $C_k$ , подають у вигляді комплексного числа в алгебраїчній або експоненційній формі. Сукупність цих комплексних чисел для всіх можливих значень дискретного символу називають *сигнальним сузір'ям*.

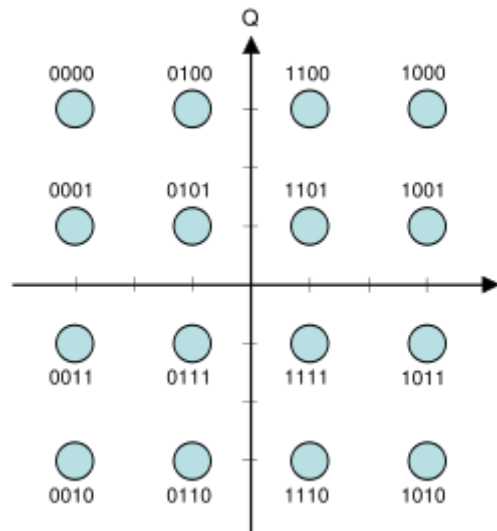


Рисунок – Сигнальне сузір'я для 16QAM.

**Побудувати** графік сигналу з квадратурною маніпуляцією.

Такий графік може бути не дуже наглядним по причині змішаного (амплітудно-фазового) характеру модуляції. Зміни амплітуди та фази при переході від символу до символу можуть бути незначними.

*Початкові дані:*

Довжина повідомлення, що передається: 10000 біт (випадкова послідовність).

Кількість точок:  $M = 16$ .

Символьна швидкість:  $F_d = 2400$ .

Кількість символів:  $N = 1000$ .

Символи: випадкова послідовність  $0 \dots M - 1$

Носійна частота:  $F_c = 1800$ .

Частота дискретизації:  $F_s = 19200$ .

Сигнальне сузір'я формувати у відповідності із рисунком.

*Функції MATLAB: dmod, randint.*

Для *dmod* використати режим ``qask/arb``

## 7 Демодуляція QAM-сигналу

Демодуляція QAM-сигналу виконується шляхом множення сигналу на два носійних коливання, що зсунуті на  $90^\circ$ , а результат множення пропускається через ФНЧ. На виході фільтрів будемо мати аналогові сигнали синфазної та квадратурної складових. Далі ці сигнали дискретизуються з частотою, що дорівнює символній швидкості. Пари відліків синфазної та квадратурної складових створюють комплексне число, а найближча до цього числа точка використовуваного сузір'я (інформаційний символ) подається в якості вихідного результату.

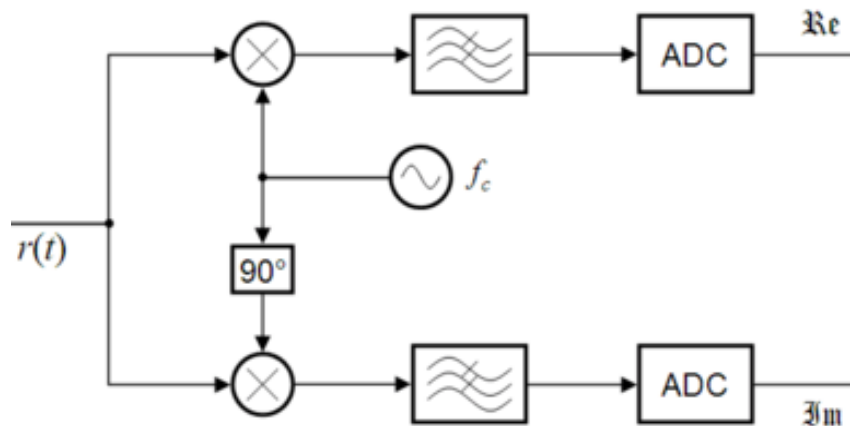


Рисунок – Схема демодуляції QAM-сигналу

Якщо параметри модуляції аналогового сигналу підтримуються постійними на протязі символного такту та на початку такту змінюються скачком, то з'являються скачки і в зформованому сигналі. Це приводить до розширення спектру сигналу. Щоб зробити спектр більш компактним необхідно забезпечити відсутність скачків у сигналі (згладити). Для цього виконують інтерполяцію між точками сузір'я, що відповідають послідовним символам.

### Завдання:

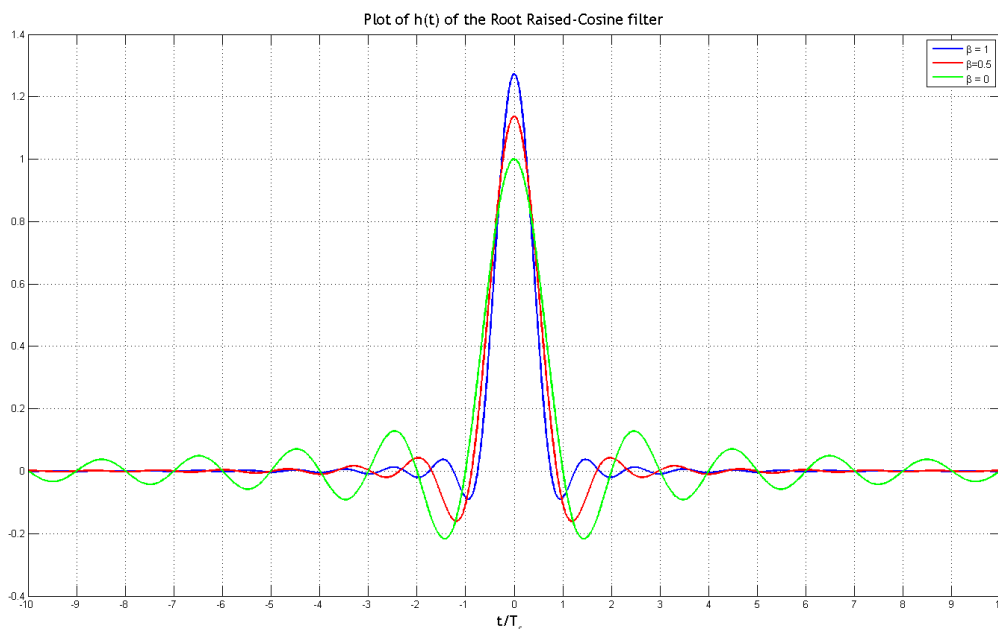
Реалізувати демодуляцію QAM-сигналу, отриманого в п. 6. (ddemod)

Побудувати графік прийнятих точок на комплексній площині (сузір'я або діаграма розсіяння) – `scatterplot`. Для цього необхідно отримати аналоговий демодульований сигнал без дискретизації та пошуку найближчих точок сузір'я (ключ /потар). Проаналізувати графік.

Отримати 16QAM-сигнал із використанням формуючого фільтру з косинусним згладжуванням АЧХ. Дотримуватись наступної послідовності дій: відобразити символи в точки сузір'я за допомогою функції `modmap`; виконати фільтрацію отриманого сигналу за допомогою `rcosflt`; реалізувати аналогову квадратурну модуляцію `amod`.

Порівняти спектри 16QAM-сигналів, отриманих в п. 6 і п. 7. Використати метод усереднених модифікованих періодограм Уелча – `pwelch`, `psdplot`.

При прийманні QAM-сигналу в якості ФНЧ необхідно використовувати такий же фільтр, як і для формування спектру. Послідовне використання двох SQRT-фільтрів (**square-root-raised-cosine filter**) з косинусним згладжуванням дає результуючу імпульсну характеристику, що відповідає звичайному фільтру з косинусним згладжуванням, яка дорівнює нулю в точках, зсунутих на ціле число символів відносно піку. Це дозволяє при правильному виборі моментів взяття відліків ліквідувати завади від сусідніх символів – міжсимвольну інтерференцію (intersymbol interference).



Eye diagram являє собою «осцилограму» аналогового де модульованого сигналу, побудовану при тривалості прямого ходу розгортки рівному одному символному такту. В точках оптимальної дискретизації лінії на такій діаграмі створюють вузькі пучки, вільний простір між якими по формі нагадує відкрите око. Для комплексного сигналу можуть бути наведені окремі графіки для його дійсної та уявної частини.

### Завдання:

Розрахувати фільтр (rcosine)

Реалізувати аналогову демодуляцію (ademod)

Побудувати eye diagram (eyediagram)

Побудувати діаграму розсіювання (scatterplot)

Провести дискретизацію та пошук найближчих точок у сузір'ї (demodmap)

Видалити зайві символи на початку та в кінці сигналу, що виникають у зв'язку із затримкою у фільтрі (три символи)

Порівняти передані та прийняті сигнали (symerr)