

**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ
ТРАКТІВ ЦТВБ НА БАЗІ МЕТРИК ОБ'ЄКТИВНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ**

БАЛЯР В. Б.

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова
ДП “Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення”

**EFFICIENCY ANALYSIS OF OPERATIONAL MONITORING OF DTV PATH
BASED ON OBJECTIVE QUALITY ESTIMATION METRICS**

BALIARV. B.

Odessa National Academy of Telecommunications named after O.S. Popov
SE “Ukrainian scientific-research institute of radio and television”

***Анотація.** У статті наведено результати досліджень у напрямку оцінки характеристик системи моніторингу тракту цифрового телебачення, базованого на метриках об'єктивної оцінки якості. Основною метою цих досліджень є оцінка ефективності застосування метрик об'єктивної оцінки якості роботи алгоритмів стиснення під час вирішення задач оперативного моніторингу роботи тракту цифрового наземного телевізійного мовлення у стандарті DVB-T2. Для реалізації цього у середовищі математичного моделювання Matlab / Simulink розроблено імітаційну модель тракту системи DVB-T2, що відповідає базовому стандарту. У результаті досліджень вперше встановлено взаємозв'язок між параметром, яка характеризує якість роботи системи на каналному рівні, з об'єктивною оцінкою якості. Додатково визначено метрику, що найбільш пов'язано з ступенем структурних спотворень та запропоновано систему моніторингу, що дозволяє реалізувати одночасний контроль якості стиснення та передавання. Отримані результати можуть бути використані під час організації оперативного моніторингу тракту цифрового телебачення.*

***Abstract.** In article results of studies in direction of performance estimation of digital television path monitoring system based on objective quality estimation metrics are presented. Main purpose of studies is efficiency estimation of applicability of objective quality estimation metrics used for analysis of compression algorithms during solving tasks of operational monitoring of digital terrestrial television broadcasting in DVB-T2 standards. For this purpose the simulation model of DVB-T2 system path corresponding to baseline system specification is implemented in Matlab/ Simulink modelling environment. As a result of studies is relationship between parameter characterizing system operational quality on link layer and objective quality estimation is stated for the first time. Additionally metric that highly correlated with structural impairments level is defined and monitoring system providing simultaneous control of compression and transmission quality is proposed. Obtained results can be used for organization of operational monitoring of digital television path.*

ВСТУП

Під час розгортання та експлуатації мереж цифрового мовлення, а також інших систем розподілу аудіовізуальної інформації (наприклад, систем IPTV), виникає задача контролю якості зображення та відповідного звукового супроводу [1]. Причому, ця задача полягає в значній мірі контролю впливу каналу передавання на аудіовізуальну інформацію. Виконання всіх норм на технічну якість (коефіцієнт помилок бітів, коефіцієнт помилки модуляції тощо) не гарантує, що на відеозображенні не буде виникати явище порогового ефекту. Це викликано тим, що система цифрового наземного телевізійного мовлення є досить складною та під час проходження окремих ланок наскрізного тракту можуть виникати певні спотворення/несправності в обладнанні, які не завжди вдається виявити та виправити вчасно. Окрім того, технічна якість аудіовізуального контенту, що його доставляють користувачу, має контролюватись в межах зони обслуговування мовленнєвих передавачів та під час розгортання мереж цифрового мовлення. В цьому випадку ефективним є моніторинг на рівні відеопотоку MPEG, що базується на виявленні моментів візуального пошкодження відеокадрів. Для цього можуть бути використані підходи, базовані на використанні метрик суб'єктивної або об'єктивної оцінки якості зображення на виході кодеків усунення надлишковості аудіовізуальної інформації.

До цього часу в напрямку оцінки якості функціонування аудіовізуальних систем на рівні MPEG проведено ряд досліджень. Серед публікацій з цього питання можливо відзначити роботи [2-7]. Ці публікації присвячено питанням впливу спотворень різного типу в мережах з пакетним передаванням інформації з урахуванням особливостей відеопотоку MPEG.

Публікацію [2] присвячено аналізу характеристик метрик об'єктивної оцінки якості відеосигналів при використанні їх для різних застосувань, зокрема при кодуванні з усуненням надлишковості та передаванні через канал зв'язку з аналізом впливу помилок та втрати пакетів. Набір метрик, що підлягають аналізу в цій роботі, обмежено метрикою оцінки якості рухомих зображень (MPQM, Motion Picture Quality Metric), метрикою якості відео (VQM, Video Quality Metric) та відношення (пік сигналу/шум) (PSNR, Peak Signal-to-Noise Ratio). Як середовище розподілу сигналів MPEG в цій публікації розглядають гіпотетичні еталонні тракти (HRC, Hypothetical Reference Circuit) та, зокрема, тракт IEEE 802.11b, в якому застосовують завадостійке кодування та інше оброблення для зменшення впливу спотворень, що відрізняється від застосовуваного оброблення в тракті цифрового наземного телевізійного мовлення.

Аналіз взаємозв'язку між метриками об'єктивної оцінки якості (VQM, MPQM, NQM та SSIM) з суб'єктивними оцінками надано [3]. Окрім того, надано якісну характеристику кожній з метрик в термінах складності реалізації, корельованості з суб'єктивними оцінками тощо.

У роботі Tao Fang та Lap-Pui Chau [4] розглянуто питання впливу вибору параметрів потоку MPEG та, зокрема, структури кадрів (GOP, Group of pictures) для підвищення якості передавання відеосигналів в каналі з помилками.

У публікаціях [5-7] розглянуто питання впливу втрати пакетів на якість передавання відеопотоку та зв'язок цього параметра мережі пакетного передавання, базованій на IP-протоколі, з суб'єктивною якістю відеозображення та окремими об'єктивними метриками, застосовуваними для об'єктивної (апаратної) оцінки якості.

Проте наведені оцінки у вищезгаданих роботах не дозволяють в повною мірою оцінити всі спотворення потоку MPEG, що можуть виникнути в каналі зв'язку, зокрема:

- аналіз проводився лише для окремих телекомунікаційних технологій, які мають характеристики, що суттєво відрізняються від систем цифрового наземного телевізійного мовлення;

- дано оцінку якості передавання відеосигналів тільки в залежності від параметра якості функціонування мережі, що застосовують лише в певних телекомунікаційних системах.

Крім вищезгаданих публікацій можливо відзначити Рекомендації ITU-R та ITU-T, що їх присвячено деяким аспектам та випадкам застосування метрик об'єктивної оцінки якості з повним (FR, Full Reference), обмеженим (RR, Reduced Reference) та відсутнім (NR, Non Reference) еталоном [8-13] для телевізійних систем різних рівнів (телебачення обмеженої, стандартної та високої чіткості). Проте ці документи носять рекомендаційний характер та їх призначено для стандартизації окремих метрик об'єктивної оцінки якості на міжнародному рівні з зазначенням характеристик у застосуваннях зі стисненням. Додатково зазначається можливість застосування метрик об'єктивної оцінки якості для моніторингу характеристик мовленнєвих трактів. Але при цьому детальний аналіз з зазначенням можливих метрик та їх характеристик при застосуванні в тракті з помилками відсутні.

Враховуючи вищезазначене, метою цієї статті є встановлення взаємозв'язку метрик об'єктивної якості зображення з параметром якості, що застосовують у системах цифрового телевізійного мовлення, та визначення можливих технічних рішень щодо організації оперативного моніторингу якості функціонування тракту з урахуванням особливостей сигналів, що їх передають.

ОЦІНКА ПРОЯВУ ПОРОГОВОГО ЕФЕКТУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТРИК ОБ'ЄКТИВНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ

Використання суб'єктивної оцінки якості при оцінці спотворень, що виникають при розподілі сигналів аудіовізуальних служб, по-перше, буде занадто складною процедурою - пороговий ефект може бути відсутнім на досить тривалому інтервалі часу і виникатиме випадковим чином з причини непередбачених обставин - припустимо через виникнення несправності або погіршенні умов приймання. Якщо навмисно погіршувати умови приймання на зображенні виявлятиметься пороговий ефект і при цьому суб'єктивна оцінка найімовірніше буде негативною. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що оцінку якості зображення з використанням суб'єктивної оцінки в цьому випадку застосовувати представляється недоцільним.

У результаті цього все частіше звертаються до використання приладів, що дозволяють вимірювати якість зображення об'єктивними методами з повним еталоном (Full - Reference), із обмеженим еталоном (Reduced Reference) і без еталону (No Reference) [1].

Якщо говорити про застосовуваність кожного з наведених підходів до об'єктивної оцінки якості, то можливо стверджувати, що кожен з них може бути використаний провайдером послуг. Так, на-

приклад, застосування методу з повним еталоном, що передбачає наявність неспотвореного зображення, для моніторингу якості функціонування системи може бути реалізовано з урахуванням того, що в певний час передають відому в приймачі відеоінформацію (наприклад, рекламу) та немає необхідності в забезпеченні окремого каналу для передавання до приймача етального зображення. В Рекомендації ITU-RBT.1885 визначено таку систему моніторингу якості функціонування системи розподілу сигналів цифрового мовлення, базовану на використанні об'єктивних метрик оцінки якості [12]. Структуру такої системи моніторингу надано на рис. 1.

У цій схемі етальонний декодер може бути підключено до будь-якої точки тракту цифрового мовлення. У системі вимірювання якості відео та в блоці оцінки характеристик відео може бути використано будь-яку метрику об'єктивної оцінки якості, що стандартизовано в світі.

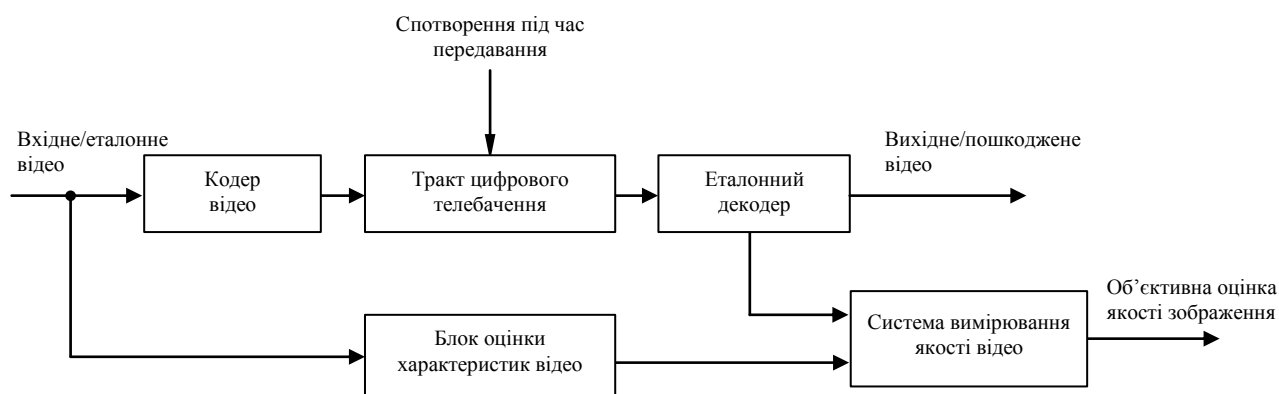


Рисунок 1 – Система моніторингу, базована на використанні метрик об'єктивної оцінки якості з повним еталоном

Існує багато метрик, що можуть бути використані у системах оцінки якості з повним еталоном. Серед них можливо виділити такі метрики, як:

- середнє відношення піка сигналу до шуму (APSNR, AveragePeakSignaltoNoiseRatio);
- метрика якості відео (VQM, VideoQualityMetrics);
- ступінь структурної подібності (SSIM, StructuralSimilarity).

Відношення PSNR є найбільш розповсюдженою метрикою об'єктивної оцінки якості, що її застосовують для різних застосувань (оцінка якості стиснення зображень, якості передавання, тощо). В проведених дослідженнях використано середнє значення відношення PSNR (APSNR), що його визначають згідно з [14] наступним чином:

$$MSE_t = \frac{1}{W \cdot H} \sum_{x=1}^W \sum_{y=1}^H F'_{t,x,y} - F_{t,x,y}^2, \quad (1)$$

$$APSNR = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N 10 \cdot \log \left(\frac{255^2}{MSE_t} \right), \quad (2)$$

де N – кількість відеокадрів;

W – кількість елементів зображення в рядку одного відеокадру;

H – кількість рядків в одному відеокадрі.

Модель VQM є метрикою об'єктивної оцінки якості, базованою на використанні дискретного косинусного перетворення (ДКП), що її розроблено F. Хіао [15]. Ця модель базується на спрощеній моделі просторово-часової контрастно-частотної характеристики сприйняття зорового апарату людини. Згідно з [15] спотворення на відеозображенні після стиснення оцінюють таким чином:

1 Для кожного кадру виконують ДКП для блоків 8×8 елементів зображення $b_i(x, y, t)$ вихідного відеокадру $p(x, y, t)$ та блоків 8×8 елементів зображення $b'_i(x, y, t)$ спотвореного відеокадру $p'(x, y, t)$:

$$\begin{aligned} \text{DCT } b_i(u, v, t) &= \text{DCT } b_i(x, y, t) ; \\ \text{DCT } b'_i(u, v, t) &= \text{DCT } b'_i(x, y, t) . \end{aligned} \quad (3)$$

2 В моделі здійснюється перетворення коефіцієнтів ДКП у значення контрасту $LC_i(u, v, t)$ за допомогою компоненти постійної складової DC для кожного блока:

$$\begin{aligned} LC_i(u, v, t) &= \frac{\text{DCT} b_i(u, v, t) \cdot \left(\frac{DC_i}{1024} \right)^{0.65}}{DC_i} ; \\ DC_i &= \text{DCT } b_i(0, 0, t) . \end{aligned} \quad (4)$$

Аналогічним чином у моделі отримують значення $LC_i(u, v, t)$ для стиснутого відео.

3 Здійснюється перетворення $LC_i(u, v, t)$ та $LC'_i(u, v, t)$ до значень ледве помітної різниці $JND_i(u, v, t)$ та $JND'_i(u, v, t)$ за допомогою статичної та динамічної контрастно-частотної характеристики CSF).

4 Коефіцієнти JND вихідної та стиснутої відеопослідовності віднімають одна від одної для отримання різницевого значення $Diff_i(t)$. Потім здійснюється обробка з урахуванням контрастного маскування шляхом знаходження максимального значення та розрахунок вагових коефіцієнтів. За отриманими значеннями розраховується величина оцінки VQM за таким алгоритмом:

$$\begin{aligned} \text{Dist}_{\text{сеп}} &= 1000 \cdot \text{mean}(\text{mean}(Diff_i(t))), \\ \text{Dist}_{\text{макс}} &= 1000 \cdot \text{max}(\text{max}(Diff_i(t))), \\ \text{VQM} &= \text{Dist}_{\text{сеп}} + 0,005 \cdot \text{Dist}_{\text{макс}} . \end{aligned} \quad (5)$$

Оцінка VQM зменшується зі збільшенням якості стиснутого відео та дорівнює нулю для відео, що його піддано стисненню без втрат.

Міру структурної подібності SSIM (StructuralSIMilarity, структурна подібність) оцінюють таким чином [16]:

$$\text{SSIM} = \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \right) \left(\frac{2\bar{X}\bar{Y}}{\bar{X}^2 + \bar{Y}^2} \right) \left(\frac{2\sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \right) \quad (6)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij}, \quad \bar{Y} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N y_{ij} \quad (7)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{X})^2 \quad (8)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (y_{ij} - \bar{Y})^2 \quad (9)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{X})(y_{ij} - \bar{Y}) \quad (10)$$

де SSIM – значення міри подібні зображень;

$X = x_{ij}$ і $Y = y_{ij}$ - порівнювані зображення;

M, N – розміри зображення.

Після передавання відеозображення через модель наземного каналу мовлення здійснювався аналіз за допомогою спеціального програмного забезпечення об'єктивної оцінки якості з використанням метрик, що їх визначено вище. Результати аналізу показано на рис. 2-10.

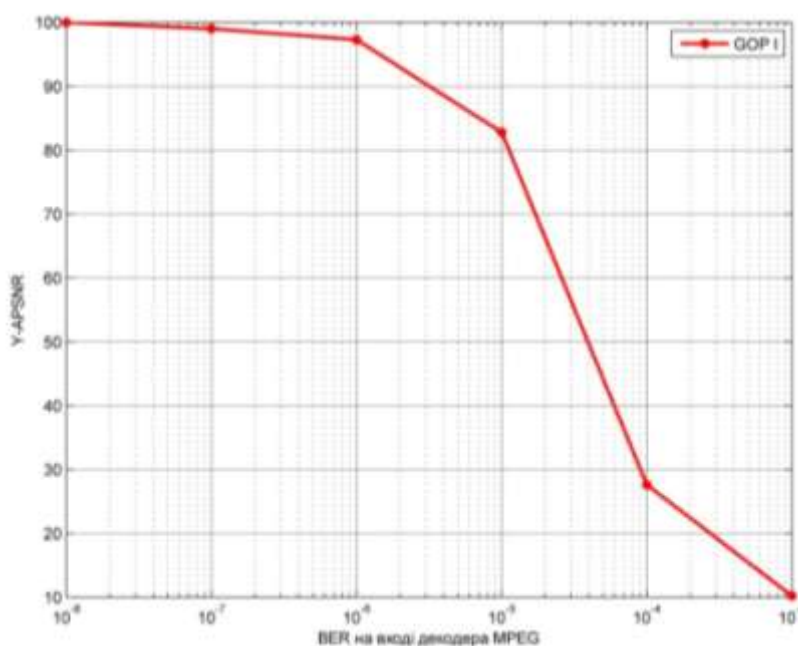


Рисунок 2 – Залежність величини Y-APSNR від величини BER на вході декодера MPEG для відеопослідовності I

На цих рисунках введено такі позначення:

- відеопослідовність I: відеопослідовність, в якій кадри кодовано тільки внутрішньокадрово з застосуванням алгоритмів MPEG;
- відеопослідовність I×P: відеопослідовність, в якій кадри кодовано методом MPEG з застосуванням однонаправленого передбачення з кількістю передбачених кадрів;
- відеопослідовність I×BP: відеопослідовність, в якій кадри кодовано методом MPEG з застосуванням одно- та двонаправленого режимів передбачення з кількістю передбачених кадрів.

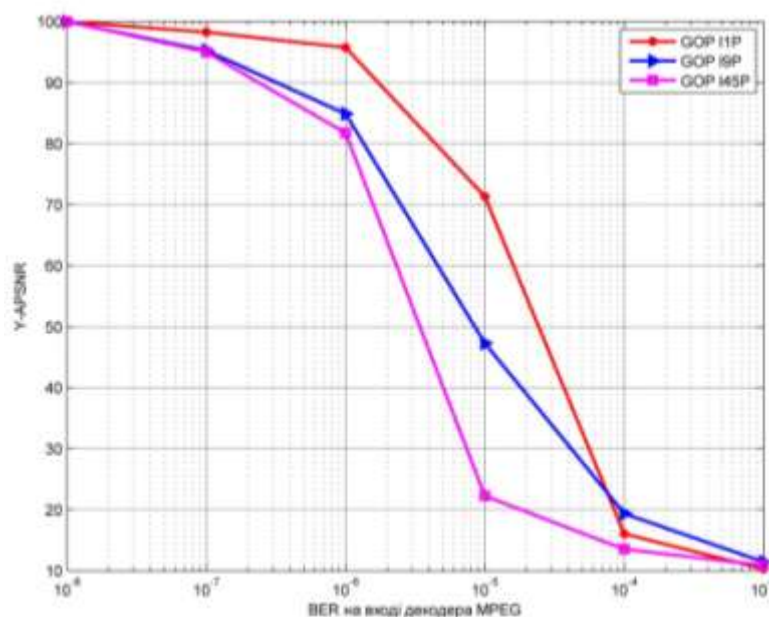


Рисунок 3 – Залежність величини Y-APSNR від величини BER на вході декодера MPEG для відеопослідовностей I, I1P, I9P, I45P

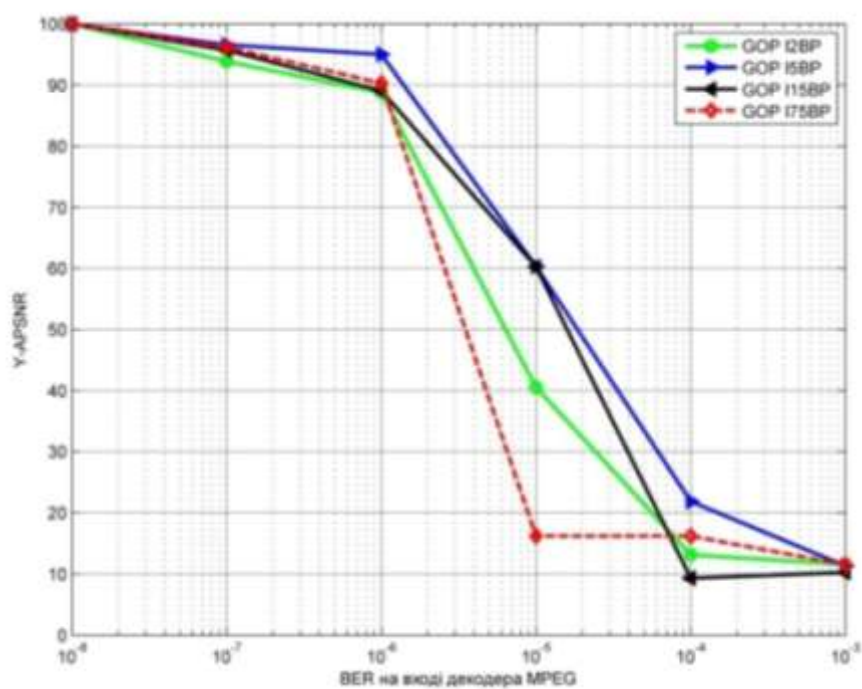


Рисунок 4 – Залежність величини Y-APSNR від величини BER на вході декодера MPEG для відеопослідовностей I2BP, I5BP, I15BP, I75BP

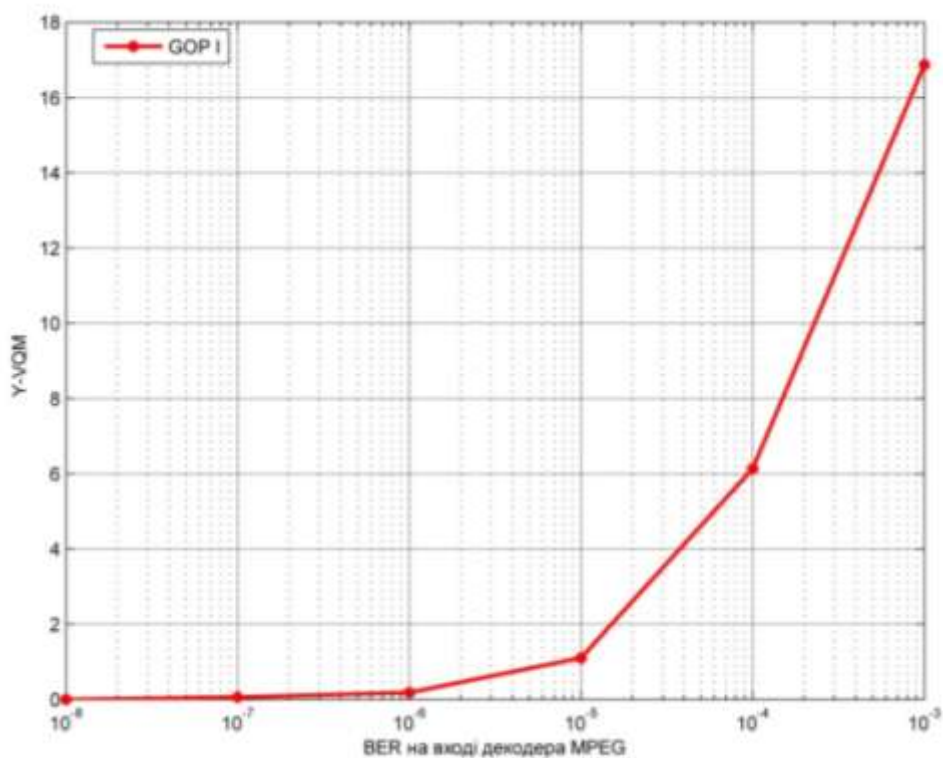


Рисунок 5 – Залежність величини Y-VQM від величини BER на вході декодера MPEG для відеопослідовності I

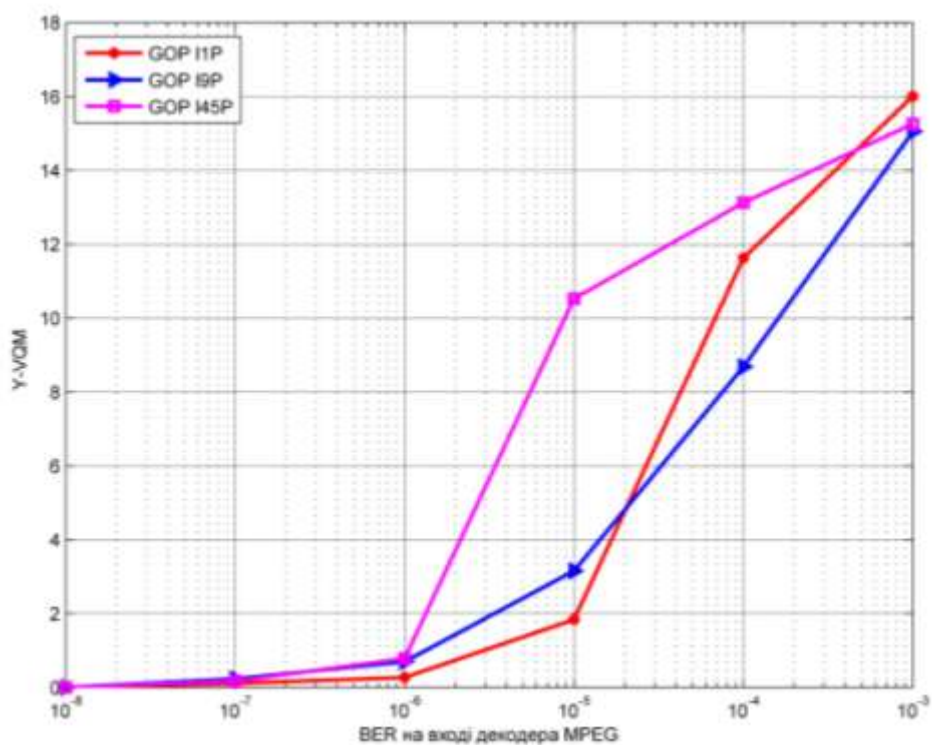


Рисунок 6 – Залежність величини Y-VQM від величини BER на вході декодера MPEG для відеопослідовностей I, I1P, I9P, I45P

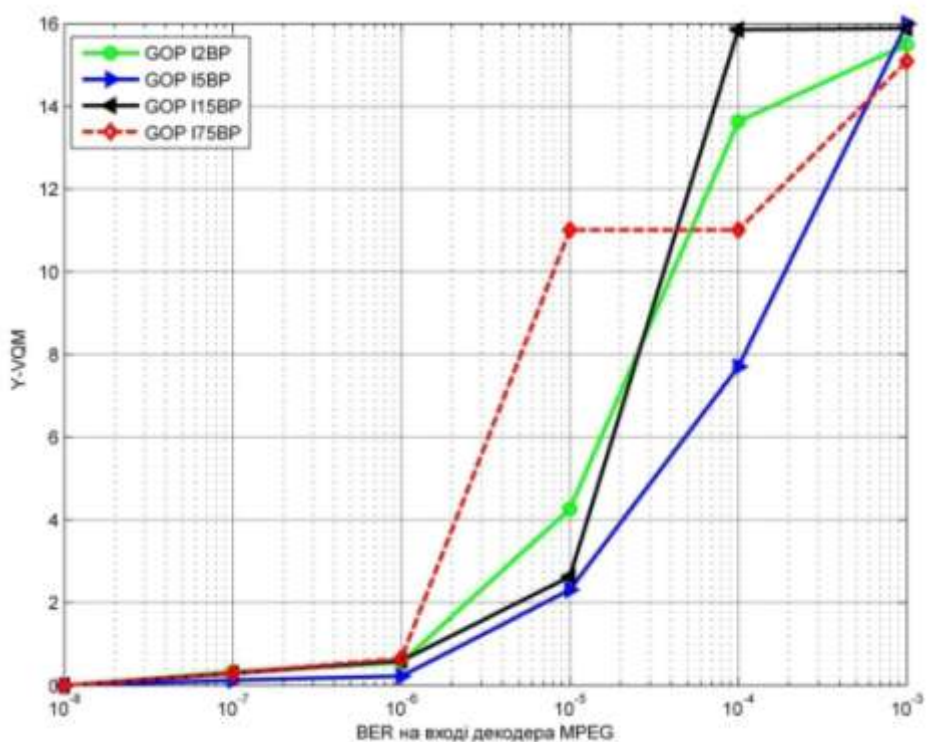


Рисунок 7 – Залежність величини Y-VQM від величини BER на вході декодера MPEG для відеопослідовностей I2BP, I5BP, I15BP, I75BP

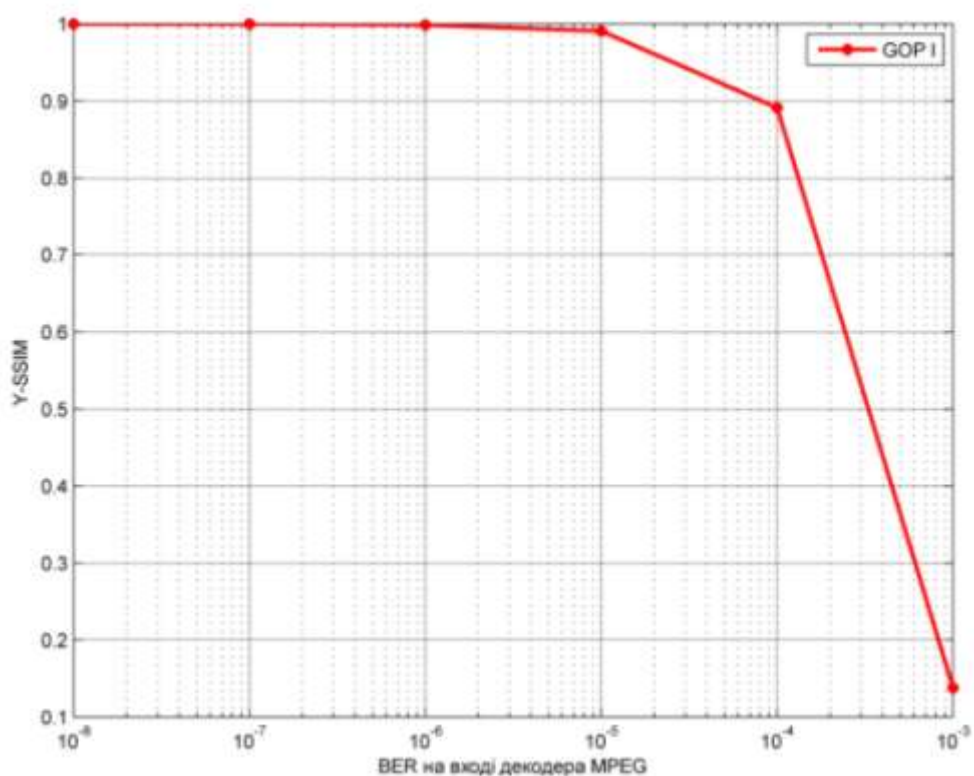


Рисунок 8 – Залежність величини Y-SSIM від величини BER на вході декодера MPEG для відеопослідовності I

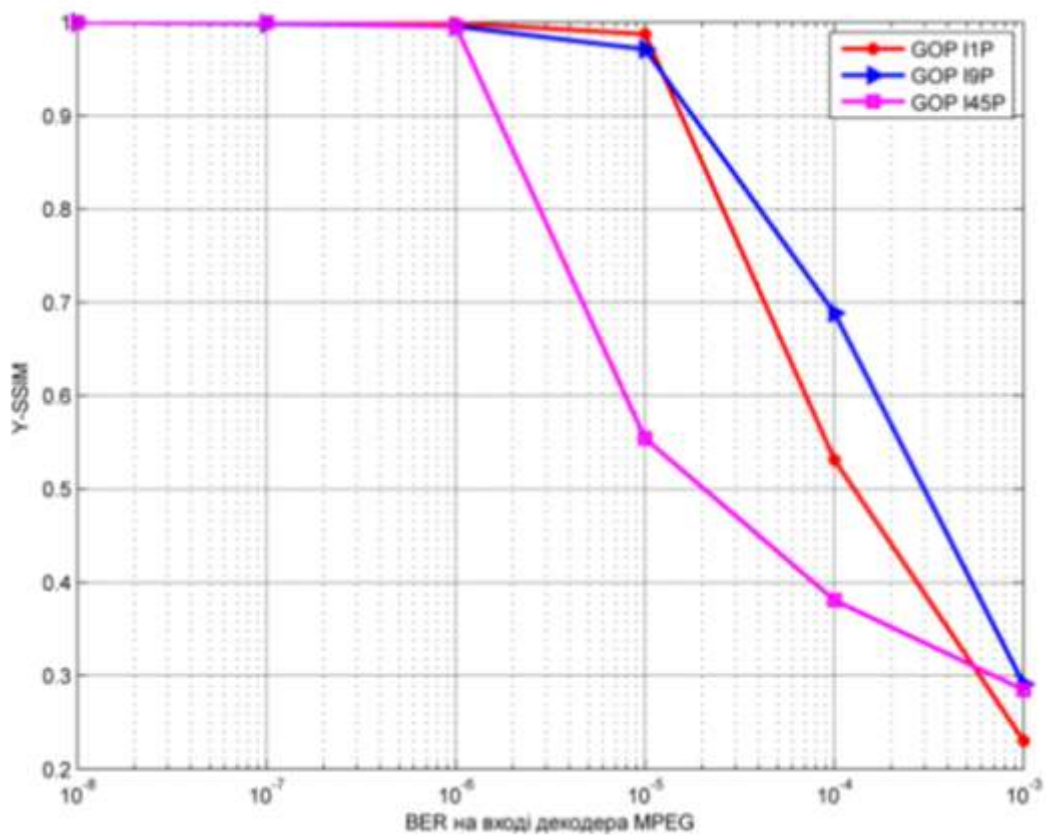


Рисунок 9 – Залежність величини Y-SSIM від величини BER на вході декодера MPEG для відеопослідовностей I, I1P, I9P, I45P

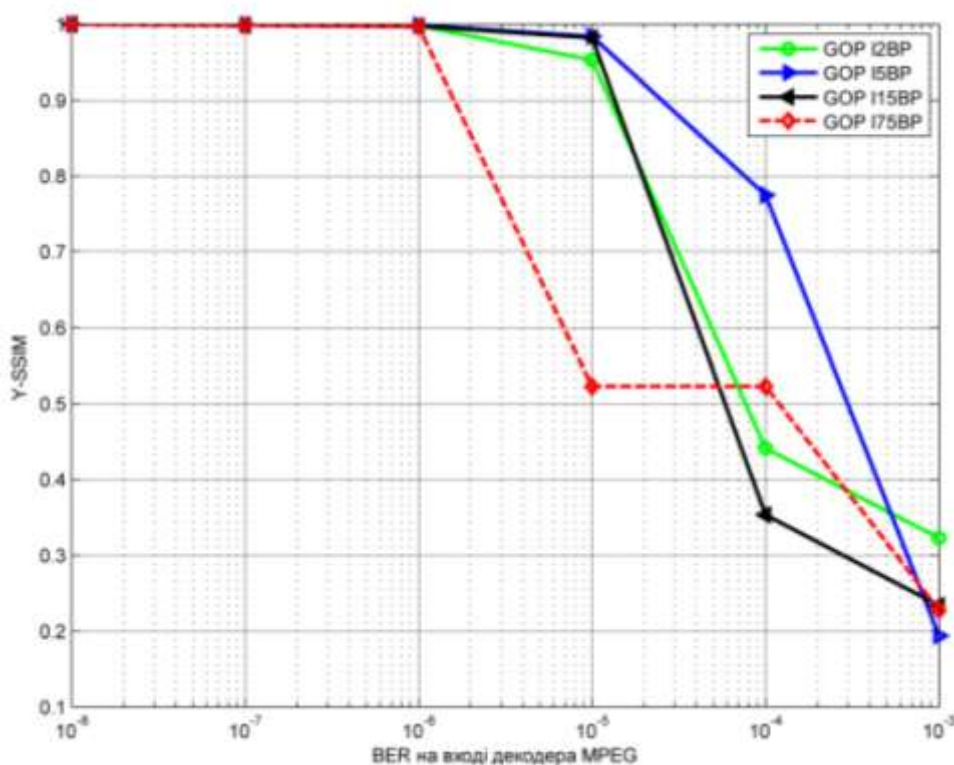


Рисунок 10 – Залежність величини Y-SSIM від величини BER на вході декодера MPEG для відеопослідовностей I2BP, I5BP, I15BP, I75BP

Додатково проведено аналіз щодо визначення метрики, закон змінення якої найбільш корельовано з ймовірністю пошкодження елемента зображення, що характеризують міру структурного пошкодження відеокадрів внаслідок порогового ефекту [17].

У такому випадку доцільним є використання коефіцієнта кореляції r , що буде характеризувати тісноту кореляційного зв'язку між об'єктивною метрикою та параметрами, за якими оцінено структурні спотворення відеокадрів. Для визначення коефіцієнта кореляції за Пірсоном будемо використовувати такий вираз:

$$r_i = \frac{M(X_i Y_i) - M(X_i)M(Y_i)}{\sigma(X_i)\sigma(Y_i)}, \quad (11)$$

де X_i - сукупність значень відповідної метрики об'єктивної оцінки, усереднених по всіх відеокадрах для i -того значення коефіцієнта помилок бітів BER при аналізі відліків сигналу яскравості;

Y_i - сукупність значень відповідного параметра, що характеризує структурні спотворення (PxER, BLER, MBLER чи SLER), для i -го значення коефіцієнта помилок бітів BER при аналізі відліків сигналу яскравості;

$M(X_i Y_i)$ - математичне очікування добутку X_i на Y_i ;

$M(X_i)$ - математичне очікування величини X_i ;

$M(Y_i)$ - математичне очікування величини Y_i ;

$\sigma(X_i)$ - середньоквадратичне відхилення величини X_i ;

$\sigma(Y_i)$ - середньоквадратичне відхилення величини Y_i ;

Будемо вважати, що метрика може бути застосованою для виявлення виникнення порогового ефекту у відеокадрі, якщо результуюче середнє значення коефіцієнта кореляції по всіх типах GOP буде задовольняти виразу: $r_{сер} > 0,7$.

Аналіз коефіцієнта кореляції здійснювався на трьох рівнях ієрархії MPEG – на рівні елементів зображення, на рівні блоків 8×8 елементів зображення, макроблоків та зрізів. Результати аналізу на- дано в таблиці 1.

Таблиця 1-Результати аналізу ефективності метрик об’єктивної оцінки якості при оцінці поро- гового ефекту на рівні елементів зображення

Метрика	Коефіцієнт кореляції $ r $								Середнє значення
	GOP								
	I	IP	IP	I45P	I2B	I5B	I15B	I75B	
APSNR	0,6055	0,8240	0,8212	0,7644	0,7912	0,8563	0,8851	0,7963	0,793
VQM	0,8649	0,9131	0,9785	0,8454	0,9103	0,9898	0,9296	0,8941	0,9157125
SSIM	0,8490	0,9472	0,9996	0,8679	0,9357	0,9965	0,9654	0,9377	0,937375

З проведеного аналізу видно, що метрику SSIM у більшості випадків найбільш корельовано з величиною структурних спотворень на різних рівнях ієрархії відеопотоку MPEG ($r_{сер} \geq 0,95$). Саме тому вона є найбільш ефективною при виявленні проявів порогового ефекту на відеозображенні у системі моніторингу, базовані на застосуванні об’єктивних метрик оцінки якості з повним еталоном.

Таким чином, можливо запропонувати такий метод оперативного моніторингу технічної якості функціонування систем цифрового телевізійного мовлення на рівні відеопотоку (рис. 11–12).

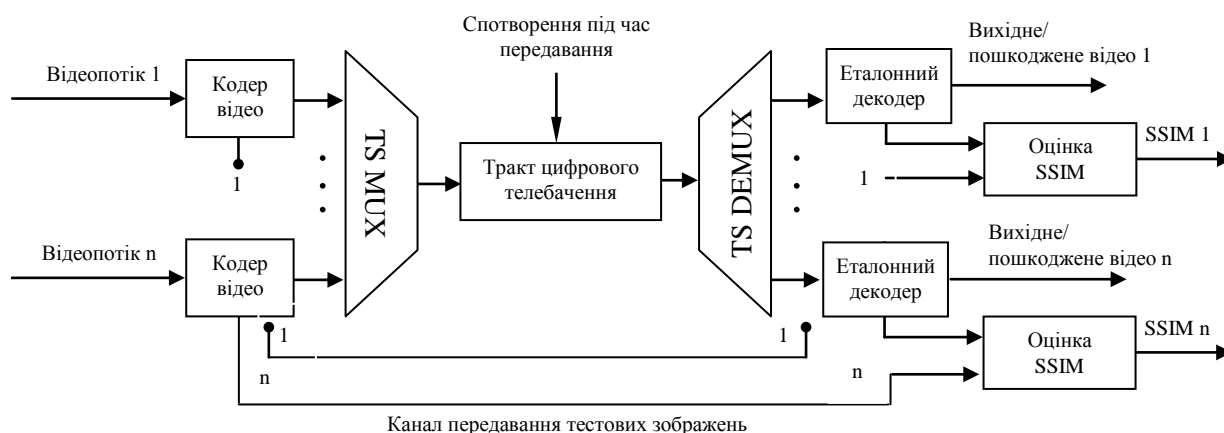


Рисунок 11 – Система моніторингу, базована на використанні метрики SSIM

Під час формування програмних потоків в один або декілька відеопотоків в одному або декількох транспортних потоків вводиться контрольне зображення, що може бути утворено одним-або декількома відеокадрами. Під час декодування основного відеозображення його буде відкинуто шляхом фільтрування ідентифікатора потоку або встановленням мітки “відеокадр, що його має бути відкинуто”, передбаченої в стандарті на кодування відеозображень.

Може бути використано один з двох пропонуваніх варіантів:

- вводиться окремий незалежний тестовий відеопотік з кількістю кадрів 1-2 кадр/с та з зображенням чорного поля, що під час його стиснення не буде призводити до збільшення швидкості цифрового потоку;
- використовується реклама або інші повторювані сюжети (наприклад, заставки програм), що буде відповідати вбудованому тестовому сигналу.

Другий варіант дещо ускладнює систему моніторингу внаслідок того, що вимагає окремого каналу, через який будуть доставлятися неспотворене зображення. Перший варіант є більш простішим, що викликано однаковістю зображення незалежно від програми.

У контрольних приймачах, що розташовані в довільних точках зони обслуговування або окремих вузлах наскрізного тракту, здійснюється безперервне порівняння еталонних зображень з використанням метрики SSIM. У тому випадку, якщо результат порівняння вказує на суттєве погіршення якості відеозображення, на якому виникли структурні спотворення, тоді це свідчить про те, що виникли несправності в обладнанні або суттєво погіршилися умови приймання.

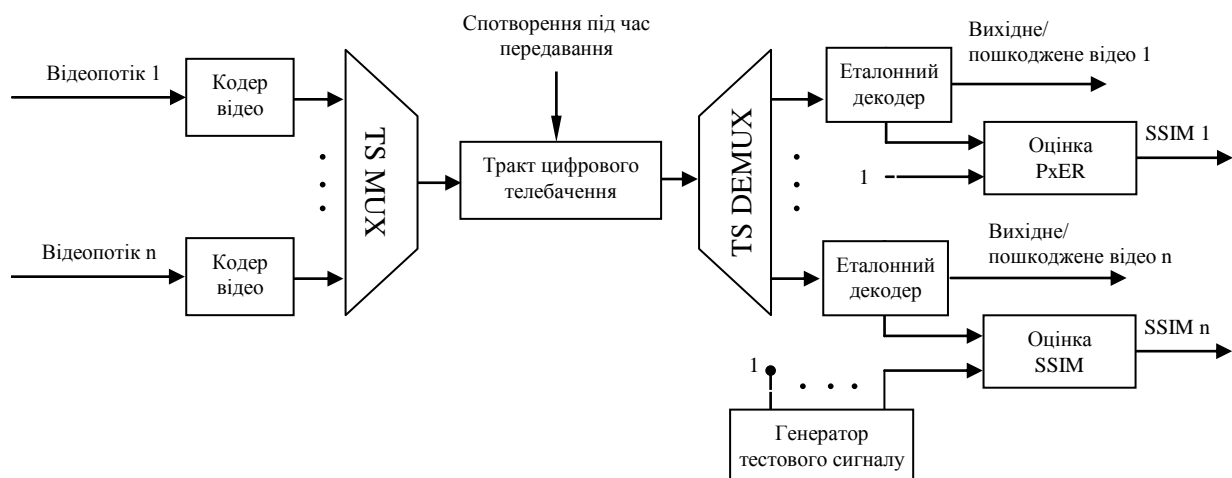


Рисунок 12 – Система моніторингу, базована на використанні метрики PxER

ВИСНОВОК

Моніторинг технічної якості функціонування мережі цифрового телевізійного мовлення є невід’ємною складовою технічної експлуатації. Основною задачею, що має бути вирішено під час моніторингу, є оперативне виявлення порушень у роботі вузлів мережі та/або своєчасне передбачення виникнення несправностей. Враховуючи те, що основним результируючим критерієм за випадку систем цифрового мовлення, як систем передавання відеозображень, є відсутність проявів порогового ефекту на зображенні, у системі моніторингу має бути передбачено контроль й за цим критерієм. Внаслідок того, що пороговий ефект може не проявлятися досить тривалий час, простий візуальний контроль є неефективним та мало оперативним. Це викликає необхідність створення автоматизованого комплексу для моніторингу роботи мережі. Одним з варіантів реалізації такого комплексу є застосування об’єктивних методів оцінки якості роботи кодеків, чому й присвячено цю статтю. В цій статті проаналізовано застосування об’єктивних метрик оцінки якості для контролю технічної якості функціонування наскрізного тракту служби цифрового наземного телевізійного мовлення DVB-T/ DVB-T2. За результатами аналізу визначено метрику об’єктивної оцінки якості, оптимальну з точки зору високої кореляції з ступенем структурних спотворень відеопотоку MPEG, що дозволить підвищити ефективність та зменшити складність системи технічного контролю якості функціонування наскрізного тракту цифрового телебачення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баляр В.Б. Аналіз впливу спотворень в мобільному каналі на якість функціонування систем зі стисненням MPEG/ В.Б. Баляр, М.В. Мазур// Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2012. - № 1. – С. 122-131.
2. José Luis Martínez Objective video quality metrics: a performance analysis/José Luis Martínez, Pedro Cuenca, Francisco Delicado, Francisco Quiles//14th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2006). – Florence, Italy, (September 4-8), 2006.
3. Wang Y. Survey of objective video quality measurements/ Technical Report T1A1.5/96- 110. - 2006.
4. Tao Fang An Error-Resilient GOP Structure for Robust Video Transmission/ Tao Fang, Lap-Pui Chau// IEEE transactions on multimedia. – 2005. - Vol. 7, № 6. – p. 1131-1138.
5. John Samson Mwela Impact of Packet Loss on the Quality of Video Stream Transmission: thesis of diploma/ John Samson Mwela, Oyekanlu Emmanuel Adebomi. -Engineering & technical university, Sweden. – 2010. – 45 p.

6. ÁrpádHuszák Analyzing GOP Structure and Packet Loss Effects on Error Propagation in MPEG-4 Video Streams/ÁrpádHuszák, SándorImre/ Proceedings of 4th International symposium on communications, control and signal processing, ISCCSP. – 2010, Limassol, Cyprus. – 5 p.
7. Muhammad SaleemKoulAnalysis of the effects of packet loss and delay jitter on MPEG-4 video quality/Muhammad SaleemKoul/ Review Paper EE5359: Advanced Image Processing and Video Communications. – 2007.
8. Objective perceptual video quality measurement techniques for standard definition digital broadcast television in the presence of a full reference: Recommendation ITU-R BT.1683. – Switzerland, Geneva: ITU, 2004. – 103 p.
9. Objective measurement of perceptual image quality of large screen digital imagery applications for theatrical presentation: Recommendation ITU-R BT.1721. – Switzerland, Geneva: ITU, 2005. – 1 p.
10. Objective perceptual video quality measurement techniques for broadcasting applications using low definition television in the presence of a full reference signal: Recommendation ITU-R BT.1866. – Switzerland, Geneva: ITU, 2010. – 15 p.
11. Objective perceptual visual quality measurement techniques for broadcasting applications using low definition television in the presence of a reduced bandwidth reference: Recommendation ITU-R BT.1867. –Switzerland, Geneva: ITU, 2010. –24 p.
12. Objective perceptual video quality measurement techniques for standard definition digital broadcast television in the presence of a reduced bandwidth reference: Recommendation ITU-R BT.1885. –Switzerland, Geneva: ITU, 2011. –50 p.
13. Objective perceptual video quality measurement techniques for broadcasting applications using HDTV in the presence of a full reference signal: Recommendation ITU-R BT.1907. –Switzerland, Geneva: ITU, 2012. – 26 p.
14. Eleccard YUV Viewer/ [user guide]. – Eleccard: 2008. - 16 p.
15. VranješM. Objective Video Quality Metrics/ M. Vranješ, S. Rimac-Drlje, D. Žagar// Proceedings of 49th International Symposium on Mobile Multimedia, ELMAR-2007. – 2007, Zadar, Croatia. - 5 p.
16. Zhou Wang Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity/ Zhou Wang// IEEE transactions on image processing. – 2004. - № 4(13). - С. 1–14.
17. Баляр В.Б. Оцінка погіршення характеристик системи цифрового телевізійного мовлення на рівні відеопотоку MPEG/ В.Б. Баляр// Цифрові технології. – 2011. - № 10. – С. 70–78.