

УДК 691.397

ОЦІНКА ПОГІРШЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО  
ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ НА РІВНІ ВІДЕОПОТОКУ MPEG

БАЛЯР В.Б.

Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова  
ДП "Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення"ESTIMATION OF FAILURE PERFORMANCE ON LEVEL OF MPEG VIDEO STREAM  
FOR DIGITAL TELEVISION BROADCASTING SYSTEM

BALYARV.B.

Odessa national academy of telecommunications n.a. O.S. Popov  
SE "Ukrainian scientific-research institute of radio and television"

***Анотація.** В статті представлено результати досліджень в напрямку оцінки погіршення характеристик системи цифрового телевізійного мовлення на рівні відеопотоку MPEG з урахуванням можливих спотворень при декодуванні з застосуванням узагальненого параметру якості функціонування системи.*

***Abstract.** In article the results of studies on estimation of failure performance on level of MPEG video stream for digital television broadcasting system with consideration of decoding impairments and usage of generalized system operation quality parameter.*

На теперішній час практично всі системи цифрового мовлення базовані на використанні в якості методів усунення надлишковості телевізійних сигналів стандарти серії MPEG (Група експертів з кодування рухомих зображень). Обробка та формування відеосигналів та відповідних цифрових потоків, базованих на цих стандартах, має значну складність. В зв'язку з цим аудіовізуальні системи, базовані на використанні MPEG-стандартів, є вкрай чутливими до спотворень в каналі розподілу. Однією з проблем при цьому є визначення ефективних методів оцінки якості функціонування системи цифрового мовлення, що дозволять з мінімальною складністю оперативно виявляти виникнення порушень в роботі аудіовізуальної служби цього типу.

До цього часу в напрямку оцінки якості функціонування аудіовізуальних систем на рівні MPEG проведено ряд досліджень. Серед публікацій з цього питання можливо відзначити роботи [1-4]. Ці публікації присвячено питанням впливу спотворень різного типу в мережах з пакетним передаванням інформації з урахуванням особливостей відеопотоку MPEG. Так в роботі ТаоFангта Lap-Pui Chau розглянуто питання впливу вибору параметрів потоку MPEG та, зокрема, структури кадрів (GOP, Group of pictures) для підвищення якості передавання відеосигналів в каналі з помилками. В публікаціях [2-4] розглянуто питання впливу втрати пакетів на якість передавання відеопотоку та зв'язок цього параметру мережі пакетного передавання, базованій на IP-протоколі, з суб'єктивною якістю відеозображення та окремими об'єктивними метриками, застосовними для об'єктивної (апаратної) оцінки якості. Однак приведені оцінки в вищезгаданих роботах не дозволяють в повній мірі оцінити всі спотворення потоку MPEG, що можуть виникнути в каналі зв'язку, зокрема:

- розглянуто лише спотворення, пов'язані з усуненням міжкадрової надлишковості, в той час як оцінки внутрішньокадрових спотворень відсутні.
- встановлено лише наслідки виникнення спотворень в каналі без аналізу можливих причин певного прояву спотворень на відеозображенні;
- дано оцінку якості передавання відеосигналів тільки в залежності від параметру якості функціонування мережі, що застосовують лише в певних телекомунікаційних системах.

Метою цієї статті є оцінка погіршення характеристик системи цифрового телевізійного мовлення на рівні відеопотоку MPEG з урахуванням можливих спотворень, що можуть виникнути як при внутрішньокадровій, так й при міжкадровій обробці відеосигналу, з застосуванням параметру якості функціонування системи, що нормується в усіх телекомунікаційних та мовленнєвих системах.

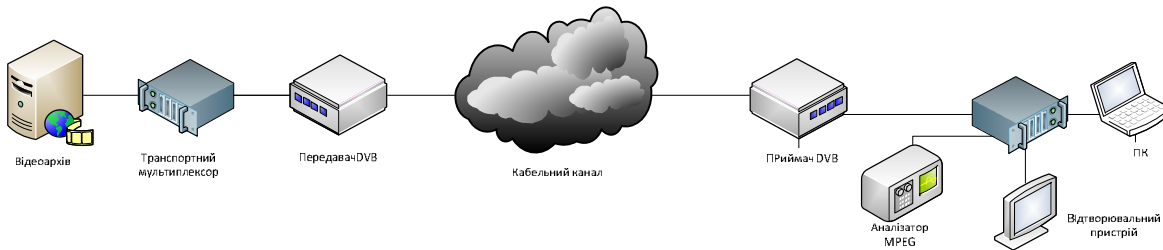
Для оцінки погіршення характеристик системи цифрового телевізійного мовлення на рівні відеопотоку MPEG розроблено модель системи цифрового телевізійного мовлення, структурну схему якої надано на рисунку 1.

**Опис експерименту.** Під час проведення досліджень поставлено експеримент, що полягав в наступному: при проведенні моделювання здійснювалось зчитування відеопослідовності у форматі потоку MPEG в середовище Matlab, звідки вона безпосередньо передавалась на вхід моделі системи DVB [5]. В процесі подальшої обробки проводилась фрагментація відеопотоку MPEG з введенням в корисне навантаження пакету транспортного потоку MPEG-2 довжиною 184 байти. Додатково для забезпечення ідентифікації інформації і можливості відновлення потоку MPEG з транспортного потоку вводиться заголовок довжиною 4 байти.

Після проведення операції транспортного мультиплексування відеопотоку MPEG в пакети транспортного потоку здійснювалась обробка передаваного потоку на фізичному рівні. Для моделювання вибрано канал з АБГШ, тому як характер помилок, що виникають при передаванні відеозображення, практично не залежить від типу каналу та може бути охарактеризовано за допомогою узагальненого параметру BER (коефіцієнт помилок бітів) після зовнішнього каналного декодера.

Для проведення аналізу спотворень застосовувались спеціалізоване програмне забезпечення, що входить до складу набору програмних кодеків MPEG розробника KLSOFTWARE та програмне забезпечення серії ELEGARD. Це програмне забезпечення, що встановлено на персональному комп'ютері, використовувалось на сервері відеоархіву для формування відеопослідовностей з різними GOP та в аналізаторі MPEG. Додатково для проведення аналізу відеозображень на виході демультиплексора та візуалізації результатів використано програмний код, що його розроблено в середовищі Matlab.

Передавання відеопослідовності повторювалось 7 разів при різних відношень носійне коливання/шум (C/N) в каналі мовлення, за яких величина BER після зовнішнього декодера відповідає таким:  $BER \approx 0.5 \cdot 10^{-1}$ ,  $BER \approx 1 \cdot 10^{-2}$ ,  $BER \approx 1 \cdot 10^{-3}$ ,  $BER \approx 1 \cdot 10^{-4}$ ,  $BER \approx 1 \cdot 10^{-5}$ ,  $BER \approx 1 \cdot 10^{-6}$  та  $BER \approx 1 \cdot 10^{-7}$ .



**Рисунок 1** – Узагальнена структурна схема лабораторної установки

**Опис відеопослідовностей.** При моделюванні розподілу аудіовізуальної інформації використано набір відеопослідовностей, узагальнені параметри яких приведено у таблиці 1.

Відеодані відповідно до стандарту MPEG організовані у вигляді ієрархічної структури: відеопослідовність, група кадрів (GOP), кадр, зріз, макроблок, блок. Кожен елемент цієї структури містить елементи нижнього рівня ієрархії і заголовок, що містить відповідну службову інформацію [6, 7].

Відеопослідовність є верхнім рівнем ієрархії і складається із заголовка і деякої кількості груп кадрів. Група кадрів також складається із заголовка і певної кількості I-, P- і B-кадрів. Кадр містить один або більше зрізів. Зріз є послідовністю макроблоків, які слідує зліва направо в одному горизонтальному ряду та на рівні яких здійснюють оцінку та компенсацію руху. Кожен макроблок містить певну кількість блоків розмірами 8x8, що містять звіти сигналу яскравості і кольоровості, яке залежить від вибраної структури дискретизації.

Враховуючи те, що додатково проводилось дослідження спотворень, що притаманні відеопослідовностям з різною структурою групою кадрів (GOP) стандарту MPEG, для моделювання використовувались відеопослідовності з однаковим сюжетом та різними структурами GOP. Параметри GOP відеопослідовностей визначено в таблиці 2.

Кожній з відеопослідовностей надано унікальне позначення, що й буде використовуватись надалі в цьому дослідженні. Для проведення дослідження вихідну відеопослідовність закодовано методом MPEG з використанням тільки внутрішньокадрового стиснення (без передбачення) та додатково з різними режимами передбачення (однонаправленим та двонаправленим передбаченням).

Таблиця 1 – Параметри відеопослідовностей, використані при моделюванні

Назва	Параметр	Значення
BBC-concert	Кількість рядків	576
	Кількість елементів зображення в рядку	720
	Вид розгортки	Прогресивна
	Кількість кадрів в секунду	25
	Тривалість відеосцени, с	≈ 21
	Метод стиснення відео	MPEG
	Швидкість цифрового потоку на виході кодера відео, Мбіт/с	4
	Метод стиснення аудіо	MPEG-1
	Швидкість цифрового потоку на виході кодера аудіо, кбіт/с	128
	Загальна швидкість цифрового потоку, Мбіт/с	4,5

Таблиця 2 – Параметри відеопослідовностей, що їх використано при моделюванні

№	Позначення	Фрагмент структури GOP	Співвідношення кількості кадрів різних типів в GOP, %			Загальна кількість кадрів в GOP
			I-кадри	P-кадри	B-кадри	
1	IP	IPIPIP...	51	49	-	527
2	I64P	IPPPPPP...	4	96	-	
3	IPBP	IPBPBP I ...	16	43	41	631
4	I75BP	IBBBBBBB...	4	4	92	527

Відеопослідовності з застосуванням однонаправленого передбачення (відеопослідовності 1-2 таблиці 2) обрано з різною довжиною GOP (інтервалом між опорними кадрами I-кадрами), що дозволить визначити залежність рівню спотворень від довжини GOP за умов впливу спотворень в каналі мовлення та виявити спотворення, що є притаманними режимам з однонаправленим передбаченням. Для відеопослідовностей 2-6 довжина GOP відповідає двом (IP) та шістьдесяти п'яти (I64P) кадрам відповідно. Загальна кількість кадрів в відеопослідовності відповідає 527 кадрам та 631 кадрам відповідно.

Відеопослідовності з застосуванням двонаправленого передбачення (відеопослідовності 3-4 таблиці 2) обрано з різною довжиною GOP (інтервалом між опорними кадрами I-кадрами), що дозволить визначити залежність рівню спотворень від довжини GOP за умов впливу спотворень в каналі та виявити спотворення, що є притаманними режимам з двонаправленим передбаченням. Для відеопослідовностей 3-4 довжина GOP відповідає трьом (IPB), та сімдесяти семі (I75BP) кадрам відповідно. Загальна кількість кадрів в відеопослідовності є змінною та відповідає 631 (відеопослідовність 3) та 527 (відеопослідовність 4) кадрам при приблизно однаковій тривалості.

Для оцінки спотворень в потоці MPEG розроблено ряд метрик, що застосованона різних етапах декодування – при міжкадровій та внутрішньокадровій обробці. Їх зведено в таблицю 3 з визначенням аналітичного виразу, застосовного для обчислення метрики.

В таблиці 3 введено такі позначення:

$Px_{ном}$  - кількість елементів зображення з помилками;  $Px_{заг}$  - загальна кількість елементів зображення в кадрі;  $BL_{ном}$  - кількість блоків 8×8 з помилками;  $BL_{заг}$  - загальна кількість блоків 8×8 в кадрі;  $MB_{ном}$  - кількість макроблоків з помилками;  $MB_{заг}$  - загальна кількість макроблоків в кадрі;  $SL_{ном}$  - кількість зрізів з помилками;  $SL_{заг}$  - загальна кількість зрізів в кадрі;  $VF_{дек}$  - кількість декодованих відеокадрів будь-якого типу;  $VF_{заг}$  - загальна кількість відеокадрів в GOP;  $T_{ном}$  - кількість декодованих відеокадрів, для яких невірно визначено тип.

Таблиця 3 – Метрики для оцінки спотворень в потоці MPEG при міжкадровій та внутрішньокадровій обробці відеосигналу

№	Параметр	Познака	Аналітичний вираз
1	Імовірність помилки елементів зображення	PxER	$PxER = \frac{Px_{ном}}{Px_{заг}}$
2	Імовірність помилки блоків розміром 8×8	BLER	$BLER = \frac{BL_{ном}}{BL_{заг}}$
3	Імовірність помилки макроблоків	MBLER	$MBLER = \frac{MB_{ном}}{MB_{заг}}$
4	Імовірність помилки зрізів	SLER	$SLER = \frac{SL_{ном}}{SL_{заг}}$
5	Вірогідність вірного декодування відеокадру	VFDR	$VFDR = \left( \frac{VF_{дек}}{VF_{заг}} \right) \cdot 100\%$
6	Вірогідність втрати опорного кадру	I-FLR	$VFLR = \left( 1 - \frac{VFDR}{100} \right) \cdot 100\%$ (замість VFDR підставляється відповідний тип кадру)
7	Вірогідність втрати кадру з однонаправленим передбаченням	P-FLR	
8	Вірогідність втрати кадру з двонаправленим передбаченням	B-FLR	
9	Вірогідності невірного визначення типу кадру	TER	$TER = \left( \frac{T_{ном}}{VFDR} \right) \cdot 100\%$
10	Кількості помилок синхронізації	SE	визначається шляхом підрахунку

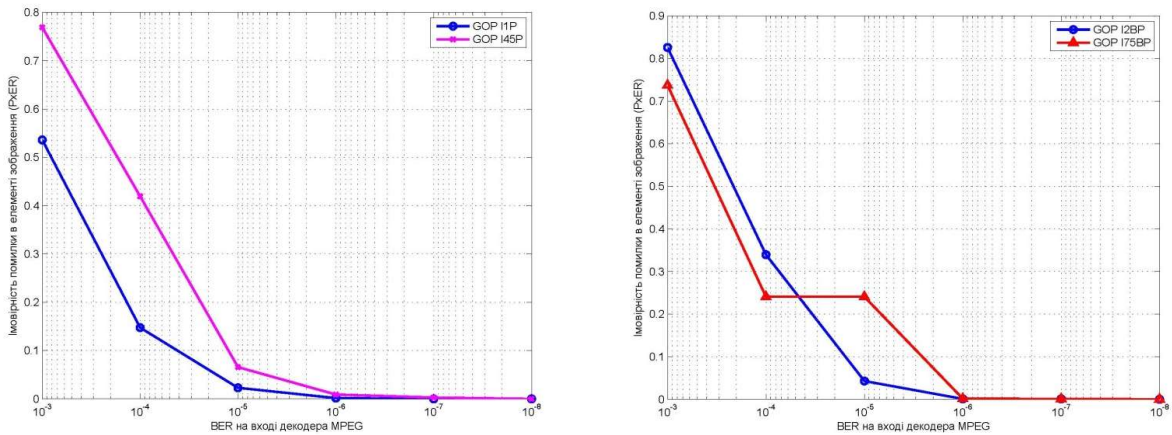
Під час інтерпретації результатів експерименту проводився аналіз для 527 відеокадрів, що забезпечувало статистично достовірний результат. Результати аналізу приведено на рисунках 2-5.

При збільшенні величини BER, тобто при погіршенні умов приймання, рівень структурних спотворень зростає, що призводить до суттєвого погіршення суб'єктивної якості. При аналізі на рівні елементів зображення, а також на вищих рівнях ієрархії потоку MPEG – на рівні блоків 8×8, макроблоків та зрізів, з'ясовано, що при збільшенні кількості помилок в каналі розподілу в послідовностях тільки з I- та P-кадрами величина PxER збільшується. При цьому за застосування режимів передбачення з кількістю передбачених (P) кадрів, що становить 45, імовірність PxER буде більшою, ніж за випадку відеопослідовності з одним P-кадром. Імовірною причиною цього є те, що при відновленні кадрів відеопослідовності в декодері внаслідок виникнення помилок в значеннях окремих елементів зображення чи в цілій групі елементів в опорних кадрах, використовуваних при передбаченні. При цьому відповідні ділянки відновлюваних кадрів будуть розраховані невірно. За збільшення відстані між опорними кадрами ця помилка буде збільшуватись та, відповідно, імовірність буде зростати.

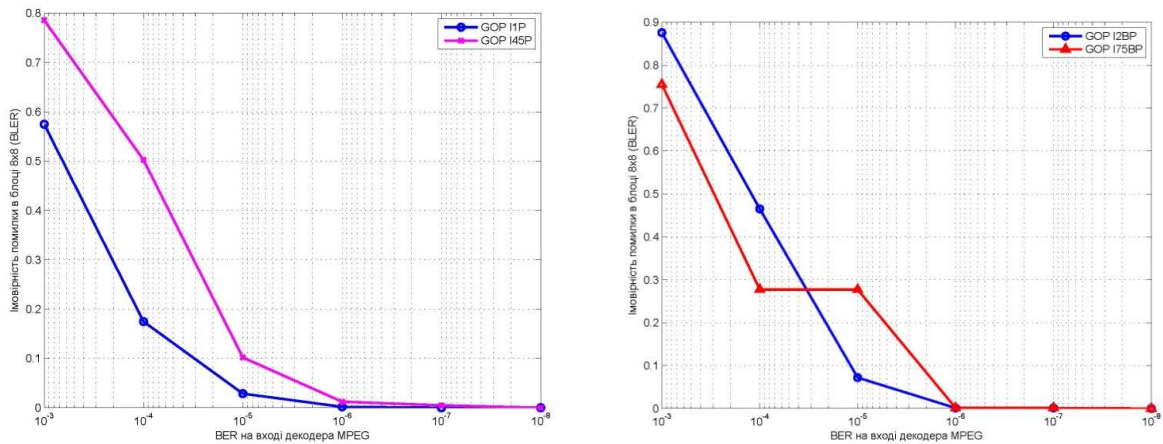
В відеопослідовностях з застосуванням двонаправленого передбачення (з B-кадрами) спостерігається дещо інша ситуація: при великих значеннях BER в відеопослідовностях з невеликою кількістю B-кадрів (в нашому випадку з двома B-кадрами) імовірність PxER є більшою, ніж за випадку відеопослідовностей з великою кількістю кадрів (з 75 кадрами типу B). Це може бути викликано тим, що за двонаправленого передбачення за великої кількості помилок виникає ефект «розмноження» помилок. Однак вже при збільшенні BER, коли кількість пошкоджених опорних кадрів зменшується та це дозволяє більш ефективно відновлювати кадри з компенсацією спотворень. Цей вигравш при відеопослідовності з великою кількістю кадрів становить приблизно 20 %.

Це викликано тим, що кожен відеокادر при двонаправленому передбаченні відновлюють по двом опорним кадрам – попередньому та наступному відносно поточного (відновлюваного) кадру. При цьому велика імовірність того, що відновлення буде здійснено з меншим рівнем спотворень. Це є можливим внаслідок того, що відповідні ділянки одного з двох опорних кадрів (чи навіть двох) буде

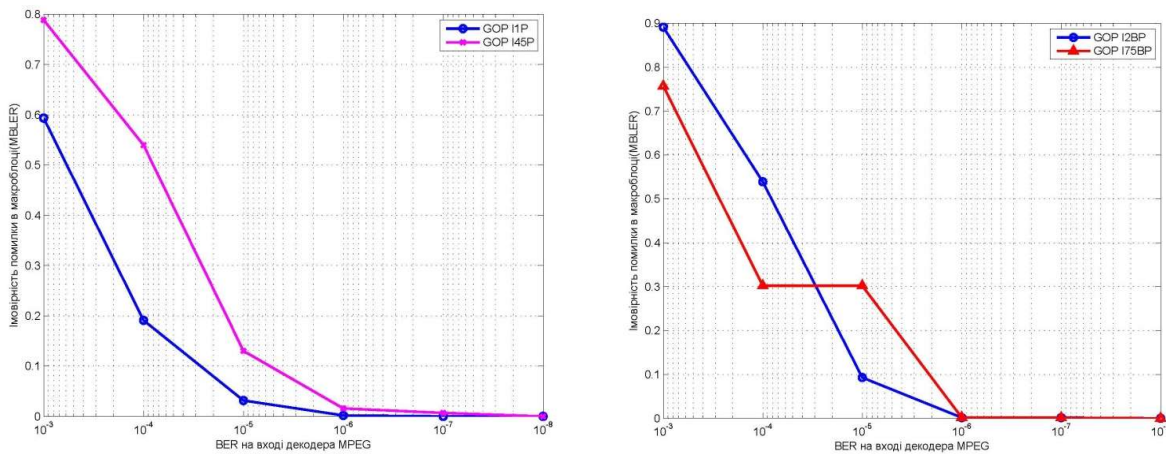
пошкоджено (суттєво чи незначним чином), але, враховуючи те, що опорні кадри піддаються пошкодженню незалежно один від одного, відновлення буде здійснюватись більш-менш вірно.



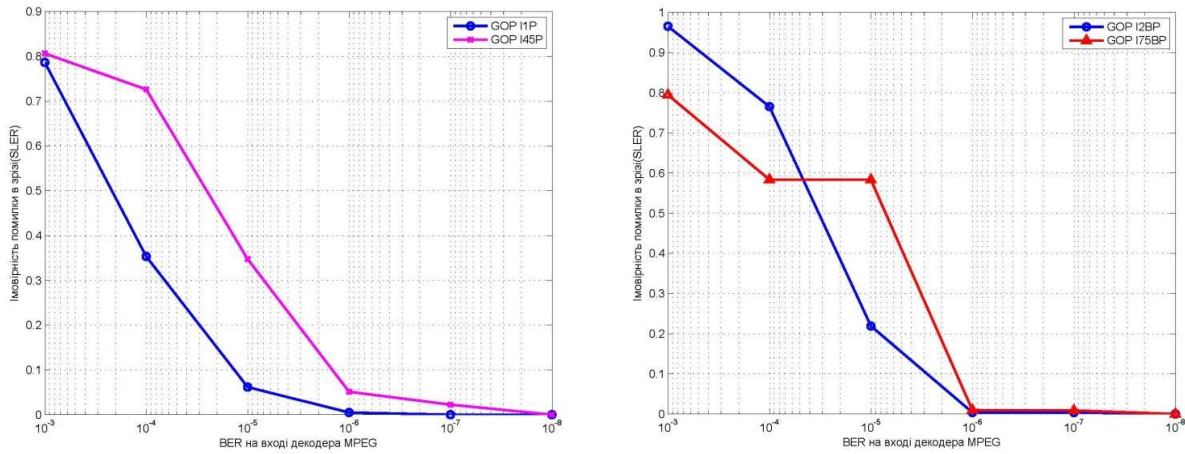
**Рисунок 2-**Залежність імовірності помилки в елементі зображення (PxER) від величини BER для відеопослідовностей I1P, I45P та I2BP, I75BP



**Рисунок 3-** Залежність імовірності помилки в блоці зображення  $8 \times 8$  (BLER) від величини BER для відеопослідовностей I1P, I45P та I2BP, I75BP



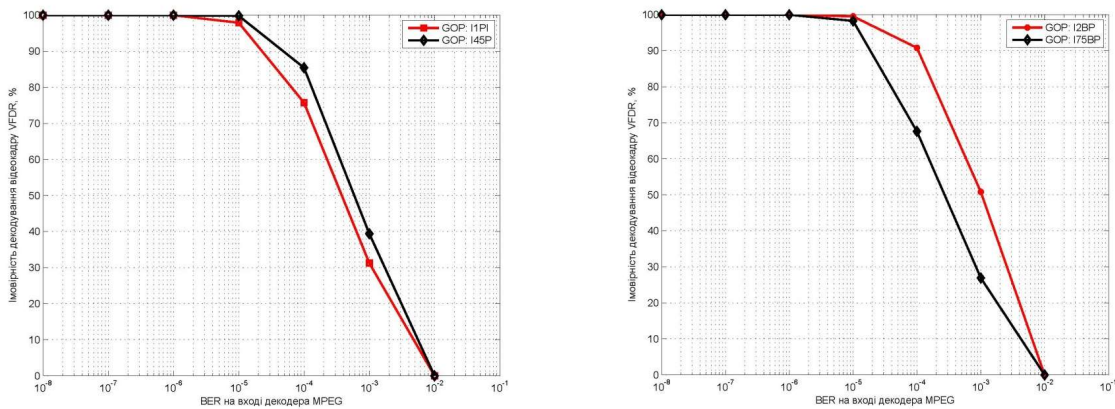
**Рисунок 4-** Залежність імовірності помилки в макроблоці зображення (MBLER) від величини BER для відеопослідовностей I1P, I45P та I2BP, I75BP



**Рисунок 5-** Залежність імовірності помилки в зрізі зображення (SLER) від величини BER для відеопослідовностей I1P, I45P та I2BP, I75BP

На рисунку приведено залежність імовірності декодування відеокадру MPEG від величини BER на вході декодера MPEG, отримані в процесі моделювання. З рисунків видно, що внаслідок збільшення кількості помилок (збільшення BER) кількість декодованих відеокадрів зменшується, причому для відеопослідовностей тільки з однонаправленим передбаченням при збільшенні відстані між опорними кадрами кількість декодованих кадрів збільшується. Це, імовірно, пов'язано з тим, що при наявності достатньої кількості опорних кадрів поточний (не опорний) кадр може бути відновлено за допомогою найближчого з них.

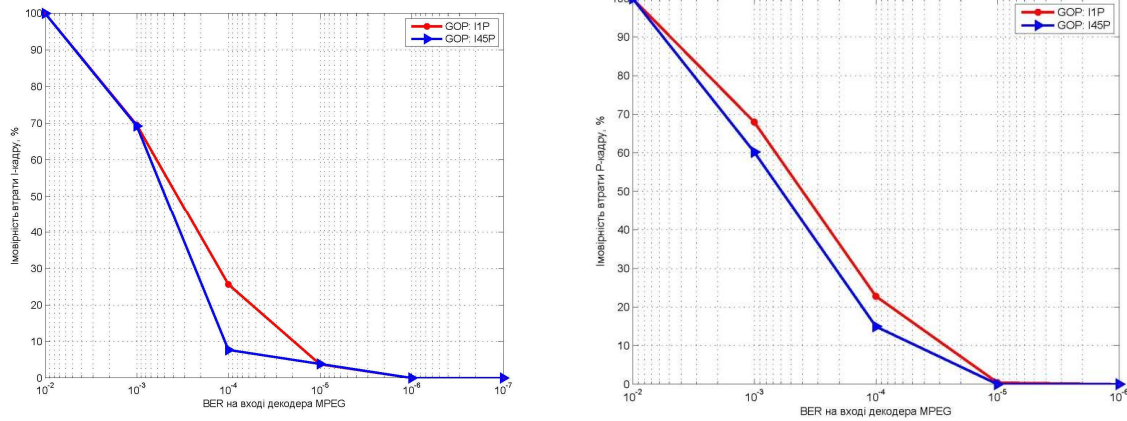
В відеопослідовностях з В-кадрами спостерігається дещо інша ситуація. За малої кількості В-кадрів імовірність декодування відеокадру є більшою, ніж за значної кількості кадрів з двонаправленим передбаченням. Це викликано тим, що за збільшення кількості В-кадрів при пошкодженні одного опорного кадру (або декількох) неможливим є декодування цілої групи кадрів. Вищезазначене може бути підтвержене результатами моделювання, наданими нижче на рисунках 7-8.



**Рисунок 6–** Залежність імовірності декодування відеокадру MPEG від BER на вході декодера MPEG для відеопослідовностей I1P, I45P та I2BP, I75BP

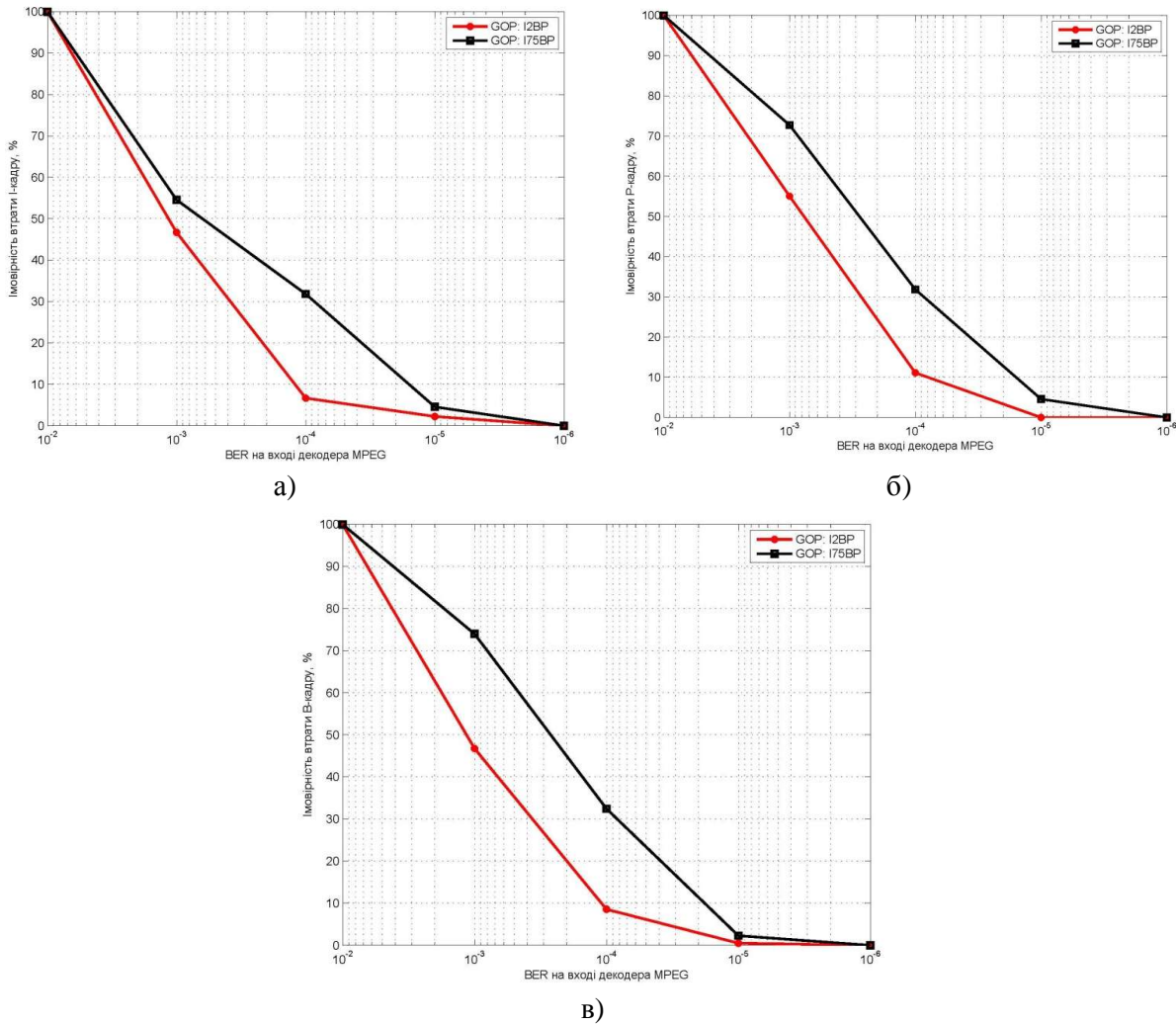
Імовірність втрати (недекодованості) опорного I-кадру, за допомогою якого відновлюють інші кадри (P-кадри), за збільшення кількості помилок (збільшенні BER) при відеопослідовності I1P є більшою, ніж при відеопослідовності I45P. При  $BER = 1 \cdot 10^{-4}$  різниця в величині імовірності втрати I-кадру для відеопослідовностей I1P та I45P становить приблизно 18 %. Відповідно й імовірність втрати P-кадру, який відновлюють за попереднім I- чи P-кадром, є більшою за I1P (приблизно на 10 %).

При відеопослідовностях з В-кадрами спостерігається дещо інша ситуація. З збільшенням BER на вході декодера MPEG імовірність втрати I-кадру збільшується, та при цьому збільшується імовірність втрати P- та В-кадрів, що відновлюються за опорними.

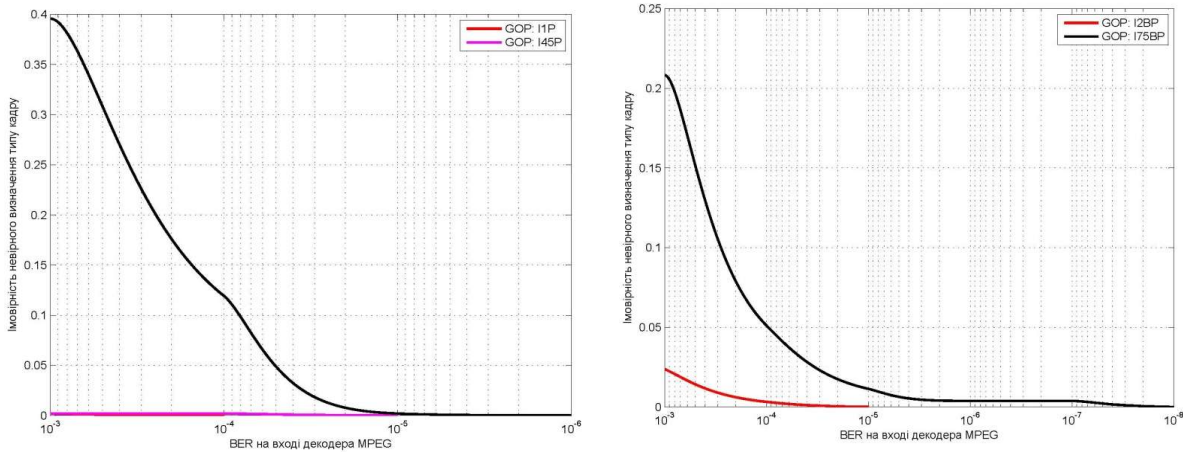


**Рисунок 7-** Залежність імовірності втрати I-кадру від величини BER на вході декодера MPEG для відеопослідовностей I1P, I45P та I2BP, I75BP

При цьому зі збільшенням відстані між I-кадрами кількість втрачених кадрів збільшується. Так різниця в величині імовірності втрати I-кадру при відеопослідовностях I2BP та I75BP складає приблизно 25 %. Збільшення імовірності втрати P-кадрів та B-кадрів складає приблизно 20 %.



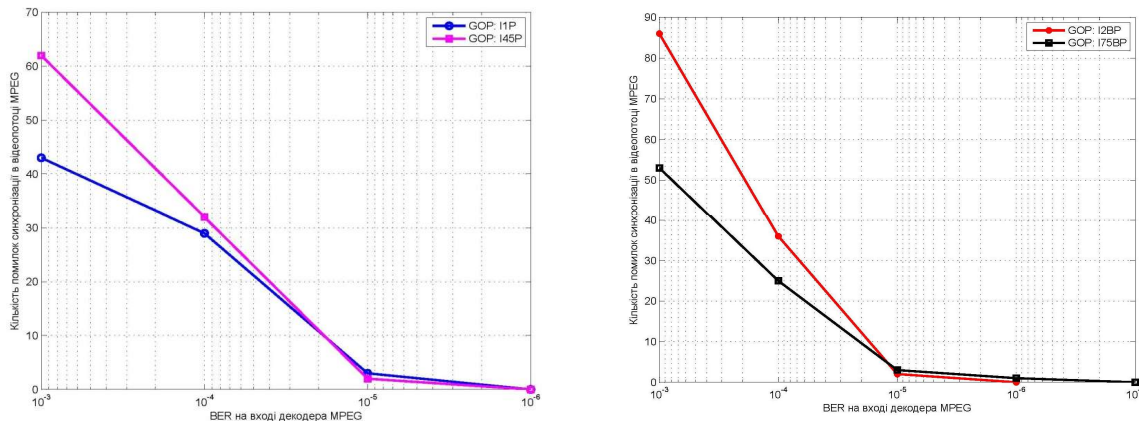
**Рисунок 8-** Залежність імовірності втрати I-кадра від величини BER на вході декодера MPEG для відеопослідовностей I1P, I45P та I2BP, I75BP



**Рисунок 9-** Залежність імовірності невірного визначення типу кадрів від BER на вході декодера MPEG для відеопослідовностей I1P, I45P та I2BP, I75BP

До того ж, збільшення кількості не декодованих відеокадрів може бути викликано тим, що при збільшенні кількості помилок збільшувалась імовірність пошкодження службової інформації, що відповідає за ідентифікацію типу відеокадру. Такий тип спотворень буде призводити до того, що поточний (відновлюваний) кадр буде відновлено невірно внаслідок того, що його будуть відновлювати за аналогічним кадром, а не за опорним. Рівень структурних спотворень при цьому буде зростати та до того ж, вірогідно, це буде призводити до втрати кадрів.

Окрім того, при збільшенні рівню помилок в каналі розподілу збільшується імовірність виникнення помилок синхронізації. Результати аналізу відеопослідовностей різних типів надано на рисунку 10.



**Рисунок 10 -**Залежність кількості помилок синхронізації в відеопотоці від BER на вході декодера MPEG для відеопослідовностей I1P, I45P I1P, I45P та I2BP, I75BP

Поява подібних спотворень буде також призводити до погіршення суб'єктивної якості зображення внаслідок того, що для відеокадру не буде визначено час його відтворення та цей кадр буде відкидатись декодером MPEG.

На закінчення слід відмітити наступне. Побудова потоку аудіовізуальних служб в форматі MPEG є надзвичайно складною, що обумовлює підвищення вимог до системи передавання, через яку розподіляють ці сигнали. Підвищення завадостійкості системи при цьому може бути реалізовано на рівні транспортного потоку, в якому передають сигнали цифрового телебачення в форматі MPEG, та безпосередньо на рівні програмного потоку MPEG. Але для запобігання зменшення ефективності використання радіочастотного ресурсу та вибору більш ефективних методів підвищення завадозахищеності програмного потоку MPEG має бути досліджено прояв на результуючій якості зображення та звукового супроводу за впливу спотворень. Вирішенню саме цієї задачі й присвячено цю статтю. Як результат проведених досліджень проаналізовано прояв структурних та інших спотворень на зображенні та дано оцінку мінімальному рівню помилок в системі цифрового мовлення, за якого практично відсутній пороговий ефект в функціонуванні служби цифрового мовлення.



Перелік посилань

- 1 TaoFangAnError-ResilientGOPStructureforRobustVideoTransmission/ TaoFang , Lap-Pui Chau// IEEEtransactionsonmultimedia. – 2005. -vol. 7, no. 6. – 1131-1138 p.
- 2 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.
- 3 Árpád HuszákAnalyzing GOP Structure and Packet Loss Effects on Error Propagation in MPEG-4 Video Streams/Árpád Huszák, Sándor Imre/ Proceedings of 4<sup>th</sup> International symposium on communications, control and signal processing, ISCCSP. – 2010, Limassol, Cyprus. – 5 p.
- 4 Muhammad Saleem KoulAnalysis of the effects of packet loss and delay jitter on MPEG-4 video quality/Muhammad Saleem Koul/Review Paper EE5359: Advanced Image Processing and Video Communications. – 2007.
- 5 Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2): ETSI EN 302 755. – Sophia, France: ETSI, 2009. – 164 p.
- 6 Інформаційні технології. Метод кодування аудіовізуальної інформації MPEG-2. Частина 1. Системи. Побудова цифрового потоку. Загальні технічні вимоги (ISO/IEC 13818-1, MOD): ДСТУ 4192-2003. – [Чинний від 2006-04-01] - К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 214 с. - (Національний стандарт України).