

7. Вакин С.А. Основы радиоэлектронной борьбы / С.А. Вакин, Л.Н. Шустов. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1998. – 434 с.

Рецензія/Peer review : 29.9.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мартинюк В.В.

УДК 621.397

Ю.Ф. АДАМЕНКО, М.В. ЗІНЧЕНКО, Я.В. ГАДЖИЛОВ
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ОЦІНКА ЗАСОБІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИГНАЛІВ

Робота присвячена оцінці ефективності використання засобів цифрової обробки сигналів в системах цифрового телевізійного мовлення. Проведено порівняння якості закодованих цифрових відеозображень найпоширенішими кодеками: H.264/AVC, XviD, Windows Media Video v9. Показано, що об'єктивна оцінка кожного з кодеків вимагає розгляду принаймні трьох методів аналізу: PSNR, SSIM, VQM. Складність оцінювання засобів цифрової обробки вимагає врахування рівня прояву того чи іншого показника якості з часом на ранг кодеків. Оскільки, середні оцінки якості зображення понижуються із зменшенням швидкості цифрового потоку, то порівнювати кодеки між собою можливо за співвідношенням середньої оцінки якості зображення та швидкості цифрового потоку. Застосування статистичного підходу, шляхом створення вибірок миттєвих співвідношень для кожного з кодеків, дозволило знайти ймовірнісні дані ранжування кодеків за трьома методами.

Ключові слова: цифровий телевізійний сигнал, засоби цифрової обробки сигналів, статистичний аналіз.

YU.F. ADAMENKO, M.V. ZINCHENKO, YA.V. GADZHYLOV
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

EVALUATION OF DIGITAL PROCESSING OF TELEVISION SIGNALS

The work is devoted to the use efficiency evaluation of digital signal processing means in the systems of digital television broadcasting.

The comparison of the quality of the encoded digital video by the most common codes (H. 264/AVC, XviD, Windows Media Video v9) is performed. It is shown that an objective evaluation of each codecs requires consideration of at least three analysis methods: PSNR, SSIM, VQM. The complexity of the evaluation of the digital processing means requires consideration of the expression level for a given quality score over time to the rank of codecs. So, the average image quality evaluation decreases with decreasing speed of the digital data stream, to compare the codecs is possible by correlation the average image quality evaluation and bit rate.

The application of statistical approach, by sampling the instantaneous correlations for each of the codecs is possible to find the probabilistic rankings of the codecs for the three methods.

Keywords: digital television signal, digital signal processing means, statistical analysis.

Вступ

Оцінку якості телевізійного зображення можна здійснити безпосередньо оцінкою зображення на екрані або за якістю ТВ сигналу на виході досліджуваного каналу. Це може бути як результат спостереження людини або групи людей (суб'єктивний підхід), так і результат роботи приладів, що в тій чи іншій мірі моделюють процес суб'єктивного оцінювання та фіксують погіршення якості зображення та звуку чи спотворення ТВ сигналу (об'єктивний підхід).

Складним та актуальним завданням є забезпечення якості зображень та звуку під час їх відтворення. На практиці досить часто мають місце ситуації, коли початкове і оброблене зображення здаються спостерігачеві ідентичними, тоді як об'єктивні методи для одних і тих же зображень дають дуже велику похибку. Враховуючи те, що оцінка якості людиною є вирішальною, подібна похибка при об'єктивних вимірах може бути просто не допустимою. Це і обумовлює головну складність розробки об'єктивних методів.

Методи об'єктивного вимірювання якості зображень можна розділити на дві великі групи – методи, що не враховують особливості сприйняття зображень людиною, та методи, які враховують ці особливості. Методи першої групи більш прості в реалізації (пікове відношення сигнал/шум, середньоквадратична абсолютна різниця, середня різниця), проте методи другої групи дають найбільш відповідні суб'єктивним оцінкам результати.

Існують односторонні і двосторонні об'єктивні алгоритми оцінки якості цифрового відеосигналу. Односторонні алгоритми застосовуються в тих випадках, коли немає можливості порівняти оброблений сигнал з оригіналом. Більшість з них спираються на апріорну інформацію про те, за якими принципами відбувалася обробка вихідного відеосигналу, а також про виникаючі у процесі обробки типах спотворень. Прикладом слугують алгоритми виявлення блочної структури або оцінки шумів квантування. До двосторонніх відносяться алгоритми, засновані на порівнянні двох зображень або їх властивостей: вихідного (оригіналу) і обробленого. Серед них широке практичне застосування, зважаючи на просту математичну інтерпретацію, мають алгоритми, засновані на порівняннях відповідних пікселів. Тим не менше найбільш перспективними двосторонніми алгоритмами, яким в останні роки присвячено більшість досліджень в області методів оцінки якості відеосигналу, є алгоритми, що враховують систему візуального сприйняття людини (наприклад, алгоритми, засновані на структурній подібності).

Постановка задачі

В системах цифрового телевізійного мовлення для сигналів високої чіткості використовують кодек H.264/AVC, який належить до групи кодеків MPEG-4. В останній час йде мова щодо його покращення, але немає єдиної думки, що саме і як треба покращувати. Можливо взагалі змінювати нічого не варто. Рациональним шляхом вирішення поставлених проблем є проведення порівняння якості зображень закодованого цим кодеком з іншими відомими кодеками. наприклад кодек XviD формату MPEG4-ASP з відкритими вихідними текстами та кодек Windows Media Video версії 9 пропріетарного формату MPEG-4, що використовуються для кодування мультимедійної інформації в телекомунікаційних мережах. Зазначимо, що усі використовувані кодеки є безкоштовними.

Об'єктивна оцінка кожного з кодеків полягає у розгляді трьох методів: PSNR, SSIM, VQM. Ці методи вирізняються критеріями оцінювання, а отже, ставимо за мету обґрунтувати умови за яких той чи інший кодек згідно вказаних методів матиме якомога якісну об'єктивну оцінку. Причому, складність оцінки полягатиме в тому, що у залежності від рівня прояву того чи іншого показника якості з часом ранг кодеків може змінюватися.

Основна частина

Для проведення дослідження обрано динамічну відеопослідовність з насиченими кольорами, швидким панорамуванням, рухом, зміною масштабу зображення та дрібними деталями. Тривалість відео послідовності — 1хв. Дослідження проведено для трьох значень швидкості цифрового потоку — 400 кбіт/с, 1200 кбіт/с та 4000 кбіт/с (значення 1200 кбіт/с є оптимальним, в той час як значенням 400 кбіт/с і 4000 кбіт/с є крайніми межами для нашого сигналу) [1]. Кодування проводилося за допомогою програми Rhozet Carbon Coder, а самі дослідження — у програмному середовищі MSU Video Quality Measurement Tool.

Розглянемо по чергово кожний застосований об'єктивний метод.

1. PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) — визначається як співвідношення між максимумом можливого значення сигналу і потужністю шуму, що його спотворює і обчислюють за середньоквадратичним відхиленням початкового зображення від перетвореного відеокадру відносно найбільш можливого значення пікселя за формулами:

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{MAX_f}{\sqrt{MSE}} \right),$$

де $MSE = \frac{1}{mn} \sum_0^{m-1} \sum_0^{n-1} [f(i,j) - g(i,j)]^2$ — середньоквадратичне відхилення, f та g — матричні дані вихідного та закодованого зображення, m та n — число рядків та стовпців пікселів у кадрі, i та j — індекс пікселя в рядку та стовпці, відповідно, MAX_f — максимальне значення пікселя [2]. PSNR зазвичай використовується для вимірювання рівня спотворень при стисненні зображень.

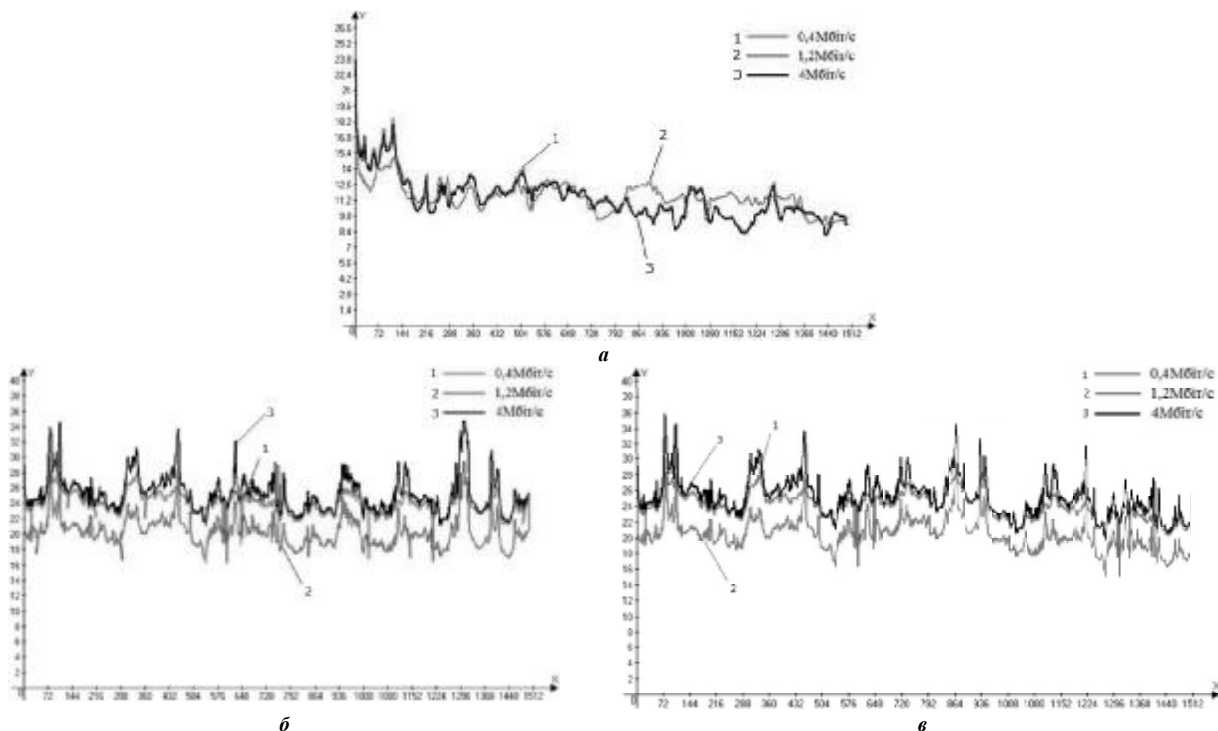


Рис. 1. Покадрове значення метрики PSNR для кожної відеопослідовності кодованої кодеками: а) H.264, б) WMV 9.0, в) XviD

Метрика PSNR має цілий ряд недоліків. Для обчислення величини PSNR необхідно мати і

початкову, і перетворену послідовності, але перша буває не завжди доступна. Крім того, не завжди легко перевірити, чи початкове відео має високу якість. Величина PSNR погано корелює з результатами суб'єктивного оцінювання якості.

Для деякого зображення або послідовності зображень велике PSNR зазвичай вказує на високу, а мале PSNR — на низьку якість перетворених зображень у порівнянні з початковими. На рисунку 1 наведені результати використання PSNR для кожної кодованої відеопослідовності.

Нульовому рівневі спотворень відповідає значення PSNR, що дорівнює нескінченності. Але конкретні величини необов'язково гарантують абсолютно суб'єктивну якість. На практиці відеопослідовність зображення зі значеннями PSNR порядку 40-43 дБ і вище є зображенням високої якості, у той час як значення порядку 30 дБ і нижче характеризують зображення поганої якості. Ці значення приведені для якості зображення, що передається у сучасному цифровому телебаченні. В нашому досліді використовується відеопослідовність з якістю на порядок нижче, що викликає за собою відповідні зміни значень. Але високе значення PSNR не завжди гарантує добру якість, через те, що зорова система людини має нелінійний характер.

Відносно простий з математичної точки зору метод, дає досить об'єктивну оцінку, але не враховує тонкощів людської реакції на різного роду спотворення зображення.

2. SSIM (Structure Similarity Index Measure) — індекс структурної схожості зображення. Цей метод враховує особливості сприйняття зображень людиною, які полягають у підвищеній увазі до зміни яскравості та контрасту зображення. На відміну від PSNR метод SSIM враховує методологію середньоквадратичної похибки MSE. Суть методу полягає в обчисленні індексу структурної схожості зображення (Structure Similarity Index Measure - SSIM) [3], який базується на вимірюванні трьох складових – схожості за яскравістю, схожості за контрастом і структурної схожості та об'єднанні їх в кінцевий результат. Алгоритм обчислення індексу SSIM представлена на рисунку 2. Метод враховує особливості сприйняття зображень людиною, які полягають у підвищеній увазі до зміни яскравості та контрасту зображення.

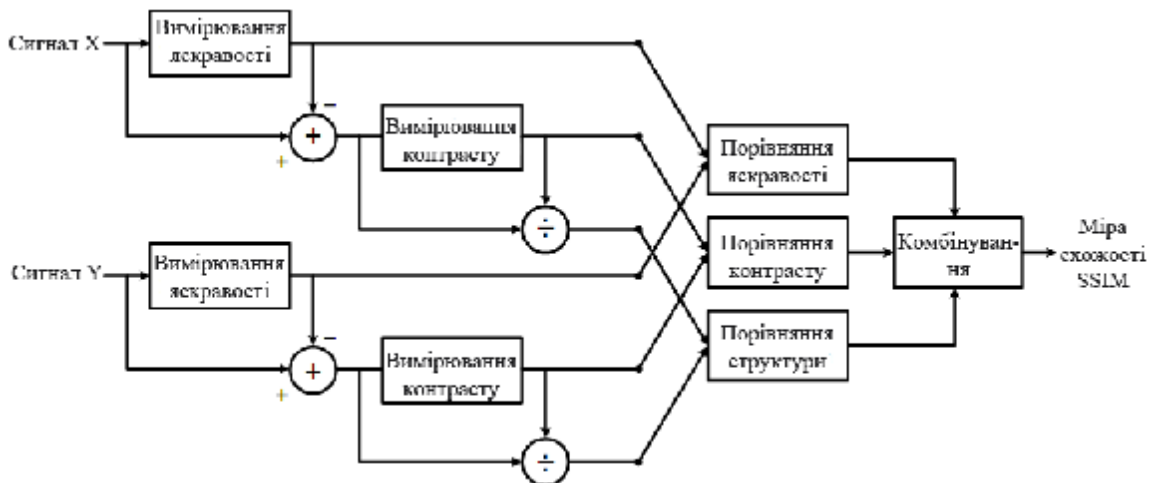


Рис. 2. Алгоритм обчислення індексу SSIM

Нехай $x = \{x_i | i = 1, 2 \dots N\}$ і $y = \{y_i | i = 1, 2 \dots N\}$ — початкове і оброблене зображення відповідно. Тоді індекс структурної схожості зображення:

$$SSIM = \frac{(2 \cdot \bar{x} \cdot \bar{y} + C_1)(2 \cdot s_{xy} + C_2)}{(\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + C_1)(s_x^2 + s_y^2 + C_2)},$$

де \bar{x} — середнє значення пікселів початкового зображення як міра його яскравості, \bar{y} — середнє значення пікселів обробленого зображення як міра його яскравості, s_x^2 — стандартне відхилення значень пікселів початкового зображення як міра його контрасту, s_y^2 — стандартне відхилення значень пікселів обробленого зображення як міра його контрасту, s_{xy} — кореляція значень пікселів початкового і обробленого зображення як міра структурної схожості двох зображень, C_1, C_2 — деякі константи, $C_1 = (K_1 L)^2$, $C_2 = (K_2 L)^2$, $K_1 \ll 1$, $K_2 \ll 1$, L — динамічний діапазон яскравості пікселів зображення (255 для 8-бітних зображень).

Якщо константи $C_1 = C_2 = 0$, то маємо частковий випадок індексу, який має назву універсального

індексу якості (Universal Quality Index – UQI) [3], який дає нестабільні результати, коли $(\bar{x}^2 + \bar{y}^2)$ чи $(s_x^2 + s_y^2)$ прямує до нуля. Як і у випадку SSIM, індекс UQI розглядає будь-які спотворення як сукупність трьох різних факторів: спотворення яскравості, спотворення контрасту і втрату кореляції.

На рисунку 3. представлені результати покадрового значення метрики SSIM для кожної кодової відеопослідовності.

Зазначимо, що найкраще значення досягаються, коли $y_i = ax_i + b$ для усіх $i = 1, 2, \dots, N$, де a і b — константи і $a > 0$. Навіть якщо x і y знаходяться в лінійній залежності, можуть мати місце інші спотворення (яскравості і контрасту). Спотворення яскравості вимірюють на проміжку $[0, 1]$ як міру схожості складових яскравості двох зображень x і y . Вона набуває значення, рівне 1, тоді і тільки тоді, якщо $\bar{x} = \bar{y}$. А s_x і s_y розглядають як оцінку різниці контрасту між x і y , що також набуває значень на проміжку $[0, 1]$ і має найкращий результат при $s_x = s_y$.

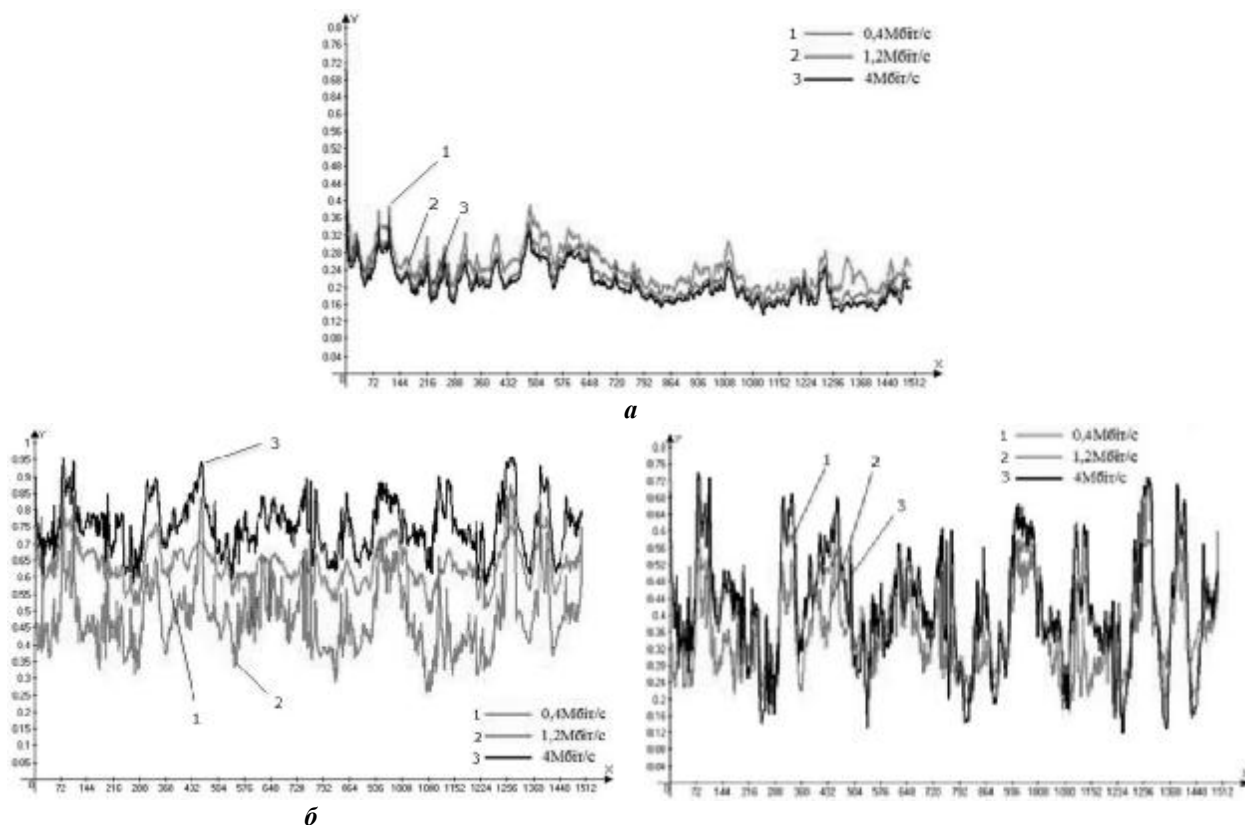


Рис.3 – Покадрове значення метрики SSIM для кожної відео послідовності кодованої кодеками:
а) H.264, б) WMV 9.0, в) XviD

3. VQM (Video Quality Measurement) — міра якості відео на основі дискретного косинусного перетворення. Оцінку якості зображення здійснюють з урахуванням максимального відхилення по усьому кадру, оскільки в алгоритмі робиться припущення про те, що одне велике спотворення в одній частині зображення відверне увагу спостерігача від менших спотворень в інших частинах кадру.[4]

Алгоритм вимірювання якості відео ґрунтується на ідеї про те, що в більшості випадків спостерігач при оцінці якості зображення менше звертає увагу на дрібні деталі, тоді як його основна увага концентрується на великих об'єктах [5]. Отже, можливо представити високочастотну часову і просторову інформацію з меншою точністю, а втратою якості у такому разі можна знехтувати, оскільки око малочутливе до спотворень на подібному рівні. Тому замість попиксельного порівняння яскравості двох зображень (еталонного і спотвореного) в алгоритмі здійснюють порівняння зважених частот на рівні людського сприйняття.

Крім того, відповідно до [5] найбільший пріоритет при оцінці якості мають ті частини зображення, яскравість яких найбільша. Це ґрунтується на припущенні про те, що якщо частина зображення яскравіша, то і спотворення на ній повинні виявитися помітніші оку.

На рисунку 4 представлено покадрове значення метрики VQM для кожної відео послідовності.

Таким чином, оцінку якості зображення здійснюють з урахуванням максимального відхилення по усьому кадру, оскільки в алгоритмі робиться припущення про те, що одне велике спотворення в одній частині зображення відверне увагу спостерігача від менших спотворень в інших частинах кадру.

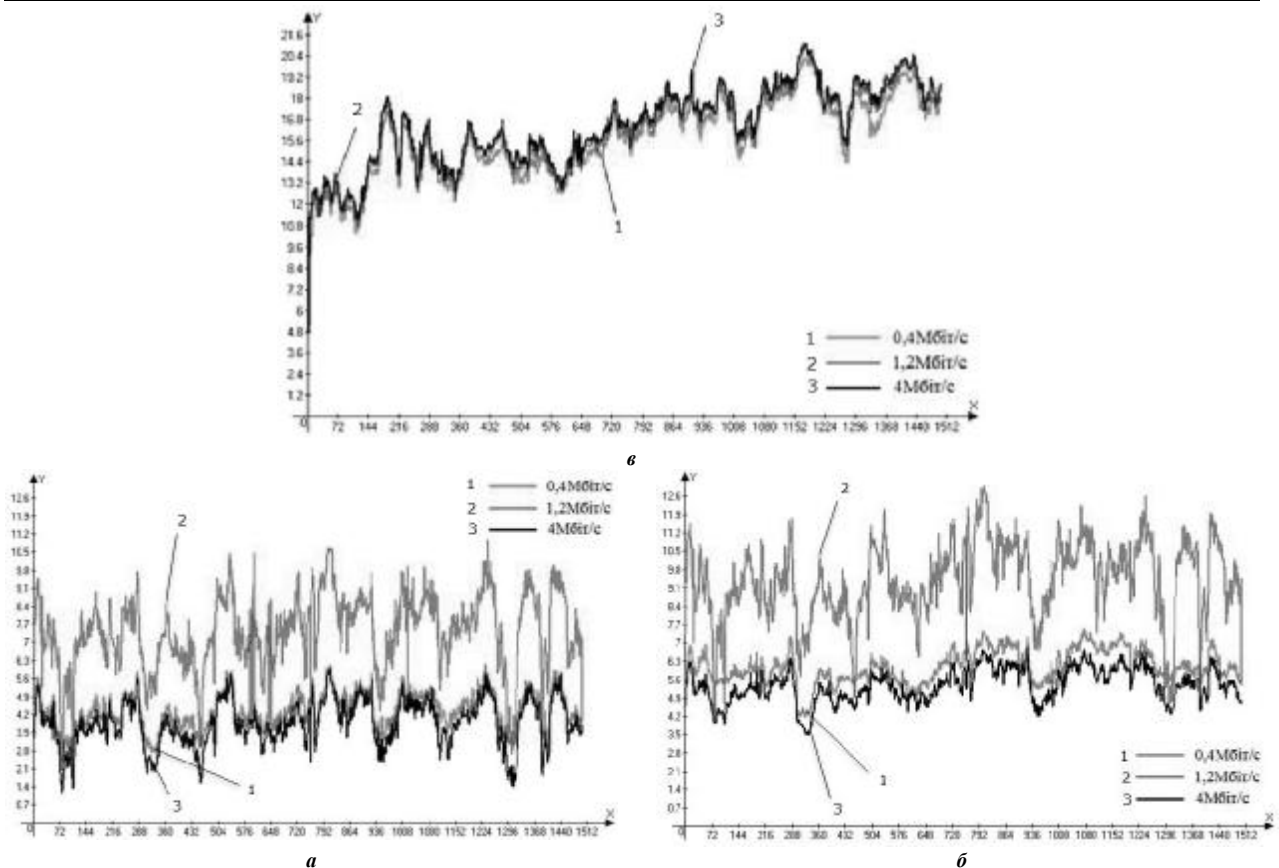


Рис. 4. Покадрове значення метрики VQM для кожної відео послідовності кодованої кодеками: а) H.264, б) WMV 9.0, в) XviD

Для наочності вимірювань середні значення метрик для кожної кодованої відеопослідовності, представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Середні значення метрик

Послідовність	Бітрейт	Середнє значення метрики		
		PSNR _{ср.} , дБ	SSIM _{ср.} , дБ	VQM _{ср.} , дБ
xVid	400 кбіт/с	21,08133	0,407488	5,903897
	1200 кбіт/с	19,15676	0,332686	8,827163
	4000 кбіт/с	21,76595	0,439281	5,082745
H.264	400 кбіт/с	13,71624	0,275785	13,329
	1200 кбіт/с	13,79212	0,254484	13,60921
	4000 кбіт/с	13,64329	0,238719	13,93264
WMV 9.0	400 кбіт/с	24,91309	0,665792	4,035878
	1200 кбіт/с	21,11191	0,482919	6,907294
	4000 кбіт/с	26,09358	0,761828	3,603731

Згідно трьох методів дослідження середні оцінки якості зображення понижуються із зменшенням швидкості цифрового потоку (збільшенням стиснення). Тобто чим менша швидкість цифрового потоку, тим гірша якість зображення. Порівнювати кодеки між собою можливо за середньою оцінкою якості зображення лише за умови, що швидкість цифрового потоку для зазначених кодеків буде однаковою, що неможливо виконати, оскільки використовуються різні методи стиснення. В цьому випадку доречним буде порівняння відповідних кожному кодеку співвідношень між середньою оцінкою якості зображення та швидкістю цифрового потоку. Так як вказані співвідношення є функціями часу, то необхідно застосовувати статистичний підхід, що полягає у створенні вибірок миттєвих співвідношень для кожного з кодеків за досить великий проміжок часу. У нашому випадку тривалість відео послідовності протягом 1хв є цілком прийнятною, оскільки кожна вибірка може містити більше 1000 елементів. У таблиці 2 для довірчої ймовірності 98 % приведені ймовірнісні впорядкування кодеків за якістю.

Отже, за результатами таблиці 2 відповідно до використаних метрик найбільш неприйнятним є кодування відео послідовності з використанням кодека XviD, а кодек H.264 можна вважати найбільш оптимальним.

За метрикою PSNR

№ рангу/ ймов. впорядкування.	6%	18%	37%	21%	13%	5%
1	xVid	H.264	H.264	WMV 9.0	WMV 9.0	xVid
2	WMV 9.0	xVid	WMV 9.0	H.264	xVid	H.264
3	H.264	WMV 9.0	xVid	xVid	H.264	WMV 9.0

За метрикою SSIM

№ рангу/ ймов. впорядкування.	8%	24%	29%	17%	13%	9%
1	xVid	H.264	H.264	WMV 9.0	WMV 9.0	xVid
2	WMV 9.0	xVid	WMV 9.0	H.264	xVid	H.264
3	H.264	WMV 9.0	xVid	xVid	H.264	WMV 9.0

За метрикою VQM

№ рангу/ ймов. впорядкування.	13%	14%	21%	25%	16%	11%
1	xVid	H.264	H.264	WMV 9.0	WMV 9.0	xVid
2	WMV 9.0	xVid	WMV 9.0	H.264	xVid	H.264
3	H.264	WMV 9.0	xVid	xVid	H.264	WMV 9.0

Висновки

Розвиток сучасних технологій в системах цифрового телевізійного мовлення для сигналів високої чіткості вимагає вирішення численних питань в оцінці якості використовуваних кодеків (H.264, WMV 9.0 та xVid). Об'єктивна оцінка кожного з кодеків вимагає розгляду трьох методів: PSNR, SSIM, VQM. Ці методи вирізняються критеріями оцінювання, а отже складність оцінювання полягатиме в тому, що у залежності від рівня прояву того чи іншого показника якості з часом ранг кодеків може змінюватися. Згідно методів дослідження середні оцінки якості зображення понижуються із зменшенням швидкості цифрового потоку (збільшенням стиснення), чим менша швидкість цифрового потоку, тим гірша якість зображення. Порівнювати кодеки між собою можливо за співвідношенням між середньою оцінкою якості зображення та швидкістю цифрового потоку. Так як вказані співвідношення є функціями часу, то необхідно застосовувати статистичний підхід, що полягає у створенні вибірок миттєвих співвідношень для кожного з кодеків за досить великий проміжок часу. Знайдені з довірчою ймовірністю 98 % дані щодо впорядкування кодеків за якістю по трьом метрикам показали, що найбільш неприйнятним є кодування відео послідовності з використанням кодека XviD, а кодек H.264 можна вважати найбільш оптимальним.

Література

1. Гулин А.И. Обзор алгоритмов контроля качества подвижных изображений, используемых для цифрового телевидения / А.И. Гулин, Р.М. Насретдинов // Телевидение и радиовещание. – 2009. – № 4. – С. 34–41.
2. Тюпа Ю.О. “Объективные и субъективные методы оценки качества изображений в цифровом телевидении.” / Ю.О. Тюпа, П.В. Попович // Збірник статей до студентської науково-технічної конференції “Електроніка-2010”. – К. – 2010. – С. 10 – 11.
3. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. [Електронний ресурс]. / Z.Wang, A. Bovik, H.R. Sheikh, P. Simoncelli – Режим доступу до інформації: http://compression.ru/video/quality_measure/ssim.pdf.
4. Ричардсон Ян. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 — стандарты нового поколения / Ян Ричардсон. – М.: Техносфера, 2005. — 368 с.
5. Система цифрового ТВ вещания: Стандарт DVB-S. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до інформації: <http://www.konturm.ru/tech.php?id=dvbs/info.html>

Рецензія/Peer review : 24.9.2015 р.

Надрукована/Printed :2.11.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Яненко О.П.