

УДК 621.397

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ КОДЕРА MPEG ЗА РІЗНИХ КОНФІГУРАЦІЙ
МІЖКАДРОВОГО КОДУВАННЯ В МУЛЬТИМЕДІЙНИХ СИСТЕМАХ**

Баляр В. Б., Роціна О. О.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова
ДП "Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення"
вул. Кузнечна, 1. м. Одеса, Україна, 65029
balyar_vb@mail.ru; balyar.vb@onat.edu.ua*

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОДЕРА MPEG ПРИ РАЗНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ
МЕЖКАДРОВОГО КОДИРОВАНИЯ В МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ СИСТЕМАХ**

Баляр В. Б., Роціна О.А.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова
ГП "Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения"
ул. Кузнечная, 1, г. Одесса, Украина, 65029
balyar_vb@mail.ru; balyar.vb@onat.edu.ua*

**EFFICIENCY ESTIMATION OF MPEG ENCODER WITH DIFFERENT
CONFIGURATIONS OF INTER-FRAME ENCODING IN MULTIMEDIA SYSTEMS**

Baliar V. B., Roschina O. O.

*O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications
SE "Ukrainian scientific-research institute of radio and television"
Kuznechna st., 1, Odessa, Ukraine, 65029
balyar_vb@mail.ru; balyar.vb@onat.edu.ua*

Анотація. У статті надано результати досліджень у напрямі визначення ефективності кодера MPEG в його базовій реалізації за різних конфігурацій підсистеми міжкадрового кодування відеопослідовностей.

Ключові слова: MPEG, PSNR, GOP, коефіцієнт стиснення, цифрове телебачення.

Аннотация. В статье приведены результаты исследований в направлении определения эффективности кодера MPEG в его базовой реализации при различных конфигурациях подсистемы межкадрового кодирования видеопоследовательностей.

Ключевые слова: MPEG, PSNR, GOP, коэффициент сжатия, цифровое телевидение

Abstract. In article results of studies on efficiency estimation of MPEG encoder in its basic implementation in different configurations of video sequence inter-frame coding subsystem.

Key words: MPEG, PSNR, GOP, compression rate, digital television

Практично всі сучасні цифрові відеосистеми мають у своєму складі кодер зниження надлишковості відеоінформації. Вони дозволяють більш ефективно використовувати каналний ресурс або системний ресурс порівняно з системами без використання алгоритмів усунення надлишковості.

Найбільш поширеним алгоритмом усунення надлишковості (стиснення з втратами) у цифрових відеосигналах є алгоритм MPEG (Motion Picture Experts Group, Група експертів з кодування рухомих зображень). Цей алгоритм дозволяє отримати різні рівні суб'єктивної якості стиснутого відеозображення, причому вони залежать від багатьох факторів – як від просторово-часових характеристик відеозображення, яке піддають кодуванню, так і від використаних конфігурацій різних підсистем кодера.

При цьому виникає досить складна проблема оцінки ефективності кодера, наприклад, у термінах результуючої суб'єктивної якості стиснутого відеозображення від різних факторів. Її складність полягає не тільки в наявності цілої низки факторів, що впливають на вислідну (результуючу) якість, але й в тому, що можливо отримати лише окремі або усереднені

оцінки – за різних відеопослідовностей з різним змістом сцени (сюжету) результати будуть дещо відрізнятись, як це видно з [1–3]. Саме тому цю проблему зазвичай розкладають на окремі більш прості (але не менш важливі) задачі, однією з яких є оцінка ефективності відеокодера MPEG за різних варіантів реалізації міжкадрового кодування.

Варіантів сюжетів досить багато й усереднення результатів для кожного з них не дає достовірно повторюваного результату (лише з певним довірчим інтервалом). Саме тому наявні лише окремі результати для окремих відеопослідовностей, а якщо деякі автори й приводять певні залежності якості роботи кодера від, наприклад, швидкості цифрового потоку на виході кодера, вони є повністю справедливими лише для певних умов або тестових наборів відеопослідовностей, в той час як для інших їх застосування частково обмежено. Враховуючи вищезазначене, авторами цієї статті дано оцінку характеристикам кодера MPEG лише за однієї послідовності. Однак отримані результати дозволяють оцінити загальну якісну закономірність й можуть бути використані як основа для подальших досліджень.

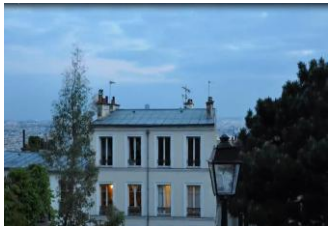

Характеристики тестового відеоматеріалу. Для досліджень було обрано набір відеопослідовностей з роздільною здатністю 120×160. Зміст відеопослідовностей можливо охарактеризувати як відео з малим, середнім й високим ступенем й середньою детальністю – саме це є характерним для мультимедійних систем обмеженої чіткості. Тривалість кодування кожної відеопослідовності – 15 с.

Окремі кадри однієї з досліджуваних відеопослідовностей показано на рис. 1. Характеристика інших відеопослідовностей надана в табл. 1.




Рисунок 1 – Кадри тестової відеопослідовності № 1

Таблиця 1 – Характеристики відеопослідовностей

№ з/п	Назва відеопослідовності	Характеристика сцени	Фрагмент
1	2	3	4
1	VIPMAN	низький ступінь руху в кадрі	(див. рисунок 1)
2	Нічне місто	поступова нешвидка зміна кадрів	
3	Серфінгіст	середній ступінь руху, морський пейзаж, зображення високої детальності	

Кінець таблиці 1

№ з/п	Назва відеопослідовності	Характеристика сцени	Фрагмент
1	2	3	4
4	Футбол	середня ступінь руху, спортивні події	
5	Озеро	поступова нешвидка зміна кадрів	

Оцінювані параметри. Основним показником ефективності роботи кодера в системах цифрового телебачення, що характеризує ефективність його роботи, є коефіцієнт стиснення. Саме цей параметр й будемо використовувати в дослідженнях. Також будемо вважати, що цільовим є такий коефіцієнт стиснення, за якого суб'єктивна якість буде відповідати необхідній якості роботи відеосистеми.

Для оцінки рівня суб'єктивної якості має бути проведені відповідні суб'єктивні експертизи. При цьому їх проведення має відбуватись за правилами, визначеними Рекомендацією ITU-R BT.500-13 [4] – з процедурою відбору експертів, що будуть брати участь в експертизі, з дотриманням умов проведення оцінки (відповідного освітлення, процедури оцінки тощо). Все це дещо ускладнює проведення досліджень. Тому можуть бути використані методи об'єктивної оцінки якості зображень. Вони не вимагають проведення суб'єктивної експертизи, хоча при цьому й не дають отримати оцінку з точністю, що повністю відповідає суб'єктивній оцінці.

Одним із найпоширеніших методів об'єктивної оцінки якості кодування з усуненням надлишковості є оцінка відношення (пік сигнал/ шум), що позначають як PSNR (Peak Signal-To-Noise Ratio). Параметр PSNR розраховують за допомогою оцінки середньоквадратичної помилки між вихідним (нестиснутим) зображенням та зображенням на виході кодера. Вважається, що при PSNR > 36 дБ спотворення в аналізованій відеопослідовності не помітні.

Під час оцінки ефективності внутрішньокадрового стиснення, як складової вислідної ефективності кодера MPEG, будемо використовувати Q-параметр (Quality Parameter, параметр якості). Цей параметр визначає зважену матрицю квантування складових відеосигналу, яку й використовують для регулювання коефіцієнта стиснення на виході підсистеми внутрішньокадрового стиснення кодера MPEG. Діапазон змінення параметра – від 1 до 100, що дещо відповідає 100-бальній оцінці, яку використовують у вищих навчальних закладах як оцінку навчання студента. При зміні Q-параметра в меншу сторону суб'єктивна якість зображення зменшується і виникають спотворення зображення. Можливо стверджувати, що значення Q = 100 відповідає максимальній суб'єктивній якості, але яка може бути досягнута за поточної реалізації (програмної та/ чи апаратної) кодера MPEG.

Опис обчислювального експерименту. Для проведення експерименту використано модель, яку створено в розширенні Simulink середовища математичного моделювання Matlab (див. рис. 2). З блока джерела відеосигналу на вхід системи стиснення за спрощеним алгоритмом MPEG у режимі VBR (Variable Bit-Rate, перемінна швидкість цифрового потоку) подавали відеопослідовності табл. 1. Кожний вхідний кадр оброблявся в кодері блок за блоком з розмірністю блока 8×8 відліків за алгоритмами внутрішньокадрового стиснення (дискретно-

косинусне перетворення, квантування та ентропійне кодування). Міжкадрове стиснення (порівняння з попереднім кадром й оцінка/ компенсація руху) проводилось на рівні макроблоків розмірністю 16×16 відліків. Для кожної відеопослідовності розраховувались значення відношення PSNR й коефіцієнта стиснення (миттєвого, середнього й максимального його значення).

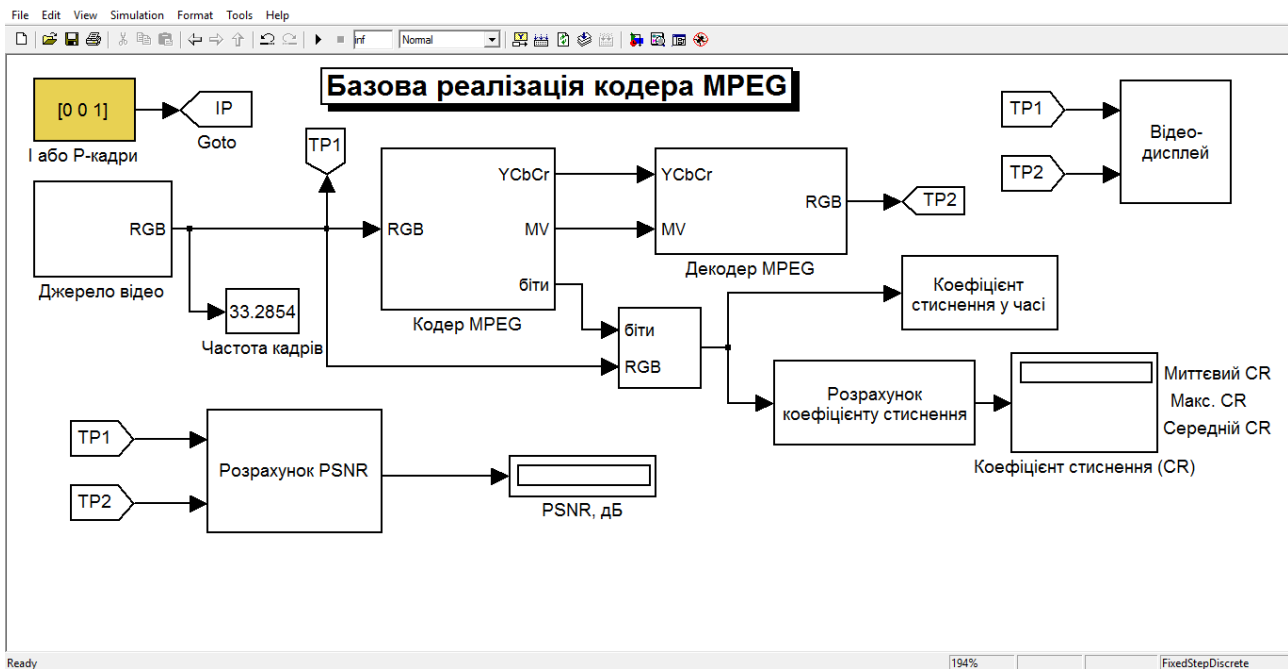


Рисунок 2 – Модель кодера стиснення відео за алгоритмом MPEG

Результати дослідження. У результаті обчислювального експерименту були отримані дані й залежності, що надані в табл. 2–3 та на рис. 3–10.

В процесі стиснення спостерігались типові для алгоритму стиснення MPEG спотворення, що особливо виявляються за значних коефіцієнтів стиснення: блокінг-ефект (рис. 3,а), мозаїчний ефект (рис. 3,б), розмиття зображення (рис. 4,а), облямування на кордонах (рис. 4,б), розмиття кольорів (рис. 5,а) й спотворень, які мають вид базисних функцій дискретно-косинусного перетворення ДКП (рис. 5,б). Ці спотворення певним чином впливали й на параметр PSNR.

На рисунку 6,а показано залежність відношення PSNR від Q -параметра для послідовності VIPMAN, яку отримано на виході підсистеми внутрішньокадрового стиснення. Видно, що при збільшенні Q -параметра відношення PSNR збільшується. Цей факт вказує на те, що шум (в нашому випадку – шум квантування) меншою мірою впливає на міру об'єктивної якості зображення.



Рисунок 3 – Спотворення при стисненні, що впливають на вислідну суб'єктивну якість:
а) блокінг-ефект; б) мозаїчний ефект



Рисунок 4 – Спотворення при стисненні, що впливають на вислідну суб'єктивну якість:
а) розмиття зображення; б) облямування на кордонах



Рисунок 5 – Спотворення при стисненні, що впливають на вислідну суб'єктивну якість:
а) розмиття кольорів; б) спотворення у виді базисних функцій ДКП

З залежності видно, що значення PSNR при $Q = 30$ дорівнює 30,43 дБ, а при $Q = 80$ значення PSNR вже буде приблизно 30,84. При $Q = 50$, відношення PSNR має максимальне значення, але це пов'язано, перш за все, з певною недосконалістю метрики PSNR. Тому значення в області цього "сплеску" PSNR може бути проігноровано в процесі подальшого аналізу. Таким чином, максимальне значення PSNR при $Q = 100$ буде відповідати приблизно 31 дБ. Однак навіть за максимального значення Q -параметра спотворення будуть досі помітні. Це викликано, по-перше, тим, що використано саму просту реалізацію кодера MPEG (фактично, вона відповідає простому профілю (simple profile) стандарту MPEG, а, по-друге – не застосовувались алгоритми маскування візуальних спотворень.

Крім того, параметр якості також впливає на коефіцієнт стиснення відеосигналу - це продемонстровано на рисунку 6,б. На цьому рисунку надані такі значення коефіцієнта стиснення – максимальні (позначено CR_{max}), миттєві (позначено CR_{inst}) й середні (позначено CR_{mean}). Для всіх трьох типів коефіцієнта стиснення справедлива така закономірність: при зміні Q -параметра найбільше значення коефіцієнта стиснення досягається при $Q = 10$, це вказує на те, що отримана відеопослідовність буде мати значні спотворення, особливо це справедливо для дрібних деталей на зображенні. Як видно, зі збільшенням параметра якості коефіцієнт стиснення зменшується, що свідчить про кращу якість отриманої відеопослідовності.

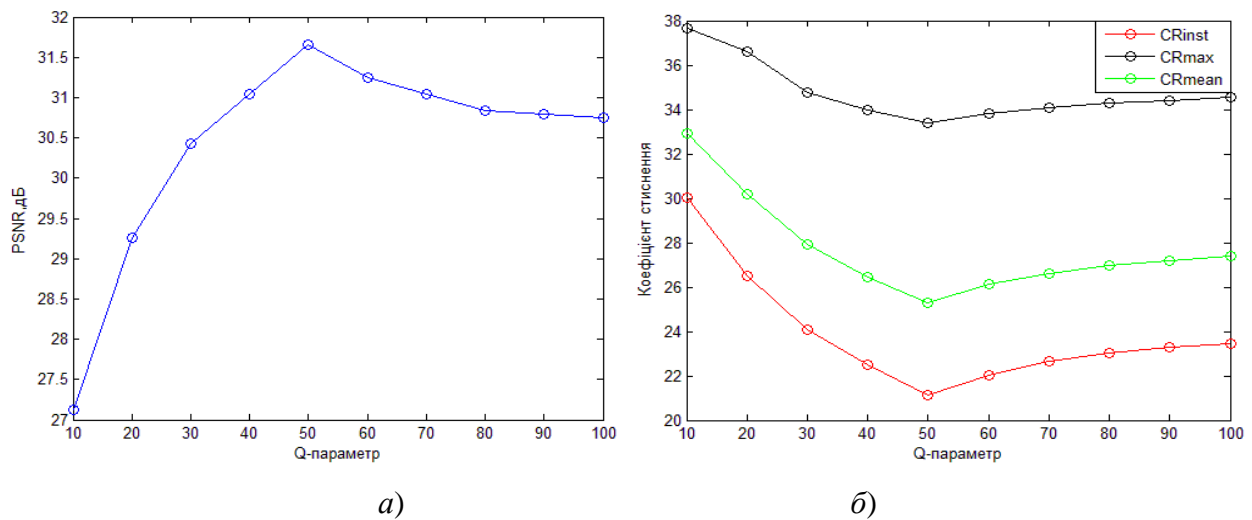


Рисунок 6 - Залежність від параметра якості Q :
 а) для PSNR; б) для коефіцієнта стиснення

Таким чином, з отриманої залежності видно, що при $Q = 100$ значення коефіцієнта стиснення відповідають таким: $CR_{max} = 34,53$; $CR_{inst} = 23,45$ (для останнього кадру); $CR_{mean} = 27,4$ (розраховано для всіх кадрів протягом 15 с.). При параметрі якості, що дорівнює $Q = 70$ значення є такими - $CR_{inst} = 22,68$, $CR_{max} = 34,1$; $CR_{mean} = 26,6$.

На рис. 7-8 показано залежність різних значень коефіцієнта стиснення від номеру кадра при параметрі якості $Q = 100$.

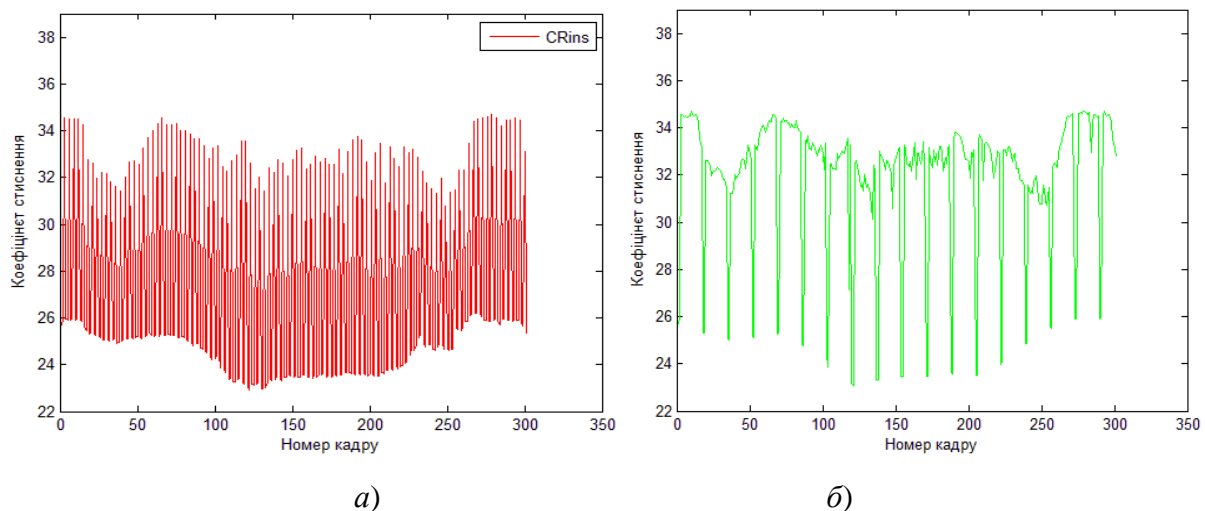


Рисунок 7 – Залежність миттєвого (а) та середнього (б) значення коефіцієнта стиснення від номера кадру відеопослідовності

З цих рисунків видно, що коефіцієнт стиснення залежить не тільки від параметра якості (в цій частині експерименту його зафіксовано), але й від номеру кадру (в загальному випадку від часу). При чому він є відносно стабільно високим протягом певного відрізка часу, а потім швидко зменшується. Потім закономірність повторюється. Цей інтервал відповідає одному кадру, що є опорним. Як відомо, опорні кадри (I-кадри) підлягають тільки внутрішньокадровому стисненню. Після опорного кадру передають певну кількість передбачених кадрів (P-кадрів), при цьому на рис. 7-8 спостерігається підвищення коефіцієнта стиснення. Це викликано тим, що P-кадри містять менше інформації, ніж I-кадри, тобто ефективність алгоритму стиснення зростає.

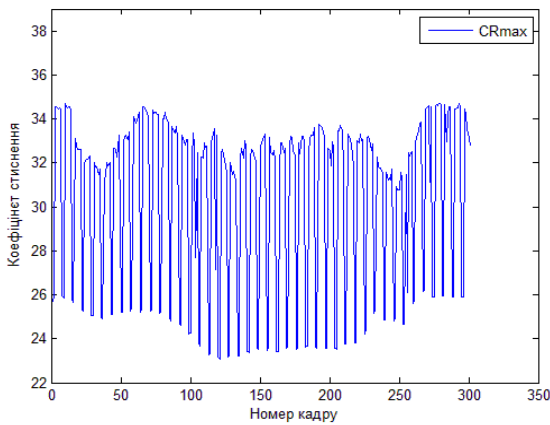


Рисунок 8 – Залежність максимального значення коефіцієнта стиснення від номеру кадру відеопослідовності

для різної кількості передбачених кадрів – 26,95 (P = 1), 30,07 (P = 4), 31,54 (P = 14) відповідно.

Додатково був проведений експеримент для відеопослідовностей з різними сюжетами: зі швидкою та більш повільною зміною сюжету. Для проведення експерименту було відібрано чотири відеопослідовності з різною швидкістю зміни сюжету (відеопослідовності 2-5 таблиці 1), але параметр якості в усіх випадках дорівнює Q = 100. Крім того для порівняння використовувалася різна кількість передбачених P-кадрів у GOP-структурі. На першому етапі, використано структуру з P = 1, на другому – P = 5. Результати дослідження наведено в табл. 2-3.

Отже, відеопослідовність № 2 "Нічне місто" характеризується як менш швидка порівняно з відеопослідовністю № 3 "Серфінгіст". Тому дослідження показало, що з отриманих значень коефіцієнтів стиснення, а саме середнього коефіцієнта стиснення, можна дійти висновку, що тип сюжету істотно впливає на коефіцієнт стиснення, у свою чергу який несе різницю у швидкості цифрового потоку для кожної з відеопослідовностей.

Тобто, якщо порівнювати ці відеопослідовності, можна дійти висновку, що середній коефіцієнт стиснення буде більший приблизно на 10 %, коли зміна змісту сюжету у відео відбувається швидше. Аналогічні висновки можливо зробити й для інших відеопослідовностей: виходячи з отриманих коефіцієнтів видно, що п'ята відеопослідовність за сюжетом має більш швидку зміну сюжету порівняно з четвертою.

Таблиця 2 – Коефіцієнти стиснення при P = 1

Номер відеопослідовності таблиці 1	Миттєвий коефіцієнт стиснення CR _{ins}	Максимальний коефіцієнт стиснення CR _{max}	Середній коефіцієнт стиснення CR _{mean}
2	24,47	34,92	27,75
3	23,06	35,03	28,38
4	23,47	34,15	27,22
5	23,82	34,92	27,59

Що стосується впливу кількості введених до GOP-послідовності (Group Of Pictures, група кадрів) P-кадрів на ступінь стиснення відеосигналу, цю залежність демонструє рис. 9. При побудові цих залежностей використовували такі структури GOP – IP1P (позначено як P = 1), IPPPP1PPPP (позначено як P = 4), IPPPPPPPPPPPPPP (позначено як P = 14). Параметр якості встановлено рівним Q = 80. Як видно з графіку, при використанні різної кількості P-кадрів максимальний коефіцієнт стиснення майже не змінюється. Для P=1 CR_{max}=34,29, а для P=4 і P=14 він однаковий та дорівнює приблизно 34,5. Що стосується миттєвого коефіцієнта стиснення, то він також однаковий для P=4, P=14 – 32,41, а для кількості кадрів 1 рівний 23,01. Лише миттєвий коефіцієнт стиснення має різні значення

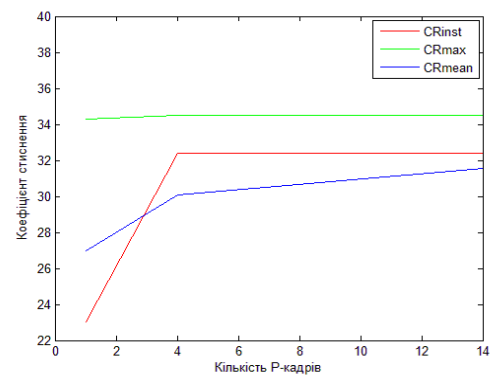


Рисунок 9 - Залежність коефіцієнта стиснення від кількості введених до GOP-структури P-кадрів

Таблиця 3 – Коефіцієнти стиснення при P = 5

Номер відеопослідовності таблиці 1	Миттєвий коефіцієнт стиснення CR_{ins}	Максимальний коефіцієнт стиснення CR_{max}	Середній коефіцієнт стиснення CR_{mean}
2	33,04	34,92	30,39
3	29,88	35,03	30,55
4	31,65	34,11	30,12
5	31,97	34,92	30,32

Якщо ж порівняти ефективність стиснення за різних GOP-структур, то видно, що в цілому коефіцієнт стиснення для всіх відеопослідовностей збільшився, проте на різну величину. Так, наприклад, у випадку відеопослідовності № 2 ефективність кодування в термінах середнього коефіцієнта стиснення є більшою на приблизно 9 % при P = 5 ніж у випадку P = 1. Для миттєвого значення коефіцієнта стиснення ця ефективність є навіть більшою та, наприклад, у випадку відеопослідовності № 2 становить приблизно

Висновки. Ефективність відеокодера MPEG залежить від багатьох факторів – від конфігурації кодера, реалізації алгоритму стиснення, тощо. Крім того, необхідно пам'ятати, що у системі має бути забезпечено достатній рівень суб'єктивної якості. Саме тому важливим є досягнення певного компромісу між рівнем якості та ефективністю стиснення. В цій статті надано певні оцінки та встановлено якісні й кількісні співвідношення, що можуть бути корисними під час оцінки ефективності алгоритму стиснення MPEG.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Deepak Dembla, Biren Patel, Ashish Kumar, Dr. Yogesh Bhomia. "Comparison of H.264 and MPEG-4 Codec Based on PSNR-Peak Signal to Noise Ratio Algorithm." *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering* Vol 3(3) (2013): p. 365-370.
2. Jens-Rainer Ohm, Member, IEEE, Gary J. Sullivan, Fellow, IEEE, Heiko Schwarz, Thiew Keng Tan, Senior Member, IEEE, and Thomas Wiegand, Fellow, IEEE "Comparison of the Coding Efficiency of Video Coding Standards—Including High Efficiency Video Coding (HEVC)." *IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY*, VOL. 22, NO. 12, (2012): p. 1669-1684.
3. Wesley De Neve, Peter Lambert, Sam Lerouge, Rik Van de Walle "Assessment of the Compression Efficiency of the MPEG-4 AVC Specification." *SPIE 5308, Visual Communications and Image Processing 2004* (2004).
4. Recommendation ITU-R BT.500-13 Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures, 2012.

REFERENCES:

1. Deepak Dembla, Biren Patel, Ashish Kumar, Dr. Yogesh Bhomia. "Comparison of H.264 and MPEG-4 Codec Based on PSNR-Peak Signal to Noise Ratio Algorithm." *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering* Vol 3(3) (2013): p. 365-370. Print.
2. Jens-Rainer Ohm, Member, IEEE, Gary J. Sullivan, Fellow, IEEE, Heiko Schwarz, Thiew Keng Tan, Senior Member, IEEE, and Thomas Wiegand, Fellow, IEEE "Comparison of the Coding Efficiency of Video Coding Standards—Including High Efficiency Video Coding (HEVC)." *IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY*, VOL. 22, NO. 12, (2012): p. 1669-1684. Print.
3. Wesley De Neve, Peter Lambert, Sam Lerouge, Rik Van de Walle "Assessment of the Compression Efficiency of the MPEG-4 AVC Specification." *SPIE 5308, Visual Communications and Image Processing 2004* (2004). Print
4. *Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures*. Tech. Recommendation ITU-R BT.500-13. Geneva: ITU-R, 2012. Print.