

Архіпов О. В., аспірант
o.v.arkhipov@khai.edu
Кривенко С. С., к.т.н., докторант
s.kryvevko@khai.edu
Лукін В. В., д.т.н., професор
v.lukin@khai.edu

АВТОМАТИЗАЦІЯ СТИСНЕННЯ МЕДИЧНИХ ТА ІНШИХ ТИПІВ ЗОБРАЖЕНЬ БЕЗ ВІЗУАЛЬНО ПОМІТНИХ ВТРАТ

Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Цифрові зображення (напівтонові, кольорові та інші) широко використовуються у даний час для різних застосувань, зокрема, медичної діагностики, неруйнівного контролю, екологічного моніторингу тощо [1, 2]. Характерними тенденціями для таких зображень є збільшення їх середнього розміру внаслідок покращення розрізняювальної здатності систем формування зображень та кількості каналів, а також збільшення загальної кількості зображень, що отримуються. У зв'язку з цим все більш актуальними стають задачі ефективного стиснення зображень для їх зберігання та/або оперативної передачі по телекомунікаційних каналах [3].

Стиснення без втрат зазвичай не здатне задовольнити користувачів, бо коефіцієнт стиснення (КС), який при цьому забезпечується, є досить малим і фіксованим для заданого кодеру та зображення. Тож доводиться застосовувати методи стиснення з втратами, які потенційно здатні забезпечити суттєво більші значення КС, які можна варіювати. Але виникає багато питань щодо забезпечення бажаного компромісу між КС та якістю стиснутого зображення, бо загальною тенденцією (за виключенням декількох специфічних випадків) є погіршення якості внаслідок підвищення КС.

До такого стиснення висувається низка вимог, які часто суперечать одна одній. По-перше, стиснення часто повинно відбуватись автоматично (що є особливо характерним для віддалених систем спостереження, на борту літального апарату, тощо) та, по можливості, швидко. По-друге, є практичні ситуації, коли необхідно забезпечити заданий КС і якомога краще стиснене зображення, але є й практичні кейси, коли треба забезпечити бажану якість, і при цьому якомога більший КС. По-третє, можуть бути обмеження на вибір кодеру (наприклад, необхідно використовувати JPEG), але може існувати свобода вибору кодеру. Нарешті, існують різні трактування якості стиснених зображень та безліч сучасних метрик, які можуть таку якість описувати (характеризувати кількісно). В цьому сенсі активно розвиваються методи стиснення без візуально помітних втрат і методи на основі ледве помітних викривлень [4, 5].

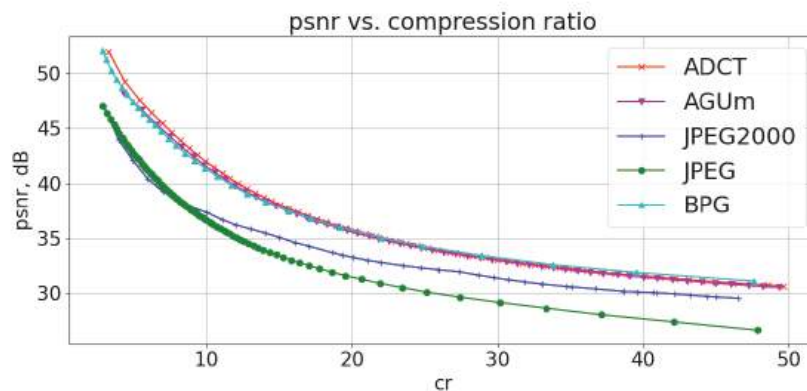
Для кращого розуміння подальших результатів наведемо деяку корисну інформацію. По-перше, мова йде про такі зображення, де кожне з них займає одиниці, десятки і навіть сотні Мегабайт (відповідно напівтонові розміром більше 1000×1000 пікселів (дивись приклад на рис. 1), кольорові та мультиспектральні й гіперспектральні зображення), а система формування таких зображень здатна зареєструвати десятки й сотні таких зображень щоденно). При цьому користувача може цікавити як зображення в цілому, так і його фрагменти, які аналізуються в кращому масштабі (більш детально) за допомогою скролінга та відповідних програмних і апаратних засобів. Зазначимо, що при візуалізації зображення великого розміру шум або викривлення внаслідок стиснення з втратами можуть бути невидимими, але вони стають помітними при візуалізації та аналізі фрагментів таких зображень.

По-друге, нами розглядаються головним чином метрики візуальної якості, бо вони суттєво більш адекватно відображають особливості людського зору, ніж традиційні метрики,

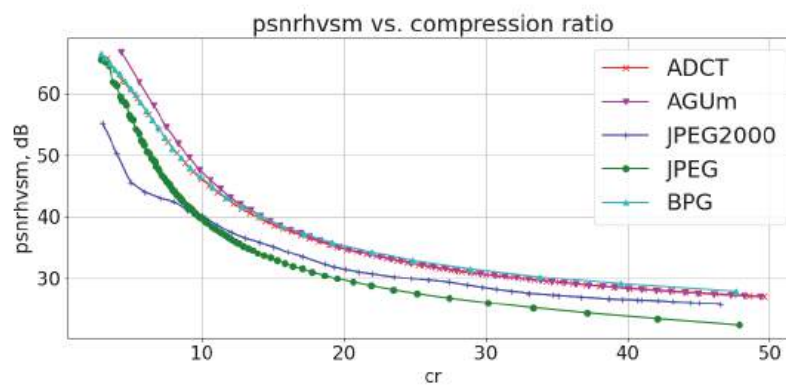
як-то пікове відношення сигнал-шум (peak signal-to-noise ratio – PSNR). На рис. 2,а показані залежності PSNR (дБ) від КС (compression ratio - CR) для фрагменту 512×512 пікселі медичного зображення для п'яти різних кодерів (JPEG, JPEG2000, AGU-M, ADCT та BPG [6]), де три останні використовують дискретне косинусне перетворення (ДКП) для різних розмірів блоків. Відповідно до PSNR три останні кодери суттєво кращі, ніж JPEG та JPEG2000 для всього діапазону значень КС, а JPEG2000 краще, ніж JPEG для КС>10. Втім, для метрики PSNR-HVS-M (дБ, враховує особливості системи зору людини; чим значення більше, тим вище якість стисненого зображення) спостереження та висновки трохи інші – для КС<10 результати для JPEG кращі, ніж для JPEG2000. Для значень КС від 10 до 20, що нас цікавлять з точки зору стиснення з візуально непомітними спотвореннями, результати для кодерів AGU-M, ADCT та BPG помітно кращі, ніж для двох інших кодерів (стандартів), що свідчить про необхідність звертати увагу на сучасні кодери на основі ДКП.



Рис. 1. Приклад медичного стоматологічного зображення великого розміру



а



б

Рис. 2. Залежності PSNR (а) PSNR-HVS-M (б) від КС (CR) для п'яти різних кодерів

Зазначимо, що на даний час є близько десятка сучасних метрик візуальної якості (і метрика PSNR-HVS-M серед них), для яких коефіцієнт рангової кореляції між метрикою та осередненою оцінкою якості людьми для зображень, що спотворені внаслідок стиснення з втратами, лежить в межах від 0,96 до 0,97, що свідчить про дуже високий ступінь адекватності таких метрик для відповідних застосувань. Втім, вибір метрики для практичного використання залежить від кількох факторів. Головними з них є наступні: 1) як швидко розраховується метрика; 2) чи є її залежність від параметру, що керує стисненням (ПКС) для даного кодеру близькою до лінійної; 3) чи існує для цієї метрики апріорно встановлений поріг непомітності внесених спотворень [7]. Деякі з цих факторів пояснюються на рис. 3, де для восьми фрагментів зображення в градаціях сірого наведені залежності PSNR-HVS-M від ПКС Q для BPG-кодеру, де Q може приймати тільки цілі значення від 1 до 51. Добре видно, що залежності ведуть себе дуже подібним чином і мають велику майже лінійну ділянку від $Q \approx 10$ до $Q \approx 32$. Враховуючи той факт, що поріг помітності внесених викривлень для метрики PSNR-HVS-M приблизно дорівнює 41 дБ, то можна сказати, що використання $Q=28$ дозволяє знаходитись на межі. Втім, дискретна зміна Q призводить до того, що неможливо забезпечити бажане значення PSNR-HVS-M точно – похибка внаслідок цього може сягати 0,7 дБ.

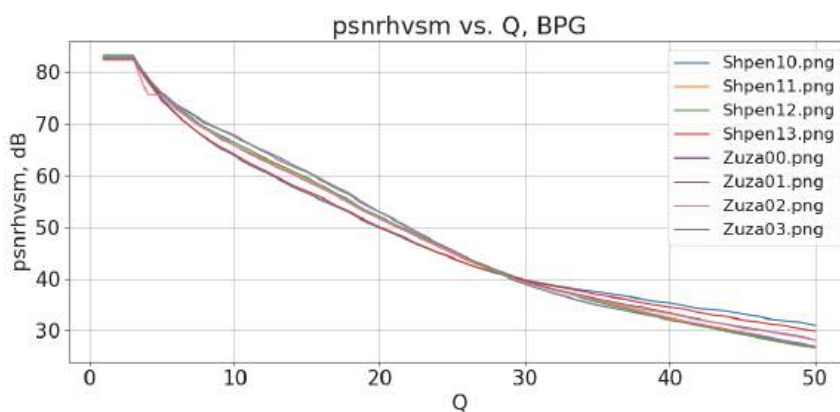


Рис. 3. Залежність PSNR-HVS-M від ПКС Q для BPG-кодеру для восьми тестових фрагментів зображення у градаціях сірого

На даний час є, принаймні, п'ять підходів до забезпечення бажаної якості. Перший – ітераційний [8], у відповідності з яким виконується кілька стиснень та декомпресій з розрахунком значення контрольованої метрики після кожної декомпресії, порівнянням отриманого значення метрики з бажаним і зміною ПКС у належний бік для наближення до бажаного значення метрики та ПКС. Перевагою цього підходу є висока точність забезпечення бажаного значення метрики, якщо значення ПКС не є дискретними. Але при цьому може знадобитись апріорно невідома і досить велика кількість ітерацій, що знижують швидкодію. Другий підхід – встановлювати фіксоване значення ПКС, що відповідає бажаному значенню метрики відповідно до заздалегідь отриманої осередненої кривої, аналогічній осередненій кривій, яку можна отримати з кривих на рис. 3. Але при цьому можливим є досить великий розкид значень метрики в залежності від ступеня складності конкретного зображення [6]. Однією з альтернатив першому й другому підходам може бути двоетапний [6, 9], для якого на першому етапі використовується другий підхід, а на другому етапі виконується уточнення значення ПКС на основі лінійної інтерполяції (при цьому не завжди другий етап виявляється потрібним). Перевагою такого підходу є краща швидкодія, ніж у першого підходу, та краща точність у порівнянні з другим підходом. Четвертий підхід базується на прогнозуванні значення метрики для декількох значень ПКС до стиснення з урахуванням ознак зображення, яке планується стискати, а потім вже виконується стиснення із значенням ПКС, для якого (згідно прогнозу) буде забезпечено бажане значення метрики.

Втім, цей підхід на даний час не забезпечує стабільних результатів і не розроблений для широкого кола метрик (існуючі можливості головним чином перевірені для PSNR та середньоквадратичної похибки внесених спотворень). П'ятий підхід [10] базується на використанні баз спотворених зображень та встановленні залежності між першою точкою ледь помітних спотворень та параметрами, що характеризують складність зображення, що планується стискати. На даний момент цей перспективний підхід вимагає додаткових досліджень для підвищення точності.

Треба зазначити ще декілька моментів. По-перше, метрики якості для випадку стиснення багатоканальних (мульти- та гіперспектральних) зображень на даний час знаходяться в стадії розробки. Відомо лише, що є досить висока кореляція між метриками візуальної якості триканальних зображень та ймовірністю їх правильної класифікації, де зниження цієї ймовірності внаслідок стиснення з втратами зазвичай є малим (задовільним) доки внесені спотворення не стануть помітними візуально.

По-друге, слід приділити увагу досить новим кодерам, як-то AVIF та HEIF, які за своєю методою керування стисненням аналогічні JPEG, а за основними характеристиками близькі до VPG, що свідчить про доцільність проведення для них комплексу досліджень.

По-третє, для нових кодерів слід приділити увагу методам і алгоритмам забезпечення бажаного КС.

Список використаних джерел

1. Jayachandran, S. Digital Imaging in Dentistry: A Review /S. Jayachandran // *Contemp Clin Dent*. – 2017. – Vol. 8(2). – P. 193-4.
2. Rad, A. E. Digital dental X-ray database for caries screening / A. E. Rad, M. S. Rahim, A. Rehman, T. Saba// *3D Research*. – 2016. – Vol. 7. – P. 1-5.
3. Blau, Y. Rethinking lossy compression: The rate-distortion-perception tradeoff / Y. Blau, T. Michaeli // *International Conference on Machine Learning (PMLR)*. – 2019. – P. 675–685.
4. Krylova, O. A Fast Noniterative Visually Lossless Compression of Dental Images Using AGU-M Coder /O. Krylova, L. Kryvenko, S. Krivenko, V. Lukin// In *2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*. – 2021. – P. 6-10.
5. Stojanović, N. Just Noticeable Difference Prediction and Image Quality Assessment / N. Stojanović, B. Bondžulić, B. Pavlović, V. Petrović, O. Zelmati// In *2022 IEEE Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*. – 2022. – P. 234-238.
6. Kryvenko, L. Intelligent visually lossless compression of dental images / L. Kryvenko, O. Krylova, V. Lukin, S. Kryvenko // *Adv. Opt. Technol.* – 2024. – Vol.13:1306142.
7. Ponomarenko, N. Analysis of HVS-metrics' properties using color image database TID2013 /N. Ponomarenko, V. Lukin, J. Astola, K. Egiazarian// In *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems: 16th International Conference, ACIVS 2015*. – 2015. – P. 613-624.
8. Zemliachenko, A. Still image/video frame lossy compression providing a desired visual quality / V. Lukin, N. Ponomarenko, K. Egiazarian, J. Astola// *Multidim Syst Sign Process.* – Jul. 2016. – Vol. 27(3). – P. 697–718.
9. Li, F. Two-step providing of desired quality in lossy image compression by SPIHT /F. Li, S. Krivenko, V. Lukin// *Radioelectronic and computer systems*. – 2020. – Vol. 2. – P. 22-32.
10. Stojanović, N. Just Noticeable Difference Prediction and Image Quality Assessment / N. Stojanović, B. Bondžulić, B. Pavlović, V. Petrović, O. Zelmati// In *2022 IEEE Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*. – 2022. – P. 234-238.