



KAPITEL 3 / CHAPTER 3³ SOME ASPECTS OF DENTAL IMAGES COMPRESSION WITHOUT VISUALLY PERCEIVED LOSSES

DOI: 10.30890/2709-2313.2024-26-00-010

Вступ

В сучасній стоматології широко використовуються цифрові зображення, що сформовані сучасними системами [1]. Це дозволяє використовувати цифрові алгоритми обробки таких даних, зберігати їх на сучасних носіях, передавати по лініях зв'язку, формувати бази для виявлення діагностичних ознак і навчання нейромереж, а також для навчання студентів [2]. Внаслідок покращення розрізняювальної здатності систем формування радіологічних зображень та застосуванню нових режимів їх роботи (наприклад панорамного) спостерігається тенденція до зростання середнього розміру зображень – типовими стають розміри в одиниці та десятки Мегабайт. Це призводить до проблем збереження таких даних і, особливо, їх термінового пересилання (обміну) в ситуаціях, коли потрібно точно встановити діагноз спеціалістами.

Існують методи стиснення медичних зображень [3], але не всі вони здатні задовольнити спеціалістів та користувачів. По-перше, методи стиснення без втрат, як правило, не вирішують проблему. По-друге, для медичних зображень характерною вимогою є стиснення без візуально помітних втрат (без втрат діагностично важливої інформації), що не дозволяє використовувати будь-які значення параметру, що керує стисненням (ПКС). По-третє, не завжди доцільно використовувати відомі стандарти, як-то JPEG, а більш розумно для збереження даних обстеження пацієнтів застосовувати менш відомі кодери. Тож у цьому розділі нами розглянуто одну з можливостей забезпечити візуальну непомітність внесених спотворень та проведено первинний порівняльний аналіз основних характеристик декількох кодерів.

³*Authors: Lukin Volodymyr Vasilyovych, Kryvenko Sergii Stanislavovych,
Kryvenko Liudmyla Stanislavivna, Krylova Olha Volodymyrivna*



3.1. Основні ідеї нашого підходу

За останні 20 років запропоновано багато метрик візуальної якості (МВЯ) для зображень в градаціях сірого для різних типів спотворень, які можуть мати місце в практиці обробки зображень. Для спотворень, що мають місце в практиці стиснення зображень з втратами, існує досить багато МВЯ, які є суттєво більш адекватними, ніж звичайне пікове відношення сигнал-шум (ПВСШ) [4], і які маєть рангову кореляцію Спірмена з осередненою думкою людей (mean opinion score – MOS) на рівні 0,96-0,97, тобто здатні дуже добре характеризувати якість стиснених зображень. Крім того, для кількох з таких метрик оцінено поріг T , для якого спотворення або візуально непомітні, або є дуже несуттєвими (такими, що не впливають на діагностичну цінність даних) [5].

Однією з таких метрик є PSNR-HVS-M, яка враховує дві важливі особливості зору людей (<https://ponomarenko.info/psnrhvs.htm>). Ця метрика виражається в дБ і поріг T для неї приблизно дорівнює 40 дБ. Тоді під час стиснення необхідно забезпечити значення PSNR-HVS-M не гірше (не менше), ніж 40 дБ і це може бути певною запорукою, що внесені спотворення є невидимими. Але при цьому треба врахувати, це спеціалісти (дантисти) зазвичай розглядають не все велике зображення в цілому, а приділяють особливу увагу певним фрагментам розміром сотні на сотні пікселів, які вони роздивляються в режимі скролінгу в натуральному масштабі. Тож бажано забезпечити значення PSNR-HVS-M не гірше порогу не тільки для всього зображення, але й для його фрагментів, які можуть мати різну складність і характеризуватись різним рівнем внесених спотворень [6].

Тут необхідно зазначити, що кожен метод стиснення має свій ПКС. Наприклад, для JPEG характеристики стиснення визначаються фактором якості (quality factor – QF), що мають значення від 1 до 100, де 100 відповідає практично ідеальній якості і мінімальному значенню коефіцієнта стиснення (КС). Для інших методів стиснення використовуються інші ПКС, які так чи інакше пов'язані з кроками квантування коефіцієнтів ортогональних перетворень, що



лежать в основі більшості сучасних кодерів. Зокрема, для кодеру AGU-M [7] на основі дискретного косинусного перетворення (ДКП) в якості ПКС використовується коефіцієнт масштабування (scaling factor – SF), який загалом може бути будь-яким ненегативним числом, але на практиці його значення лежать в межах від одиниць до кількох десятків.

Тож в нас є сподівання, що завдяки використанню фіксованих значень ПКС вдасться забезпечити PSNR-HVS-M не гірше за поріг помітності спотворень для всіх (більшості) фрагментів типових стоматологічних зображень, при цьому будуть досягнуті дості високі значення КС. Тож завдання полягає у тому, щоб знайти такі значення ПКС та проаналізувати межі варіації значень PSNR-HVS-M та КС.

3.2. Аналіз отриманих результатів

JPEG є методом стиснення, який, мабуть, є найбільш вивченим з різних точок зору. Для нього існують певні рекомендації щодо встановлення QF для різних режимів в цифрових камерах та інших засобах. Зокрема, щоб гарантувати непомітність спотворень рекомендується встановлювати QS=75. Нами була перевірена ця рекомендація для 20 фрагментів стоматологічних зображень розміром 512×512 пікселів, що вирізані з панорамного зображення розміром 2761×1504 пікселів, що отримано сучасною системою Morita (Morita, дивись <https://www.jmoritaeurope.de/en/products/diagnostic-and-imaging-equipment-overview/>) та 14 фрагментів такого ж розміру, що отримані системою Dentsply Sirona (Orthophos S). Деякі з отриманих результатів показані на рис. 1. Як бачимо, в обох випадках значення PSNR-HVS-M в середньому дорівнюють 48 дБ, але змінюються в межах від 45,5 до 50,5 дБ для випадку на рис. 1,а і від 47,7 до 48,8 дБ на рис. 1,в. При цьому значення КС лежать у межах від 5 до 13 на рис. 1,б і від 9,8 до 16,3 на рис. 1,г. На наш погляд, одна з причин більших значень КС для фрагментів зображень, що зформовані системою Dentsply Sirona, полягає в тому, що для них спостерігається помітно менший рівень завад.

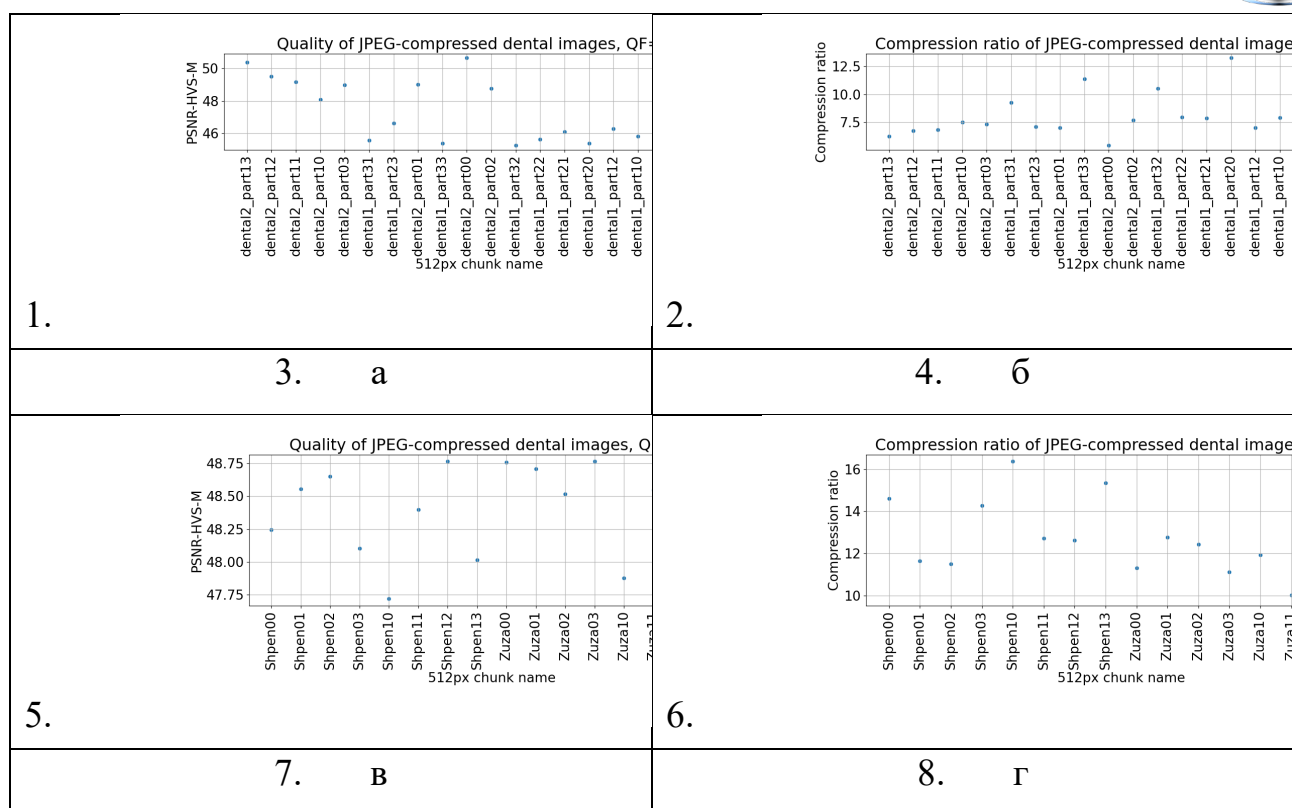


Рисунок 1 – Дані для стиснення фрагментів стоматологічних зображень для двох сучасних систем, JPEG, QF=75

Втім, як можна побачити, навіть найменші значення PSNR-HVS-M є досить далекими від $T=40$ дБ. Це означає, що можна суттєво зменшити QF, забезпечивши середні значення PSNR-HVS-M для фрагментів на рівні 42,5 дБ. Аналіз залежностей PSNR-HVS-M від QF довів, що це спостерігається за умови, що $QF \approx 60$. Відповідні дані для тих же фрагментів великого розміру, що отримані досліджуваними системами, наведені на рис. 2.

Як можна побачити, всі значення PSNR-HVS-M, як і раніше, перевищують поріг T; в першому випадку (рис. 2,а) вони лежать в межах від 41 до 45 дБ, а в другому випадку (рис. 2,в) вони є навіть більш компактними – від приблизно 43 до 44 дБ. При цьому зменшення QF дало позитивний ефект у сенсі збільшення мінімального і максимального (а також середнього) значень КС. Значення цього параметру тепер лежать в межах від 7 до 20 для фрагментів зображення системи Morita (рис. 2,б) та від 13 до 23 для фрагментів зображення системи Dentsply Sirona.

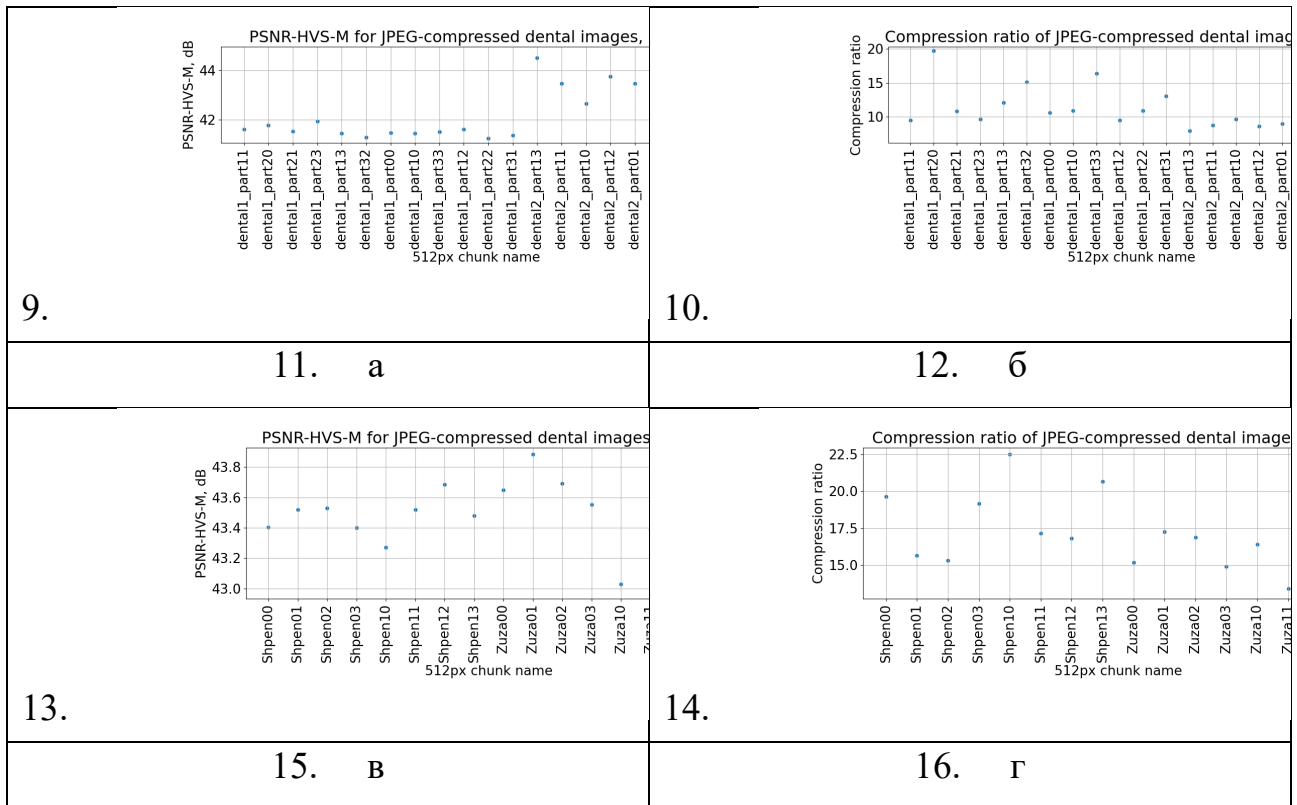


Рисунок 2 – Дані для стиснення фрагментів стоматологічних зображень для двох сучасних систем, JPEG, QF=60

Загалом, можна ще трохи збільшити КС за рахунок використання QF=59, але в такому випадку збільшується ризик, що PSNR-HVS-M для деяких фрагментів виявиться меншим за поріг і, відповідно, внесені стисненням спотворення стануть помітними.

Втім, існують інші можливості покращити ефективність стиснення, адже JPEG є «старим» методом стиснення і за останні роки було запропоновано багато кращих за нього в тому чи іншому сенсі, хоча жоден не набув такого практичного поширення (причини цього розглядати не будемо). Більшість з розроблених в останні роки методів стиснення з втратами базується або за ДКП, або на дискретних малохвильових перетвореннях. Для кодерів на основі малохвильових перетворень проблемою є забезпечення із задовільною точністю бажаної якості стиснених зображень (наприклад, бажаних значень PSNR-HVS-M [8]), тому розглянемо один з методів стиснення на основі ДКП.

Кодер AGU-M є модифікацією [7] розробленого в 2006 році кодеру AGU (<https://ponomarenko.info/agu.htm>), який, на відміну від JPEG, використовує



блоки розміром 32×32 пікселі, більш сучасний підхід до кодування квантованих коефіцієнтів ДКП та вбудований деблокінг після декодування. Модифікація [7] полягає в тому, що для квантування ДКП-коефіцієнтів застосовуються не однакові коефіцієнти квантування, а такі, що отримані інтерполяцією значень матриці квантування з JPEG, тобто адаптовані до особливостей системи зору людини. Це дозволяє підвищити ефективність стиснення у відповідності до метрик візуальної якості у порівнянні до первинної версії AGU.

Надані в роботі [7] графіки усередненої залежності PSNR-HVS-M від згаданого раніше SF, що виконує роль ПКС для AGU-M, дозволяють отримати рекомендоване значення SF з метою досягти $PSNR-HVS-M \approx 42,5$ дБ для того, щоб коректно порівняти характеристики стиснення для AGU-M та JPEG. Значення SF має приблизно дорівнювати 8,8, тож отримаємо та проаналізуємо результати саме для цього значення.

Вони наведені на рис. 3. Як можна побачити, середнє значення PSNR-HVS-M дійсно приблизно дорівнює 42,5 дБ (рис. 3,а), а самі значення для фрагментів лежать в межах від 41 до 45 дБ, тобто вимоги до якості вдалося задовільнити. Для фрагментів зображення системи Dentsply Sirona (рис. 3,в) середнє значення PSNR-HVS-M трохи вище ($\approx 43,5$ дБ), а самі значення для фрагментів лежать в дуже вузьких межах від 42,9 до 44,0 дБ. При цьому найважливішим є те, що значення КС виявились, загалом, суттєво більшими, ніж для JPEG. Для даних на рис. 3,б значення КС лежать в межах від 9,8 до 33, а для даних на рис. 3,г – від 20 до майже 50. Тож суттєво більшими, ніж для JPEG, виявились як мінімальні, так і максимальні значення КС, що свідчить про доцільність використання кодеру AGU-M (деякі додаткові дані можна знайти в нашій роботі [9]).

Зрозуміло, що будь-які метрики візуальної якості не є ідеальними і поріг помітності внесених спотворень є досить умовним (існують підходи до аналізу, що базуються на так званих ледь помітних спотвореннях – just noticeable distortions [10]). Тому, крім проведеного вище кількісного аналізу на основі метрики PSNR-HVS-M, були також проведені експерименти по візуальному

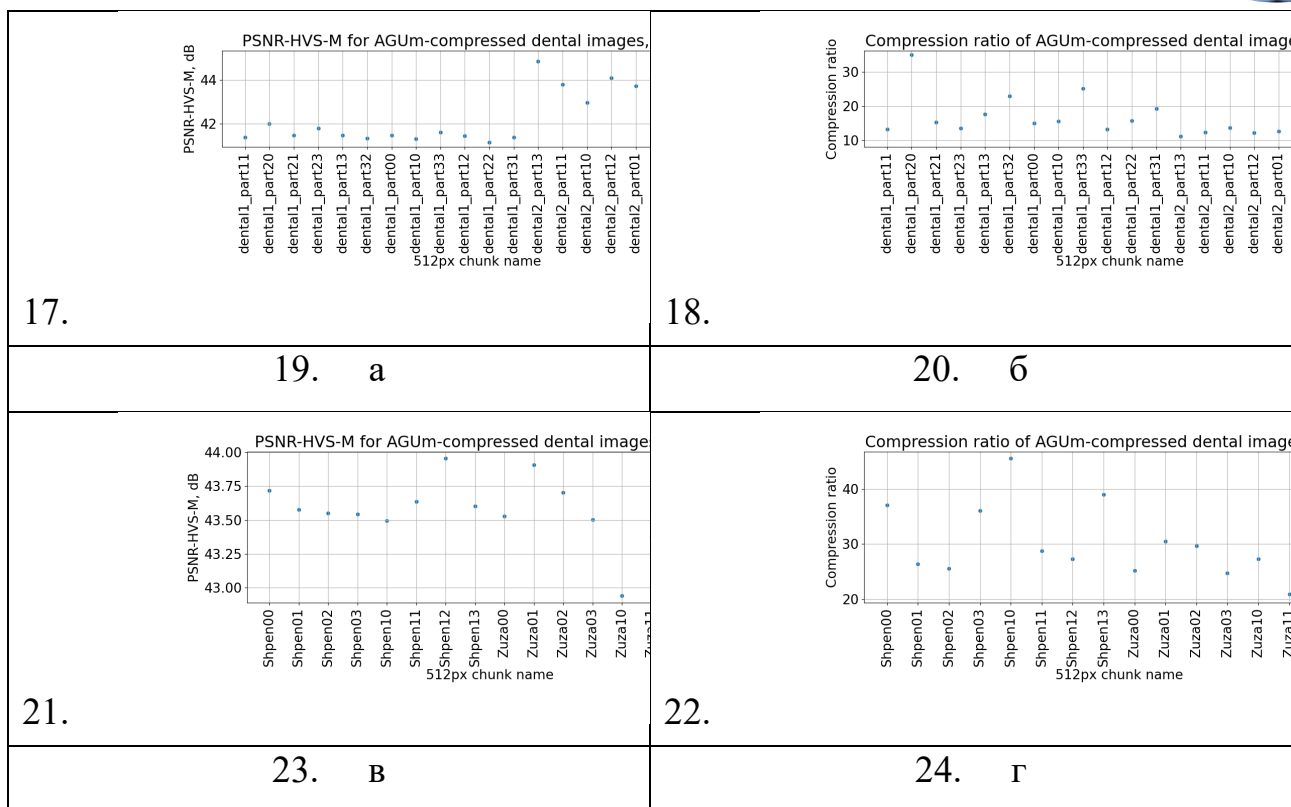


Рисунок 3 – Дані для стиснення фрагментів стоматологічних зображень для двох сучасних систем, AGU-M, SF=8,8

порівнянню фрагментів до стиснення та із стисненням у відповідності до наданих рекомендацій. Експерименти були проведені чотирма спеціалістами-стоматологами з використанням високоякісних моніторів та відповідно до рекомендацій до таких експериментів (відстань до монітору, час проведення експерименту, тощо). Виявилось, що лише у 15% випадків спеціалісти помічали деяку відмінність порівнюваних зображень, але в жодному випадку спотворення внаслідок стиснення з втратами не можна було вважати такими, що негативно впливають на діагностичну цінність.

Приклад стиснених зображень наведений на рис. 4. В обох випадках PSNR-HVS-M \approx 42 дБ, але для зображення, що стиснуте JPEG (його фрагмент розташований зліва) КС дорівнює 14,7, а для зображення, що стиснуте AGU-M (справа) КС дорівнює 23,5, тобто є суттєво більшим. На наш погляд, розрізнити ці зображення (знайти явні відмінності) дуже важко, при цьому вони аналогічно не відрізняються від фрагменту нестисненого зображення.



Рисунок 4 – Фрагмент зображення, стисненого JPEG (зліва) та AGU-M (справа)

Висновки

Таким чином, показано, що є можливість стискати стоматологічні зображення практично без візуально помітних спотворень із застосуванням кодерів JPEG та AGU-M із забезпеченням досить високих значень КС. При цьому завдяки наведеним рекомендаціям по вибору ПКС можна уникнути ітераційного [7] або двоетапного [8] стиснення, яке зазвичай використовують, коли необхідно забезпечити бажану якість стиснених зображень у відповідності до метрик якості, що використовуються користувачем. Це дозволяє виконувати стиснення швидко і в автоматичному режимі.

Доведено, що при практично однаковій якості стиснених зображень кодер AGU-M забезпечує суттєво кращі (більші) значення КС, що дозволяє зекономити пам'ять на збереження даних або час на їх передачу по каналах зв'язку. Це підтверджено результатами експериментів по аналізу стиснених та первинних зображень, що проведені спеціалістами-стоматологами.