

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

АБУ АЙАШ Тетяна Ангівна

УДК 004.932:658.5.011.56

РОЗРОБКА МЕТОДУ ФРАКТАЛЬНОГО СТИСКУВАННЯ
ВІДЕОПОТОКІВ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ
УПРАВЛІННЯ ХІРУРГІЧНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ

05.13.06 - Автоматизовані системи
управління та прогресивні інформаційні
технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському національному політехнічному університеті Міністерства освіти і науки України на кафедрі прикладної математики та інформаційних технологій в бізнесі.

Науковий
керівник.

кандидат технічних наук, доцент Востров
Георгій Миколайович, Одеський
національний політехнічний університет,
завідувач кафедри прикладної
математики та інформаційних технологій
в бізнесі.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент
Мещеряков Володимир Іванович,
Одеська державна академія холоду,
завідувач кафедри систем
автоматизованого проектування;

кандидат технічних наук Клименко
Віктор Володимирович, Одеський інститут
сухопутних військ, викладач кафедри
бойового застосування частин та
підрозділів військової та спеціальної
розвідки.

Провідна установа:

Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут".

Захист відбудеться 29.12.2005 р. о 13: 30 на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 41.052.01 в Одеському національному політехнічному
університеті за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1, ауд. 400-А.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Одеського
національного політехнічного університету за адресою: м Одеса, пр.
Шевченка, 1.

Автореферат розісланий 28. 11. 2005 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 41.052.01 Ю.С. Ямпольський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. З розширенням парку високотехнологічних медичних діагностичних пристроїв променевої діагностики, які називають також пристроями медичної візуалізації (цифрові відеокамери, рентгенівські системи, комп'ютерні, магнітно-резонансні, позитронно-емісійні томографи, системи ультразвукової діагностики тощо), проблема електронного обміну медичними цифровими зображеннями стає все більш і більш актуальною.

Електронний обмін дозволяє забезпечити дистанційний доступ декількох фахівців до одного й того ж медичного зображення. Електронна передача медичних зображень із однієї лікувальної установи в іншу, наприклад, для проведення консультацій, може виконуватися за хвилини або, у крайньому випадку, за десятки хвилин, натомість, пересилання знімків звичайними способами нерідко займає кілька днів. Наявність зображення в електронній формі дозволяє виконувати досить складну комп'ютерну обробку, яка здатна істотно прискорити процес діагностики захворювань і лікування пацієнтів, а також підвищити обґрунтованість прийнятих медичних рішень. Однак реалізація електронної передачі медичних зображень стикається з багатьма труднощами, головні з яких - занадто великий обсяг пам'яті, необхідної для їхнього зберігання, і занадто мала пропускна здатність каналів для їхньої передачі.

Для розв'язання цих проблем роблять зменшення розмірів відеопотоків шляхом перетворення - кодування, заснованого на усуненні надлишкової інформації. На жаль, таке перетворення іноді супроводжується втратами інформації, а отже, і якості зображень після декодування. Існуючі методи стискування окремих зображень, основані на дискретно-косинусному та дискретно-вейвлетному перетворенні, не здатні забезпечити прийнятний ступінь стискування відеопотоків.

У той же час, існує фрактальний метод, який може забезпечити високий ступінь стискування медичних зображень і можливість масштабування при відновленні без погіршення якості зображення. Але цей метод є надзвичайно асиметричним за часом, - поряд з дуже високою швидкістю декодування спостерігається неприйнятно тривалий процес кодування, що є основною проблемою, яку необхідно перебороти при його практичному впровадженні для стискування відеопотоків. Тому дисертаційна робота, направлена на розробку заходів по залученню фрактального методу стискування зображень до кодування медичних відеопотоків є **вельми актуальною**.

Дисертація виконувалася відповідно до мети та завдань НДР Одеського національного політехнічного університету № 608-24 «Інформаційне моделювання складних технічних систем для потреб проектування та управління» (№ Держреєстрації 0105U002185).

Метою роботи є створення можливості для залучення до управління хірургічними операціями віддалених консультантів за рахунок дослідження розробки та впровадження ефективного методу фрактального кодування-декодування відеопотоків.

Для досягнення цієї мети в дисертаційній роботі були розв'язані такі задачі:

- проаналізовано умови та особливості управління медичним впливом на людину з використанням віддалених консультантів з погляду перетворення, передачі та зберігання медичних відеопотоків;
- виконано порівняльний аналіз методів кодування окремих зображень і відеопотоків, їхніх характеристик та обчислювальної складності;
- розроблено метод комбінованого фрактального кодування-декодування відеопотоків;
- розроблено метод зниження асиметрії фрактального перетворення медичних зображень;
- розроблено та впроваджено автоматизовану систему управління відео-ендоскопічною операцією з використанням віддалених консультантів.

Об'єкт дослідження. Стискування пакета медичних зображень в автоматизованих системах управління відеоендоскопічними операціями з використанням віддалених консультантів.

Предмет дослідження. Фрактальне кодування-декодування медичних відеопотоків.

Методи дослідження. Для фрактального кодування відеопотоків за допомогою стискаючих відображень використовували методи функціонального аналізу та теорії фракталів. Для адаптивної багаторівневої розбивки зображення на рангові блоки використовували методи кореляційного аналізу. Для вимірювання швидкості кодування в часових одиницях використовували мікросекун-домер, а в машинних тактах - профайлер. Для оцінки якості відновлення фото-реалістичних зображень - результати комп'ютерних випробувань програми фрактального кодування.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розвитку та поглибленні теоретичних і методологічних основ **фрактального** кодування відеопотоків для використання в медичній практиці. Новими науковими результатами дисертаційного дослідження є:

- одержав подальший розвиток метод кодування відеопотоків, що використовує передачу в канал зв'язку різниці між сусідніми кадрами, який полягає у застосуванні фрактального методу для кодування різницевого кадру;
- вперше запропонований метод комбінованого фрактального кодування-декодування відеопотоків, що полягає у використуванні на етапах кодування і декодування опорного зображення;
- вперше доведене Твердження про одночасне комбіноване кодування-декодування за допомогою фрактального методу;
- вперше доведене Твердження про можливості використання для фрактального кодування зображення доменних блоків, які знаходяться у межах іншого, опорного зображення;
- одержав подальший розвиток метод фрактального кодування зображень, який використовує адаптивну багаторівневу розбивку зображення, заснований на застосуванні стискаючих відображень околиць областей і використанні простого критерію близькості для пошуку в околиці.

Практичне значення отриманих результатів. У відділенні загальної хірургії Одеської обласної клінічної лікарні були проведені випробування автоматизованої системи передачі та зберігання відеоінформації, використовуваної в практиці відеоендоскопічних операцій і заснованої на розробленому в ОНПУ фрактальному методі кодування-декодування медичних зображень. У результаті випробувань встановлено, що застосування зазначеної системи управління за рахунок використання методу комбінованого фрактального кодування дозволило збільшити коефіцієнт стискування відеозображень у порівнянні з оригіналом до 50 - 60 при прийнятних швидкості та якості кодування. Завдяки цьому, отримана можливість передачі відеоінформації з ендоскопічної операційної по мережі *Internet* у реальному масштабі часу до віддалених користувачів. Запропоновані методи, а також алгоритми і програми, розроблені для їхньої реалізації, впроваджені в процес навчання ОНПУ та використовуються в дисциплінах, які вивчають методи обробки зображень, а також у курсовому та дипломному проектуванні.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі існуючих і розробці нових методів підвищення ефективності обробки зображень [1 - 3], виборі та удосконаленні математичних і експериментальних методів дослідження [4 - 6]. Дисертантом виконаний аналіз літературних джерел за напрямком дослідження, розроблені методики останнього, запропонований метод фрактального стискування відеопотоків за допомогою комбінованого фрактального кодування, а також метод фрактального стискування зображень за допомогою стискаючих відображень околиць областей [7].

Автор розробила та довела до практичного використання пакет програм фрактального стискування зображень, брала участь у практичних випробуваннях та їхній оцінці.

Апробація результатів роботи. Матеріали роботи доповідалися і обговорювалися на 1-й Міжнародній конференції «Штучний інтелект-2000» (Каци-велі, 2000), X-й Міжнародній конференції з автоматичного управління «Авто-матика-2003» (Севастополь, 2003), III-му Міжнародному семінарі «Інформаційні системи та технології» (Одеса, 2005), а також на розширеному засіданні наукового семінару кафедри прикладної математики та інформаційних технологій в бізнесі Одеського національного політехнічного університету (Одеса, 2005).

Публікації. Результати дисертації викладені в 8 публікаціях, у тому числі — 5 статтях у фахових журналах і в 3 матеріалах конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, чотирьох додатків. Обсяг дисертації - 150 стор., додатків - 35 стор. Дисертація містить 50 рисунків, 4 таблиці і посилання до 165 літературних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* наведена загальна характеристика роботи, яка підкреслює її актуальність, відповідність державним науковим програмам, вимогам ВАК України, наукову новизну і практичне значення; визначені об'єкт і предмет дослідження, сформульовані його мета та задачі.

У першому розділі вивчена роль зображень у процесі автоматизації управління хірургічними операціями та вимоги до обміну зображеннями в інформаційно-телекомунікаційних мережах. Досліджено проблему організації інформаційних потоків в системах автоматизованого управління медичним впливом на людину. Розглянуті переваги та недоліки існуючих методів кодування-декодування зображень без втрат та з втратами інформації, а також методи стискування відеопотоків.

У другому розділі з відомих підходів до фрактального кодування-декодування зображень був синтезований метод **базового фрактального перетворення** (БФП), який використовувався для порівняння існуючих характеристик з властивостями пропонуваніх методів.

Як витікає з огляду літератури, суть фрактального методу кодування полягає в тому, що спочатку зображення розбивається на рангові блоки, які не перекриваються, а потім на ньому ж формується множина більших за площею доменних блоків, які можуть перекриватися. Процес кодування зводиться до пошуку для кожного рангового блоку найбільш близького з погляду геометричної подоби доменного блоку та побудові множини (за кількістю рангових блоків) стискаючих перетворень знайдених доменних блоків у рангові. Далі по каналах зв'язку передаються тільки номери рангових і доменних блоків, а також коефіцієнти перетворень.

БФП починається з розбивки зображення розміром $160 \times 160 = 25600$ пікселів на 400 фрагментів (рангових блоків $R_i \in R, i=1, \dots, 400$) розміром 8×8 пікселів, які покривають все зображення. Потім з того ж зображення формується множина доменних блоків $D_j \in D$ розміром 16×16 пікселів, які можуть перекриватися та не містити разом кожний піксель всього зображення. Далі провадиться підбір кожному ранговому блоку деякого доменного, найбільш близького йому за заданим критерієм, за допомогою розроблених програм.

Методика оцінки якості зображення. У роботі для оцінки якості декодованого зображення використовували відому метрику відносини сигналу до шуму *Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)*:

$$PSNR(I, F) = 10 \log_{10} \frac{255^2 n \cdot m}{\sum_{i=1, j=1}^{n, m} (I_{i,j} - F_{i,j})^2}. \quad (1)$$

де I - оригінальне зображення; F - відновлене зображення; n - розмір зображень по вертикалі; m - розмір зображень по горизонталі.

Методика зниження асиметрії методу БФП. Для зниження асиметрії методу БФП у роботі застосований метод адаптивної багаторівневої розбивки зображення. В результаті аналізу структури фотореалістичних медичних зображень було встановлено, що лише невелика кількість рангових блоків R_i може бути успішно апроксимована доменними блоками D_j , які знаходяться відносно далеко, тобто за межами деякої околиці Ω рангового блоку, який кодується. До того ж виявити їх, не виконуючи повний пошук, не завжди вдається. Здійснення пошуку підходящої блоку D_j у всій множині D призводить до збільшення обчислювальної складності процесу кодування. У дійсності ж, більшість

блоків R_i успішно апроксимуються блоками D_j з множини $D_i^a \in D$, яка покриває згадану околицю кодуємих рангових блоків Ω .

Вибір розміру околиці Ω відноситься до налаштувань користувача. В дисертаційній роботі для кожного рангового блоку розміром $2^r \times 2^r$ пошук проводили в околиці Ω розміром $3 \cdot 2^r \times 3 \cdot 2^r$, яка покриває даний ранговий блок. Всі доменні блоки з такої околиці покривають ранговий блок R_i , який

кодується, і утворюють множину D_i^a . Оскільки доменні блоки мають розмір $2^{r+1} \times 2^{r+1}$, то

для кожного рангового блоку пошук буде проводитися серед $(2^r + 1)^2$ доменних блоків з околиці D_i^a , які його покривають.

При такому підході розмір рангових блоків, для яких виконується пошук в околиці Ω , для успішного завершення підбору повинен бути вже не однаковим, а змінюватися залежно від структури зображення. Тому був застосований багаторівневий пошук: ранговий блок, для якого не вдавалося підібрати підходящий доменний блок з околиці, розбивали на чотири менших блоки та продовжували пошук.

Методика підбора доменного блоку. Завдяки звуженню площини пошуку до розміру околиці Ω обчислювальна складність кодування зменшується, але в наявності після такого стискування ще залишається надмірність пошуку, особливо для великих рангових блоків. Наприклад, якщо проводити пошук в D_i^a , то для кожного рангового блоку R_i розміром 32×32 пікселя необхідно провести порівняння з 1089 доменними блоками D_j . Очевидно, що серед порівнюваних блоків є явно невідповідні. Щоб усунути таку надмірність, проводили вибіркове порівняння з доменними блоками з D_i^a . Для цього блоки з D_i^a оцінювали за параметром var являє собою середнє квадратичне відхилення інтенсивності пікселів порівнюваних блоків:

$$var = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (z_i - \bar{z})^2 \quad (2)$$

де N - кількість пікселів у блоці, z_i - значення інтенсивності i -го пікселя блоку;

$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i$ - середнє значення інтенсивностей N пікселів блоку, що дозволило вилучити з розгляду блоки, які сильно відрізняються.

Методика одержання медичних зображень. Комп'ютерні експерименти в роботі проводили на зображеннях, одержаних при реальній відеоендоскопічній операції (ВЕСО), яка виконувалася в Одеській обласній лікарні. Окремі кадри виділяли із загального відеопотоку, генеруємого ендоскопом. Основним устаткуванням операційної була ендоскопічна стійка, до складу якої входила ендовідеосистема, яка складається з ендоскопа, оптичної системи з мініатюрною відеокамерою, джерела світла, світловода та монітора відеозображення.

Методика оцінки часової складності перетворення інформації, яка отримується в зображеннях і відеопотоках. Для того щоб виключити під час порівняння різних алгоритмів кодування-декодування чинник швидкодії апаратного забезпечення, часову складність вимірювали в машинних тактах, визна-

чення кількості яких у програмі здійснювали за допомогою профайлера, який вимірював тривалість виконання фрагментів коду до рівня окремих рядків.

У третьому розділі представлена розробка методу фракгального кодування-декодування медичних зображень. З появою сучасних методів автоматичної обробки зображень ступінь автоматизації АСУ, що містять відеопотоки в каналі зворотного зв'язку, різко зросла, оскільки при цьому в багатьох випадках вдається позбутися додаткового втручання користувача. При цьому, як у рамках АСУ, так і за її межами, зображення додатково можуть зберігатися, передаватися на великі відстані по мережі *Internet*

(консультації, консиліум, навчальний процес) і брати участь в інших перетвореннях інформації, при яких істотним для обробки в реальному часі є її об'єм. З урахуванням високої інформаційної ємності відеопотоків остання обставина часто є вирішальною при виборі тієї або іншої кількості використовуваних зображень (а, отже, і якості діагностики та лікування), а також того або іншого способу кодування зображень із метою зменшення об'єму займаних ними файлів.

Застосування відомих методів кодування стандартів *MPEG* не завжди забезпечують прийнятний ступінь стискування відеопотоків. Крім того, при збільшенні масштабу окремих зображень, що входять у відеопотік, (наприклад, при проекції на великий демонстраційний екран) їх попиксельне подання стає настільки очевидним, що сприйняття цілісної картини стає вельми утрудненим. Як відомо, цих недоліків позбавлені фрактальні методи кодування-декодування, у яких коефіцієнт стискування сягає 1000, а проблема масштабування відсутня взагалі.

У той же час, при застосуванні цих методів головним утрудненням є істотна асиметричність у часі (до 10000 разів!): поряд з високою швидкістю декодувати спостерігається тривалий процес кодування, який вимагає величезних обчислювальних витрат, що для обслуговування відеопотоків у реальному часі неприйнятно. Тому найважливішим завданням досліджень у цій області є пошук методів зниження часу фрактального кодування зображень.

Розглянемо в якості прикладу хірургічне медичне втручання, у якому від своєчасного і якісного обміну відеозображеннями залежить сам хід операції, оскільки вона протікає всередині організму без можливості для медперсоналу безпосередньо спостерігати операційне поле. До такого втручання відносяться ВЕСО. їхні особливості з боку інформаційних технологій виглядають таким чином:

- відеоінформація при ВЕСО організована, як правило, у вигляді пакета окремих зображень, і відеопотоків, що надходить від різних джерел;
- частоти зміни кадрів у джерелах пакета істотно розрізняються, фактично деякі джерела (наприклад, рентгенографію в порівнянні з відеопотоком від відеокамер), можна вважати монокадровими;
- зображення, що входять до відеопотоків, малоконтрастні, не містять різких переходів;
- послідовні кадри відеопотоку не містять фрагментів, що істотно відрізняються;
- до медичних зображень не застосовуються загальні жорсткі вимоги до якості художніх і аналогічних їм фотореалістичних зображень: головне в них -збереження (повне або часткове) інформації про об'єкт, а не естетика його сприйняття.

З викладеного витікає, що проблема стискування медичної відеоінформації повинна бути розглянута в комплексі, як на рівні збільшення швидкості і якості кодування відеопотоку в цілому, так і на рівні окремих зображень.

Крім того, у роботі розглядали додаткові можливості збільшення якості та швидкості стискування медичної відеоінформації, що впливають із одночасного спільного кодування та декодування відеопотоків і зображень, які входять у єдиний відеоінформаційний медичний пакет.

Розглянемо клас зображень, форма яких відрізняється від прямокутної, але, при цьому, вони обмежені відрізками прямих ліній, що збігаються з лініями деякої регулярної ортогональної сітки. Подальшим розвитком цього підходу є уявлення одного зображення у вигляді двох або більше окремих

фрагментів, не обов'язково однакового розміру. Таке подання дозволяє, з одного боку, розглядати зображення як суму фрагментів досить складної форми, а з іншого, навпаки, - розглядати два або більше окремих зображень в якості одного. З погляду існуючих методів фрактального кодування це припустимо, оскільки для реалізації останнього необхідно тільки задати набір рангових блоків (або правило їхнього утворення) і набір доменних. При цьому медичні зображення можуть бути такими, що окремі їхні елементи цілком можна вважати *окремими самостійними зображеннями*, що не заважає їх фрактальному кодуванню як *єдиного цілого*. Очевидно, що справедливо і зворотне: два (або більше) *різних за походженням* зображення можна уявно «скласти» у єдине ціле та далі вважати цю «суму» єдиним зображенням.

При аналізі можливостей кодування таких зображень були сформульовані та доведені наступні Твердження.

Твердження 1. Нехай $S = \{s_1; s_2; \dots; s_l\}$ - множина зображень прямокутної форми, таких, що розміри кожного кратні деякому квадрату $K(p; p)$, складеному з $p \times p$ пікселів, пронумерованих наскрізним образом крізь усі прямокутники. Тоді зображення, розташовані на цих прямокутниках, можуть бути піддані одночасному кодуванню-декодуванню за допомогою БФП, причому швидкість і якість такого перетворення будуть не гіршими, ніж швидкість і якість кодування-декодування за допомогою БФП єдиного прямокутника, що містить

$\sum_{s=1}^l I_s J_s$ пікселів, де I_s, J_s - кількості квадратів K , які укладаються уздовж відповідних сторін окремих зображень.

Доказ. БФП оперує з номерами пікселів, незалежно від того, яке місце вони займають у реальному зображенні. Головне, щоб ці номери в межах одного рангового блока та відповідних доменних блоків не змінювалися в процесі кодування-декодування, що й відбувається в БФП.

Оскільки номери пікселів, що входять у відповідні рангові блоки, пронумеровані наскрізним чином крізь усі прямокутники і не повторюються, набір пікселів, що входять у той або інший ранговий або доменний блоки, унікальний. «Збирання» ж їх у зображення провадиться після завершення процесу декодування, коли рангові блоки вже не змінюються, а лише розташовуються в потрібних місцях, і ніщо не заважає цим «потрібним місцям» бути в різних елементах множини S .

Твердження 2. Нехай $S = \{s_1; s_2\}$ - два зображення прямокутної форми, таких, що розміри кожного кратні деякому квадрату $K(p; p)$, складеному з $p \times p$ пікселів, пронумерованих наскрізним чином крізь обидва прямокутники. Тоді зображення, розташовані на цих прямокутниках, можуть бути піддані одночасному кодуванню-декодуванню за допомогою БФП, причому для рангових блоків першого прямокутника всі знайдені доменні блоки можуть належати другому прямокутнику, і навпаки.

Доказ. При підборі доменного блоку до рангового в увагу приймається тільки величина метрики між ранговими та перетвореним доменним блоками, а не місце їхнього розташування на зображенні. Алгоритм БФП не забороняє обмежувати множину доменних блоків, які перебираються, він тільки не гарантує в цьому випадку найкращої з можливих якості перетворення. Оскільки **Твердження 2** не вводить обмежень на якість, у рамках алгоритму БФП немає інших причин заборонити вибір доменних

блоків для кожного рангового з обмеженої множини, у тому числі тієї множини, яка збігається з множиною доменних блоків іншого зображення.

На підставі цих Тверджень був розроблений метод комбінованого фрактального кодування, який був покладений в основу нового підходу до кодування-декодування відеопотоків, зокрема, медичних.

У великих і повних зображеннях для кожного рангового блоку великого розміру завжди є такий доменний, який після застосування стискаючого перетворення є доброю апроксимацією рангового. Тому малочастотні (стабільні або такі, що рідко змінюються) зображення не представляють труднощів для фрактального кодування. Основна проблема фрактального кодування височастотних зображень (відеопотоків) полягає в тому, що при цьому неможливо застосовувати метод стандарту *MPEG*, коли стискуванню піддаються різниці між двома сусідніми кадрами відеопотоку: деталізовані ділянки таких різниць занадто малі за розмірами і, в той же час, достатньо складні за структурою, щоб на їхній множині можна було підібрати доменні блоки, які підходять для фрактального перетворення.

Перераховані особливості дозволили запропонувати для фрактального кодування пакетів зображень при хірургічних операціях новий, комбінований метод (рис. 1), який полягає в тому, що спільному кодуванню як єдине зображення піддаються два «напівзображення» з єдиною Наскрізною нумерацією пікселів: $\{1-N_1\}$ у першому напівзображенні та $\{(N_1 + 1) - (N_1 + N_2)\}$ у другому, де N_1, N_2 - кількість пікселів, відповідно, першого та другого напівзображень. В якості першого (опорного) напівзображення використовується, наприклад, перший кадр відеопотоку (або будь-яке інше повне зображення, яке є і у відправника, і в одержувача), а в якості другого - різниця між двома послідовними кадрами відеопотоку.

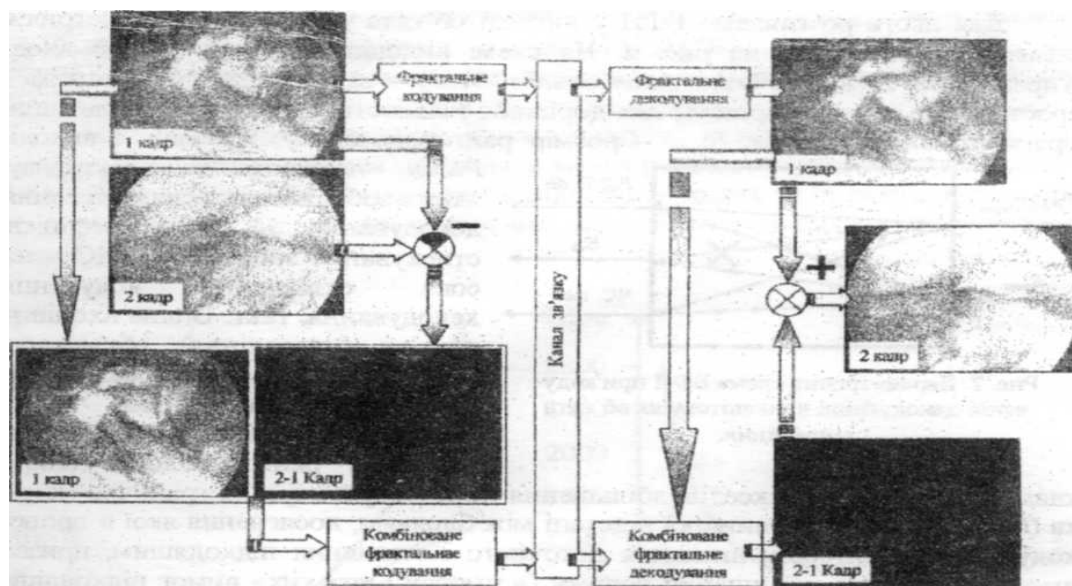


Рис. 1. Схема фрактального кодування-декодування з використанням опорного зображення.

В цьому методі опорне (повне!) напівзображення використовується як джерело доменних блоків для деталізованих областей другого, в яких складно, або практично неможливо підібрати доменний блок, який підходить, не виконуючи небажане розбиття на рангові блоки мінімального розміру.

При такому методі на кожному кадрі опорне рентгенівське зображення знову відновлюється (ж каталізатор у хімічному процесі), але витрати часу на його відновлення відносяться до процесу декодування та тому несуттєві.

Комп'ютерний експеримент по стискуванню реальних зображень, що представляють собою окремі кадри відеопотоку, отриманого при ВЕСО за

допомогою комбінованого методу, показав, що завдяки цьому методу фрактального кодування-декодування, вдається одержати цілком прийнятні зображення других кадрів, що дозволило істотно знизити часову складність кодування відеопотоків.

Таким чином, застосування комбінованого методу стискування відеопотоків створює додаткові можливості для використання фрактальних методів у медичній практиці.

Досягнуті результати можуть бути ще більш поліпшені за рахунок вдосконалення безпосередньо методу кодування-декодування окремих зображень, які входять до відеопотоку, зокрема, за рахунок зниження його асиметрії шляхом прискорення кодування.

Для цього розглянемо БФП у вигляді об'єкта управління, параметрична схема якого наведена на рис. 2. На схемі виділені наступні змінні: входи (управління): $RMSE_{гран}$ (*root mean square error*) - задана гранитна метрика в

просторі, що має розмірність, яка дорівнює кількості пікселів у порівнюваних фрейментах зображення, $R_{ранг}$ - розмір рангового блоку, пікселів, і виходи:



Рис. 2. Параметрична схема БФП при кодуванні-декодуванні відеопотоку як об'єкта управління.

$PSNR$ - показник, що характеризує якість зображення після кодування-декодування, dB ; $K_{ст}$ - коефіцієнт стискування зображення; ЧС - часова складність кодування-декодування, такт. Вплив входів на виходи (управління) обумовлено наступними особливостями процесу кодування-декодування.

При розбивці зображення на фіксовані рангові блоки (наприклад, розміром 8 x 8 пікселів) збільшення такого параметра, як гранична метрика ($RMSE_{гран}$), тобто граничної відстані між блоками, досягнення якої в процесі кодування є критерієм визнання поточного зіставлення підходящим, призводить до звуження, зменшення пошуку (в умовах «низьких» вимог підходящий доменний блок знайти легше!). Результат - зменшення часу кодування і, природно, - зниження його якості.

Комп'ютерний експеримент із квадратним медичним зображенням, яке містить 160 x 160 пікселів і займає в оригіналі 25 кб пам'яті, показав наступні результати (рис. 3).

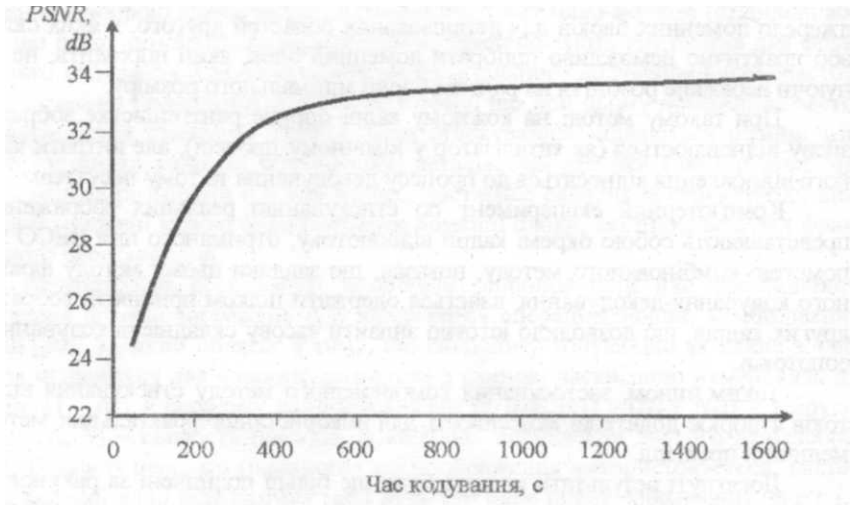


Рис. 3. Залежність якості роботи БФП від часу фрактального кодування-декодування при однакових значеннях $RMSE_{гран}$

У той же час, коефіцієнт стискування залежить лише від розміру рангових блоків. Отже, цей коефіцієнт від метрики $RMSE_{\text{траг}}$ не залежить: $K_{\text{ст}} \neq f(RMSE_{\text{траг}})$. Очевидно, що розмір рангового блоку за інших рівних умов позначається на всіх вихідних показниках: $\text{ЧС} = f(R_{\text{ранг}})$; $PSNR = f(R_{\text{ранг}})$; $K_{\text{ст}} = f(R_{\text{ранг}})$.

Комп'ютерний експеримент показав наступні результати (рисунки 4 - 6, відповідно), на яких наведена залежність якості роботи опорного метода від параметрів управління. Як видно, спроба підвищити якість за їх рахунок різко та негативно відбивається на часі кодування, що в багатьох випадках недопустимо в медичній практиці.

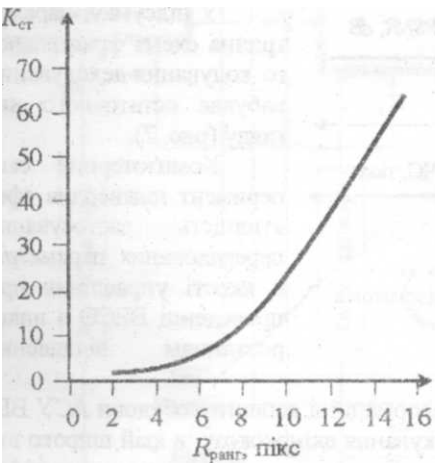


Рис. 4. Вплив розміру рангового блоку $R_{\text{ранг}}$ на коефіцієнт стискування при БФП

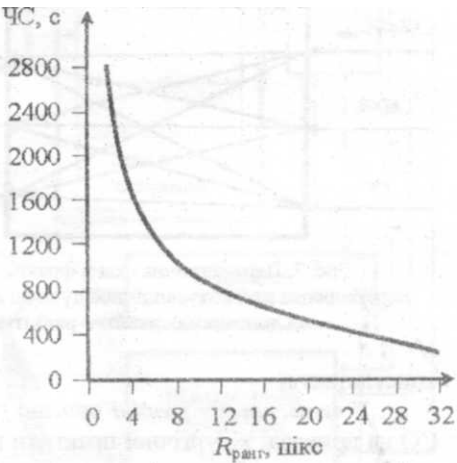


Рис. 5. Вплив розміру рангового блоку $R_{\text{ранг}}$ на час роботи БФП.

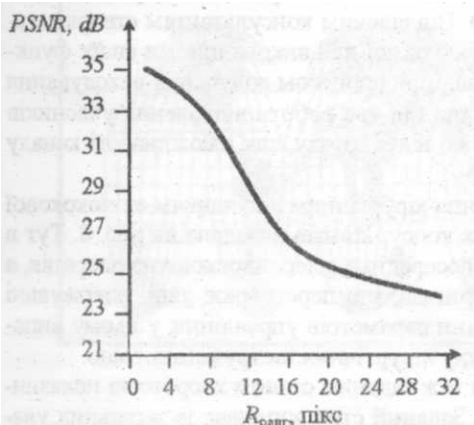


Рис. 6. Вплив розміру рангового блоку $R_{\text{ранг}}$ на якість зображення після БФП

Відмовимося від фіксованої розбивки зображення на однакові рангові блоки, а отже від такого управління, ж розмір рангового блоку $R_{\text{ранг}}$. Натомість в роботі проаналізовано інший керуючий параметр - $R_{\text{ранг min}}$ - мінімальне значення рангового блоку при *quadtree* розбивці, який також впливає на всі показники виходу. Однак виявилось більш ефективним використовувати головну перевагу такого підходу - можливість проведення пошуку найкращого зіставлення доменного блоку ранговому при *quadtree-розбивці* не по всьому зображенню, а тільки в заданій околиці рангового блоку.

При цьому з'являється можливість використовувати для управління новий значно ефективніший набір параметрів: $RMSE_{\text{траг}}$ крок - одиничний

інтервал переміщення при виборі доменного блоку на просторі околиці, пікселів, і uag -середнє квадратичне відхилення, пікселів. На відміну від БФП, в цьому випадку збільшення $RMSE_{\text{гран}}$ веде до меншого зниження якості зображення та часу кодування. Збільшення $RMSE_{\text{гран}}$ також веде до збільшення коефіцієнта стискування.

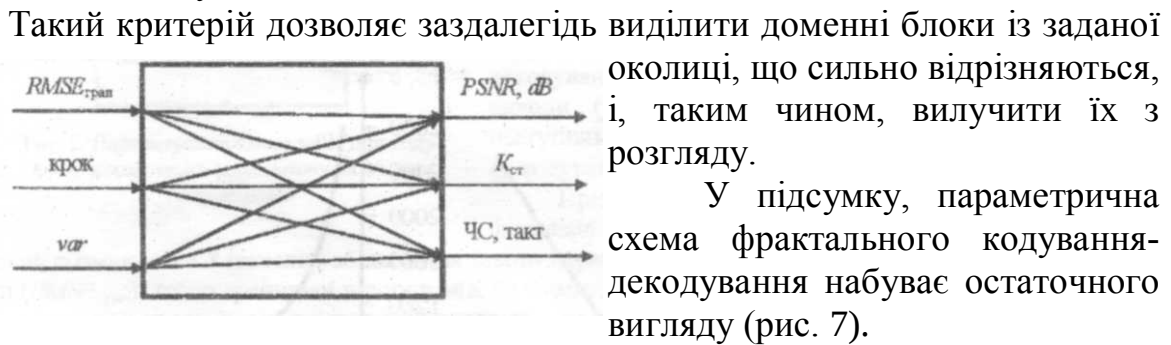


Рис. 7. Параметрична схема фрактального перетворення при кодуванні-декодуванні відеопотоків за допомогою *quadtree*-розбиття.

Такий критерій дозволяє заздалегідь виділити доменні блоки із заданої околиці, що сильно відрізняються, і, таким чином, вилучити їх з розгляду. У підсумку, параметрична схема фрактального кодування-декодування набуває остаточного вигляду (рис. 7).

Комп'ютерний експеримент підтвердив ефективність застосування перерахованих параметрів в якості управління при проведенні ВЕСО з використанням віддалених консультантів.

У четвертому розділі описані інформаційні аспекти побудови АСУ ВЕСО на прикладі хірургічної практики лікування ехінококозу, в якій широко використовують зображення та відеопотоки. Головним компонентом пакета інформації при ВЕСО є відеопотік від ендоскопу - головного «ока» хірурга і його помічників. Лікарі, які знаходяться біля операційного столу, мають можливість бачити цей відео потік на екранах, встановлених в операційній в дуже високій якості (краще телевізійних стандартів). Віддаленим консультантам створюються умови для одержання мінімально необхідної для виконання їми своїх функцій відеоінформації. Необхідність управління процесом кодування-декодування безпосередньо впливає з того факту, що під час роботи віддалених учасників ВЕСО можуть змінюватися як вимоги до відеопотоку, так і можливості каналу зв'язку.

Загальна схема системи управління хірургічним лікуванням ехінококової кістки печінки із залученням віддалених консультантів наведена на рис. 8. Тут в якості об'єкта управління виступає безпосередньо відеоевдоскопічна операція, а в якості «регулятора» - операційна бригада, що перетворює дані, одержувані від ендоскопу та іншої апаратури у зміни параметрів управління, у цьому випадку, - вибір, швидкість і траєкторію руху хірургічних інструментів тощо.

На вході «регулятора» - різниця між заданим станом хворого та показниками приладів спостереження за ним. Заданий стан впливає із загальних уявлень про норму для людини даних статі та віку, а також з уявлень лікаря про норму для конкретного хворого в поточному стані.

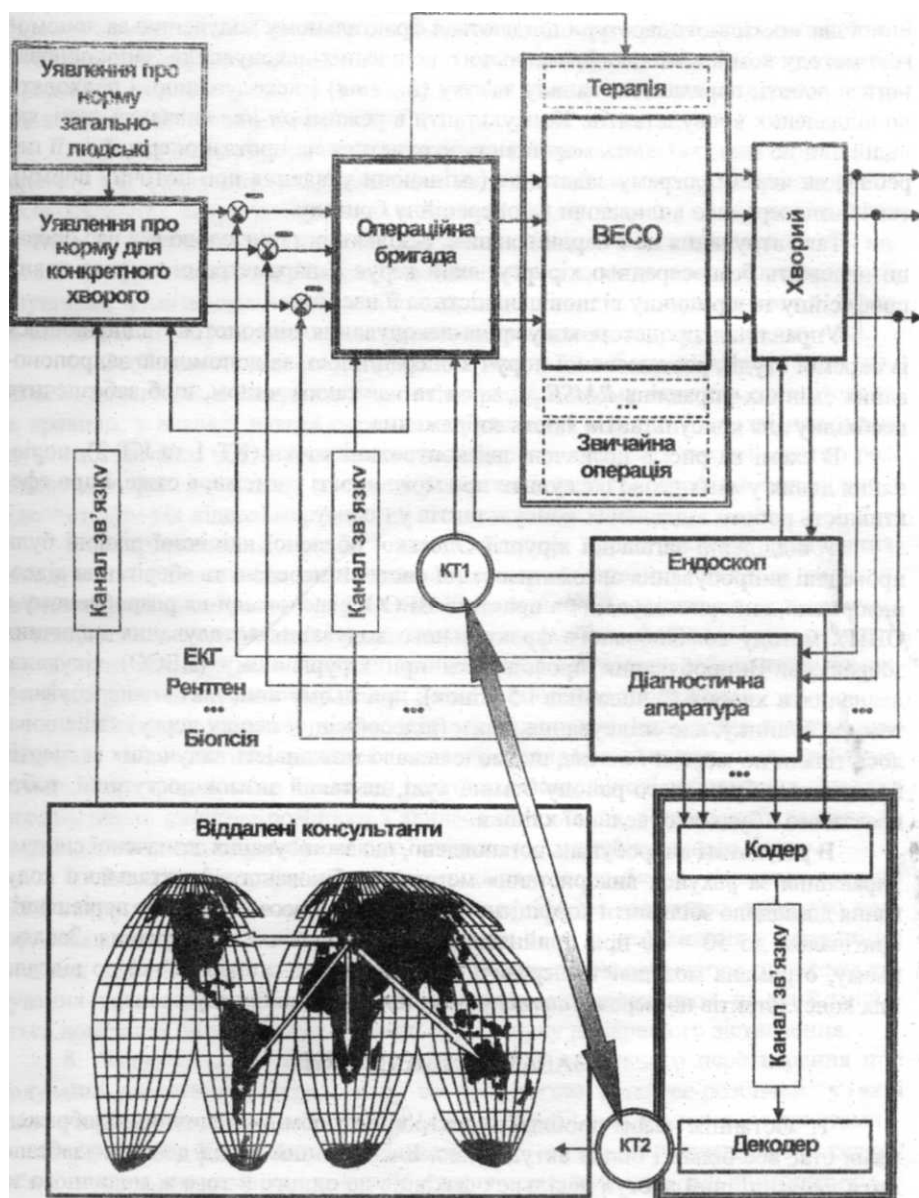


Рис. 8. Схеми системи управління лікуванням із залученням віддалених

Дані у вигляді відеопотоку, одержувані від ендоскопу, та зображення від іншої діагностичної апаратури піддаються фрактальному кодуванню за допомогою методу комбінованого фрактального кодування-декодування, запропонованого в роботі, передачі по каналу зв'язку (*Internet*) і декодуванню, і надходять до віддалених консультантів. Консультанти в режимі *on-line* вивчають дані, які надійшли до них, та мають можливість втручатися на протязі операції до її перебігу, як через програму задатчика (змінюючи уявлення про поточну норму), так і безпосередньо впливаючи на операційну бригаду.

Таке втручання не є кардинальним, оскільки останнє слово під час операції належить безпосередньо хірургу, який керує її параметрами та несе повну професійну та юридичну відповідальність за її наслідки.

Управління процесом кодування-декодування відеопотоку здійснюється із окремої студії, розташованої поруч з операційною, за допомогою запропонованих змінних-управлінь $RMSE_{\text{тран}}$ крок та var таким чином, щоб забезпечити необхідну для консультантів якість зображення.

В схемі на рис. 8 позначені дві контрольні точки (КТ 1 та КТ 2), порівняння даних у яких дозволяє судити про можливості системи, а отже, і про ефективність роботи віддалених консультантів у цілому.

У відділенні загальної хірургії Одеської обласної клінічної лікарні були проведені випробування автоматизованої системи передачі та зберігання відеоінформації, використовуваної в практиці ВЕСО, і заснованої на

розробленому в ОНПУ методу комбінованого фрактального кодування-декодування медичних зображень. Випробування проводилися при хірургічному (ВЕСО) лікуванні дванадцяти хворих (7 чоловіків і 5 жінок), при цьому консультант перебував у тому ж будинку, але спілкування з ним (відеообмін, у першу чергу) здійснювалося тільки по мережі *Internet*, що моделювало можливість залучення експертів практично з будь-якого району Земної кулі, де такий зв'язок доступний, тобто практично з будь-якої великої клініки.

В результаті випробувань встановлено, що застосування зазначеної системи управління за рахунок використання методу комбінованого фрактального кодування дозволило збільшити коефіцієнт стискування відеозображень у порівнянні з оригіналом до 50 - 60 при прийнятних швидкості і якості кодування. Завдяки цьому, отримана можливість передачі відеоінформації з операційної до віддалених консультантів по мережі *Internet* у реальному масштабі часу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Останнім часом проблема електронного обміну медичними зображеннями стає все більш і більш актуальною. Електронний обмін дозволяє забезпечити дистанційний доступ декількох фахівців до одного й того ж медичного зображення, що буває важливо, наприклад, при організації консиліуму. Особливо актуальним є проблема передачі медичної відеоінформації при здійсненні відеоендоскопічних операцій, коли 100 % інформації про її плин передається у формі відеопотоків.

2. Існуючі методи кодування відеоінформації не здатні забезпечити прийнятний ступінь стискування, тому вони не можуть бути використані для розв'язання проблеми компактного подання складної структури таких зображень. У той же час, при кодуванні медичних відеопотоків допускається деяка втрата інформації, яка не знижує ефективності відео обміну та дозволяє досягти високих коефіцієнтів стискування.

3. Подальшого зменшення часової складності кодування-декодування медичних відеопотоків вдалося досягти шляхом використання *quadtree*-розбивки при формуванні множини рангових блоків в полі зображення. Завдяки використанню *quadtree*-розбивки з'явилася можливість пошуку найкращого зіставлення не по всьому зображенню, а тільки в околиці рангового блоку.

4. Завдяки пошуку тільки в околиці рангового блоку, з'явилася можливість використовувати в якості управління процесом кодування простого критерію близькості *var*, який виключає витрати часу на порівняння з доменними блоками з околиці, які явно не підходять. У якості управляючого процесом кодування параметра запропоновано використовувати також крок, на який зміщується доменний блок у межах околиці при пошуку найкращого зіставлення.

5. Запропоновано параметричну схему фрактального перетворення при кодуванні-декодуванні відеопотоку за допомогою *quadtree-розбитки*, у якій входами-управліннями є величини $RMSE_{\text{грань}}$ крок і *var*, а виходами-якостями - величини $\bar{PSNR}$, $K_{\text{ст}}$ і часова складність. Така схема дозволяє під час сеансу зв'язку управляти співвідношенням швидкість/якість передачі відеопотоків у широких межах.

9. Інформаційні аспекти побудови АСУ відеоендоскопічною операцією були досліджені на прикладі операції ехінококектомії. Під час операції

відеопотік з операційної зони одержували за допомогою ендовідеосистеми, яка складалася з ендоскопа, оптичної системи з мініатюрною відеокамерою, джерела світла, світловода та монітора відеозображення. Далі відеопотік піддавався фрактальному кодуванню і передачі по мережі *Internet*.

10. Розроблено структуру та елементи АСУ операцією, яка включає підсистему управління кодуванням-декодуванням медичних відеопотоків. Мета підсистеми - постачання віддаленим консультантам прийнятної відеоінформації від приборів та обладнання, які приймають участь в операції.

11. В Одеській обласній клінічній лікарні були проведені випробування автоматизованої системи передачі та зберігання відеоінформації, використовуваної в практиці ВЕСО, і заснованої на розробленому в ОНПУ фрактальному методі кодування-декодування медичних зображень. Встановлено, що застосування зазначеної системи управління за рахунок використання методу комбінованого фрактального кодування дозволило збільшити коефіцієнт стискування відеозображень у порівнянні з оригіналом до 50 - 60 при прийнятних швидкості та якості кодування. Завдяки цьому, отримана можливість передачі відеоінформації з ендоскопічної операційної до віддалених користувачів по мережі *Internet* у реальному масштабі часу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Абу Айаш Т.А. Схемы блочного разбиения для фрактального сжатия неподвижных изображений / Абу Айаш Т.А., Лебедева Е.Ю. // Труды Одесского политехнического университета. - 2000. - Вып. 2. - С. 173 — 176.

2. Востров Г.Н. Принцип сжимающих отображений и его применение для фрактального сжатия изображений / Востров Г.Н., Абу Айаш Т.А. // Труды Одесского политехнического университета. - 2001. - Вып. 2(14). - С. 96 - 99.

3. Абу Айаш Т.А. Генерация фракталов при помощи /.-систем, // Труды Одесского политехнического университета. - 2001. - Вып. 1. - С. 120 - 123.

4. Лебедева Е.Ю. Улучшение качества фрактально сжатых изображений / Лебедева Е.Ю., Абу Айаш Т.А. // Искусственный интеллект. - Донецк. - 2000. - Вып. 3. - С. 506-512.

5. Востров Г.Н. Применение метода комбинированного фрактального кодирования к сжатию видеопотоков в медицинской практике / Востров Г.Н., Четвериков С.Г., Абу Айаш Т.А. // Холодильная техника и технология. - 2005. - №5(97). - С. 109-112.

6. Лебедева Е.Ю. Применение графики в системах искусственного интеллекта / Лебедева Е.Ю., Абу Айаш Т.А. // Материалы международной научной конференции «Искусственный интеллект - 2000». - Кацивели. - 2000. - С. 171 -172.

7. Абу Айаш Т.А. Снижение асимметрии метода фрактального сжатия изображений / Востров Г.Н., Абу Айаш Т.А. // Материалы 10-й международной конференции по автоматическому управлению «Автоматика - 2003». -- Севастополь: СевНТУ, 2003. - Т. 3. - С. 38 - 40.

8. Абу Айаш Т.А. Методы снижения асимметрии фрактального преобразования медицинских изображений // Материалы III международного семинара «Информационные системы и технологии». - Одесса: ОГАХ, 2005. - С. 66 - 67.

Абу Айаш Т.А. Розробка метода фрактального стискування відеопотоків в автоматизованих системах управління хірургічними операціями. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних, наук за спеціальністю 05.13.06 - Автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології. - Одеський національний політехнічний університет, Одеса, 2005.

Дисертація присвячена створенню можливості для залучення до управління хірургічними операціями віддалених консультантів за рахунок дослідження, розробки та впровадження ефективного методу фрактального стискування відеопотоків. Проаналізовано умови та особливості управління медичним впливом на людину з використанням віддалених консультантів з боку перетворення, передачі та зберігання медичних відеопотоків. Виконано порівняльний аналіз методів кодування окремих зображень і відеопотоків, їхніх характеристик та обчислювальної складності. Розроблено метод комбінованого фрактального кодування-декодування відеопотоків. Розроблено метод зниження асиметрії фрактального перетворення медичних зображень. Розроблено та впроваджено автоматизовану систему управління відеоендоскопічною операцією з використанням віддалених консультантів.

Ключові слова: стискування відеопотоків, фрактальне кодування медичних зображень, асиметрія фрактального перетворення, віддалені консультанти, управління відеоендоскопічною операцією.

Abu Ayash T.A. The development of a fractal video compression method in the automated control systems of surgical operations. - Manuscript.

The dissertation seeking scientific degree of the candidate of technical science in speciality 05.13.06 — Automatic control systems and progressive information technologies. - Odessa national polytechnic university, Odessa, 2005.

The dissertation is devoted to creation of an opportunity for the remote advisers to take part in the management of surgical operations due to research, development and introduction of an effective fractal video compression method. The conditions and features of the management of medical influence on the person with the assistance of the remote advisers from the point of view of transformation, transfer and storage medical video images are analyzed. The comparative analysis of single images and video coding methods, their characteristics and computing complexity is executed. The combined fractal video coding-decoding method is developed. The method of fractal transformations asymmetry decreasing in medical images is developed. The automated control system of videoendoscop operation with the assistance of the remote advisers is developed and introduced.

Key words: the fractal coding of medical images asymmetry of the fractal transformations, the remote advisers, the videoendoscop operation management.

Абу Айаш Т.А. Разработка метода фрактального сжатия видеопотоков в автоматизированных системах управления хирургическими операциями. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 - Автоматизированные системы управления и прогрессивные информационные технологии. - Одесский национальный политехнический университет, Одесса, 2005.

Диссертация посвящена созданию возможности для привлечения к управлению хирургическими операциями отдаленных консультантов за счет исследования, разработки и внедрения эффективного метода фрактального сжатия видеопотоков. Проанализированы условия и особенности управления медицинским воздействием на человека с использованием отдаленных консультантов с точки зрения преобразования, передачи и хранения медицинских видеопотоков. Выполнен сравнительный анализ методов кодирования отдельных изображений и видеопотоков, их характеристик и вычислительной сложности. Разработан метод комбинированного фрактального кодирования-декодирования видеопотоков. Разработан метод снижения асимметрии фрактального преобразования медицинских изображений. Разработана и внедрена автоматизированная система управления видеондоскопической операцией с использованием отдаленных консультантов.

Электронная передача медицинских изображений из одного лечебного учреждения в другое, например, для проведения консультации, может занимать минуты или, в крайнем случае, десятки минут, в то время как пересылка снимков обычными способами нередко занимает несколько дней. Наличие изображения в электронной форме позволяет выполнять достаточно сложную компьютерную обработку, к примеру, наложение изображений компьютерного томографа и магнитно-резонансного томографа и т.д., значительно улучшающую возможность постановки диагноза и принятия решений о лечении пациента.

В целом электронная передача медицинских изображений способна существенно ускорить процесс диагностики заболеваний и лечения пациентов и повысить обоснованность принимаемых медицинских решений. Однако реализация электронной передачи медицинских изображений наталкивается на многие трудности, главные из которых - слишком большой объем памяти, необходимой для их хранения, и слишком малая пропускная способность каналов для их передачи.

Для решения этих проблем производят уменьшение размеров видеопотоков путём преобразования - кодирования, основанного на устранении избыточной информации. К сожалению, такое преобразование иногда сопровождается потерями информации, а значит, и качества изображений после декодирования. Существующие методы сжатия изображений, основанные на дискретно-косинусном и дискретно-вейвлетном преобразовании, не способны обеспечить приемлемой степени сжатия видеопотоков.

В то же время, существует фрактальный метод кодирования графической информации, который может обеспечить высокую степень сжатия медицинских изображений и возможность масштабирования при восстановлении без ухудшения качества изображения. Но этот метод является чрезвычайно асимметричным по времени, - наряду с высокой скоростью декодирования наблюдается неприемлемо длительный процесс кодирования, что является основной проблемой, которую необходимо преодолеть при его практическом внедрении при сжатии видеопотоков.

Научная новизна полученных результатов состоит в развитии и углублении теоретических и методологических основ фрактального кодирования видеопотоков для использования в медицинской практике. Получил дальнейшее развитие метод кодирования видеопотоков, использующий передачу в канал связи разности между соседними кадрами, заключающиеся в применении для кодирования разности фрактального метода. Впервые предложен метод комбинированного фрактального

кодирования-декодирования видеопотоков, заключающийся в использовании на этапах кодирования и декодирования опорного изображения. Впервые доказано Утверждение об одновременном комбинированном кодировании-декодировании с помощью фрактального метода. Впервые доказано Утверждение о возможности использования для фрактального кодирования изображения доменных блоков, находящихся в пределах другого, опорного изображения. Получил дальнейшее развитие метод фрактального кодирования изображений, использующий адаптивное многоуровневое разбиение изображения, основанный на применении сжимающих отображений окрестных областей и использовании простого критерия близости для поиска в окрестности.

В отделении общей хирургии Одесской областной клинической больницы были проведены испытания автоматизированной системы передачи и хранения видеоинформации, используемой в практике видеоэндоскопической операции, и основанной на разработанном в ОНПУ фрактальном методе кодирования-декодирования медицинских изображений. В результате испытаний установлено, что применение указанной системы управления за счет использования метода комбинированного фрактального кодирования позволило увеличить коэффициент сжатия видеоизображений по сравнению с оригиналом до 50 - 60 при приемлемых скорости и качестве кодирования по сравнению с известными методами. Благодаря этому, получена возможность передачи видеоинформации из эндоскопической операционной по сети *Internet* в реальном масштабе времени к удаленным консультантам.

Предложенные методы, а также алгоритмы и программы, разработанные для их реализации, внедрены в процесс обучения Одесского национального политехнического университета и используются в дисциплинах, которые изучают машинную графику и методы обработки изображений, а также в курсовом и дипломном проектировании.

Ключевые слова: сжатие видеопотоков, фрактальное кодирование медицинских изображений, асимметрия фрактального преобразования, отдаленные консультанты, управление видеоэндоскопической операцией.