

Кононов Віктор Михайлович*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*
ORCID 0009-0005-5066-1055**Жиров Геннадій Борисович***Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*
ORCID 0000-0001-7648-7992

ІМПОРТ ДАНИХ ФОРМАТУ DICOM ДЛЯ СИСТЕМИ ТЕЛЕКОНСУЛЬТАЦІЙ

Анотація: Телемедицина, тобто застосування засобів електронних комунікацій для обробки інформації при медичному обслуговуванні населення, є одним з шляхів збільшення його ефективності. Важливою частиною телемедицини є віддалені консультації, але їх проведення крім використання загальноновживаних комунікаційних засобів передбачає роботу з документами, в тому числі у специфічних форматах діагностичного обладнання. У статті розглянуто можливість реалізації компактного модуля доступу до медичних діагностичних даних стандартного формату DICOM з метою подальшого максимально простого вбудовування цього перетворювача в інформаційну систему для проведення телеконсультацій. Для цього використано широкоживану у веб-технології трирівневу архітектуру, але з реалізацією рівня даних на основі спеціального програмного забезпечення, яке забезпечує імпорт даних у формати, прийнятні для веб, тобто виконується перетворення DICOM даних у стандартне зображення формату JPEG. При цьому перетворенні беруться до уваги параметри візуалізації, записані у файлі обстеження, або такі, що передаються в асинхронному запиті з клієнтської частини системи як поточне налаштування від користувача. Паралельно з формуванням даних для візуалізації на браузері медичного зображення програмне забезпечення рівня даних готує його текстове супроводження на основі метаданих з DICOM-файлу. При цьому з урахуванням конфігураційного файлу, який задається при адмініструванні системи, забезпечується анонімізація обстеження блокуванням частини метаданих, що є обов'язковою складовою інформаційної безпеки телемедичного ресурсу. Тестування розробки показало, що реалізована в цьому проекті повна обробка даних на сервері забезпечує достатню для роботи швидкість доступу користувача до зображення при зміні параметрів візуалізації та перегортанні кадрів у серіях, які є основою побудови більшості графічних діагностичних файлів. Повна підготовка даних та буферування на сервері забезпечує також спрощення синхронізації відтворення графічних даних на двох чи більше клієнтах, що є потрібним при певних видах телеконсультацій.

Ключові слова: телемедицина, комунікаційна система, трирівнева архітектура, діагностичні зображення, параметри візуалізації, метадані, захист даних.

Viktor Kononov*Taras Shevchenko National University of Kyiv*
ORCID 0009-0005-5066-1055**Genadiy Zhyrov***Taras Shevchenko National University of Kyiv*
ORCID 0000-0001-7648-7992

IMPORT OF DICOM DATA FOR A TELECONSULTATION SYSTEM

Abstract: Telemedicine, which is the application of telecommunication tools for information processing in healthcare services, is one of the ways to increase its effectiveness. Remote consultations are an important part of telemedicine, but their implementation, in addition to using common communication tools, involves working with documents, including those in specific formats of diagnostic equipment. The article considers the possibility of implementing a compact module for accessing medical diagnostic data in the standard DICOM format in order to further integrate this converter as simply as possible into an information system for teleconsultations. For this purpose, a three-tier architecture widely used in web technology was chosen, but with the implementation of the data layer based on special software that provides data import into formats acceptable for the web, i.e. DICOM data is converted into a standard JPEG image. This conversion takes into account the visualization parameters recorded in the examination file, or those transmitted in an asynchronous request from the client side of the system as the current settings from the user. In parallel with generating data for displaying the medical image in the browser, the data layer software prepares its textual supplement based on metadata from the DICOM file. At the same time, taking into account the configuration file that is set by system administration, the examination is anonymized by blocking part of the metadata, which is a mandatory

component of the information security of the telemedical resource. Development testing has shown that the full data processing on the server side implemented in this project provides sufficient speed for user access to the image when changing the visualization parameters and scrolling through frames in series, which are the basis for structuring most graphical diagnostic files. Full data preparation and buffering on server side also simplifies the synchronization of graphical data playback on two or more clients, which is necessary for certain types of teleconsultations.

Keywords: *telemedicine, communication system, three-tier architecture, diagnostic images, visualization parameters, metadata, data protection.*

1. Постановка проблеми

Використання електронних комунікацій є одним зі способів підвищення ефективності обробки інформації в різних видах діяльності, серед іншого – при наданні медичних послуг, що отримало назву «телемедицина» [1]. Якість надання медичних послуг значною мірою спирається на рівень кваліфікації медичного персоналу, в тому числі для постановки діагнозу, а сучасна діагностика пов'язана з інтерпретацією інформації в комплексі, в більшості випадків із залученням приладових даних. Хоча подальше планування лікування значною мірою спирається на стандартизовані протоколи, складність організму як системи та нечіткість ознак на ранніх стадіях захворювання також призводить до того, що навіть із залученням певних засобів автоматизації, наприклад, штучного інтелекту, в медицині ще довгий час досвід лікаря, особливо спеціалізований, буде мати велику вагу. При цьому традиційно складно забезпечити достатню кількість висококваліфікованого медичного персоналу в регіонах із малою густотою населення, наприклад, у сільській місцевості [2].

Отже, телеконсультації (віддалені консультації засобами електронного зв'язку) рівнів пацієнт–лікар та лікар–лікар є суттєвою складовою сучасної телемедицини [1]. Для таких консультацій, як засіб безпосереднього спілкування, може використовуватись загальноновживане комунікаційне програмне забезпечення, але саме звернення до приладових діагностичних даних у специфічних форматах у цьому випадку викликає певні проблеми. І навіть якщо доступ до приладової діагностики, наприклад, томографії (на відміну від рентгеноскопії або ультразвукового обстеження), передбачає переміщення пацієнта до регіонів з суттєво кращою медичною забезпеченістю, віддалена діагностика, в тому числі на основі телеконсультацій, зберігає свою актуальність.

В рамках загальної задачі реалізації мережевих ресурсів, оптимізованих для віддалених медичних консультацій, є цікавим розглянути підзадачу забезпечення зручного доступу при консультуванні до приладової медичної інформації, в першу чергу в стандартних форматах, наприклад, DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) [3].

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Отже, сучасна медична діагностика використовує складні апаратні дослідження, дані яких представляються у вигляді одного чи декількох файлів, часто з даними, які для перегляду людиною повинні бути представлені у вигляді зображень. До таких методів отримання діагностичної інформації відноситься ультразвукове сканування, рентгеноскопія, усі види томографії [4,5]. Саме для таких даних першочергово ставиться під сумнів повна автоматика діагностування без залучення людини [5] через обмеженість якості зображень та нечіткість діагностичних ознак. Тобто «ручна» робота на рівні консультування та віддаленої діагностики саме із залученням таких видів інформації є актуальною.

Медичні зображення в більшості випадків об'єднуються у зв'язані серії з приєднанням досить великого обсягу допоміжної цифрової та текстової інформації. Певним ускладненням задачі візуалізації є опціональність щодо вимог до поточних параметрів відтворення даних, що зберігаються у відповідному файлі. Найбільш характерним випадком є комп'ютерна томографія зі збільшеною розрядністю даних пікселя, які для відтворення перераховуються у ширококовживані в графіці 8-бітові значення. Усе це призвело до появи і подальшої стандартизації тегового формату DICOM [3], який на сьогодні охоплює величезну різноманітність модальностей і можливість включення як стандартизованих, так і пропрієтарних метаданих [6].

Послідовність даних формату DICOM включає у себе ієрархічну інформаційну модель таких сутностей, як пацієнт, лікар, персонал, медичний заклад, обладнання, а також різні організаційні групи – обстеження може включати серії зображень і навіть набори таких серій. Діагностичне обладнання може бути описане крос-модальними атрибутами – моделлю, виробником, серійним номером, версією програмного забезпечення тощо. В багатьох випадках для опису зазначених сутностей, які можуть бути уніфіковані, замість тексту використовуються стандартизовані коди [7], що вимагає при їх відтворенні використовувати зворотне кодування на основі певного словника. Набори файлів можуть структуруватись у директорії, в тому числі з додатковим описом (DICOMDIR [8]).

Традиційно для роботи з DICOM зображеннями використовують спеціально розроблені програми-конвертори у загальноживані формати та спеціальні програми-браузери класу «для настільних систем» [9], але останнім часом особливої популярності набувають веб-програми [10]. Як окремий засіб для використання у супутньому програмному забезпеченні розробляються бібліотеки API DICOM [11], в тому числі і сумісні з web-технологіями з конвертацією метаданих у JSON або XML [8].

При проведенні телеконсультації кожна із зацікавлених сторін (пацієнт, лікар, розробники) мають власні інтереси та відповідальність. Передача та накопичення даних при наданні телемедицини послуг пов'язані з використанням загальних каналів електронних комунікацій та сховищ даних [12]. При цьому всі етапи роботи з інформацією можуть мати проблеми з конфіденційністю. Крім того, певні бази діагностичних даних можуть використовуватись для дослідницької роботи, навчання або порівняльної діагностики, що вимагає блокувати частину даних, на розголошення яких не отримано інформаційну згоду. Для цього на сервері може бути використана анонімізація (знеособлення), що є важливою складовою інформаційної безпеки телемедицинської системи. Для анонімізації може бути використане [13] необоротне перетворення даних видаленням або підміною, їх агрегування, шифрування. При цьому вибір інформації, яка блокується, залежить від цілей і обмежень, тобто може вимагати окремого опрацювання при виконанні конкретного запиту до даних.

Оцінка [14] програмних засобів, призначених для роботи з діагностичними зображеннями, показує певну обмеженість DICOM щодо повного використання потенціалу, що певною мірою зменшує можливості накопичення та аналізу наборів даних. Отже, є потреба розвитку та оптимізації відповідного програмного забезпечення.

3. Мета і задачі дослідження

Метою є реалізація компактного та прийняттого для вбудовування в телеконсультативну систему програмного забезпечення серверного рівня, що дозволить забезпечити доступ до DICOM-даних, які зберігаються на сервері, для відтворення на веб-браузері з їх попередньою підготовкою на сервері з врахуванням умов запиту та прав доступу користувача. Для досягнення поставленої мети необхідно:

- реалізувати простий у використанні клас, що виконує структурну та змістову розбірку DICOM-файлу;

- реалізувати функціональність перетворення даних DICOM-файлу, необхідну для використання під час телеконсультацій;

- забезпечити підтримку анонімізації для захисту персональних даних та іншої інформації з обмеженням доступу;

- забезпечити буферизацію на сервері даних, що підготовлені для візуалізації, з метою синхронізації відтворення на двох чи більше клієнтах.

4.1. Архітектура застосунку

При проведенні віддалених медичних консультацій навіть при використанні голосового спілкування є потреба сумісної роботи сторін консультування з додатковими документами, що містять діагностичну інформацію. Отже, телеконсультативний ресурс повинен мати програмні засоби роботи з такими документами, в тому числі у форматах, які генеруються сучасним діагностичним обладнанням. При цьому перегляд таких документів виключно за рахунок передачі на інший бік спілкування зображення екрану, як це реалізується загальноживаними засобами телеконференцій, є малоприйнятним, особливо коли використовуються діагностичні обстеження, що включають у себе серії зображень з додатковими метаданими, пов'язаними з кадрами обстеження. Виникає потреба синхронізації відтворення даних на двох чи більше клієнтах, в тому числі з можливістю зміни режиму візуалізації зображень та інтерактивним керуванням оверлейними помітками.

Для реалізації представлення та синхронізації діагностичної інформації на клієнтах може використовуватись спеціальне програмне забезпечення клієнт-серверної архітектури з інсталяцією на користувацьких комп'ютерах. При цьому значна частина обробки може бути перенесена на клієнт та можуть бути задіяні спеціалізовані протоколи синхронізації. Мабуть, єдиним недоліком такої архітектури є саме необхідність інсталяції. Альтернативою є популярна в останні десятиріччя робота повністю через браузер. При цьому для підтримки використання даних у форматі DICOM можна спиратись на класичну клієнт-серверну архітектуру веб-застосунку. Але з урахуванням обмеженості традиційної скриптової реалізації веб-обробника клієнтських запитів є логічним використання трирівневої архітектури, тобто перенесення підготовки даних на додатковий рівень, тільки замість

сервера бази даних в даному випадку потрібен засіб доступу до відповідного формату діагностичних даних.

Виходячи із зазначеного вище трирівневого веб-застосунку, є необхідним реалізувати максимально спрощений у налаштуванні при вбудовуванні в систему телеконсультацій модуль підтримки формату DICOM, який забезпечує повну підготовку даних з можливістю буферування на сервері. Слід зауважити, що цей додатковий рівень, як і у випадку сервера бази даних, може співіснувати з веб-сервером або знаходитись безпосередньо на сервері збереження діагностичних даних із взаємодією з веб-сервером через механізм сокетів.

Отже, загальна архітектура засобів підтримки приладових діагностичних даних в телеконсультативній системі повинна спиратись на асинхронний запит (рис.1) з клієнтського боку (AJAX або WebSocket), на основі якого формується запит до спеціалізованого обробника, з врахуванням специфіки даного проекту – DICOM-обробника. Саме він і виконує повну підготовку даних для подальшого відтворення в браузері у вигляді файлів у форматах, прийнятних для веб-технологій (особливо це стосується зображень), які буферуються на веб-сервері.

4.2. Реалізація обробки даних формату DICOM

Як зазначено у попередньому параграфі, головною складовою проекту є DICOM-обробник. Він приймає команду, на основі якої обирається потрібний файл і виконується підготовка графічних даних з нього для відтворення на браузері, а також формування у зручному для остаточної обробки метаданих, що супроводжують діагностичне зображення. Якщо передбачається обробка метаданих на клієнтському боці, найкращим варіантом їх представлення є JSON. Оскільки в даному випадку такі дані виключно є текстом для перегляду, а фільтрація з метою захисту персональних та інших захищених даних повинна виконуватись виключно на сервері, альтернативою до JSON є повноцінне форматування на серверному боці готового для представлення у вікні браузера тексту.

Як графічний формат відтворення в даному випадку обрано JPEG. Якщо дані діагностичного зображення збережені зі збільшеною (зазвичай до 16 бітів) розрядністю, використовується перерахунок у 8-бітове значення з врахуванням вказаного в метаданих «вікна відтворення» (яскравості та контрастності) або на основі вимог користувача, які в даному випадку передаються в обробник з клієнтського боку при кожній зміні параметрів відтворення.

DICOM-обробник реалізовано як MS.Net проект з архітектурою Windows Forms. Хоча швидкодія застосунків на основі даного фреймворку дещо програє повністю компільованим програмам на основі C/C++, таку архітектуру було обрано через можливість портування на Linux використанням Mono, що забезпечує певний рівень кросплатформності.

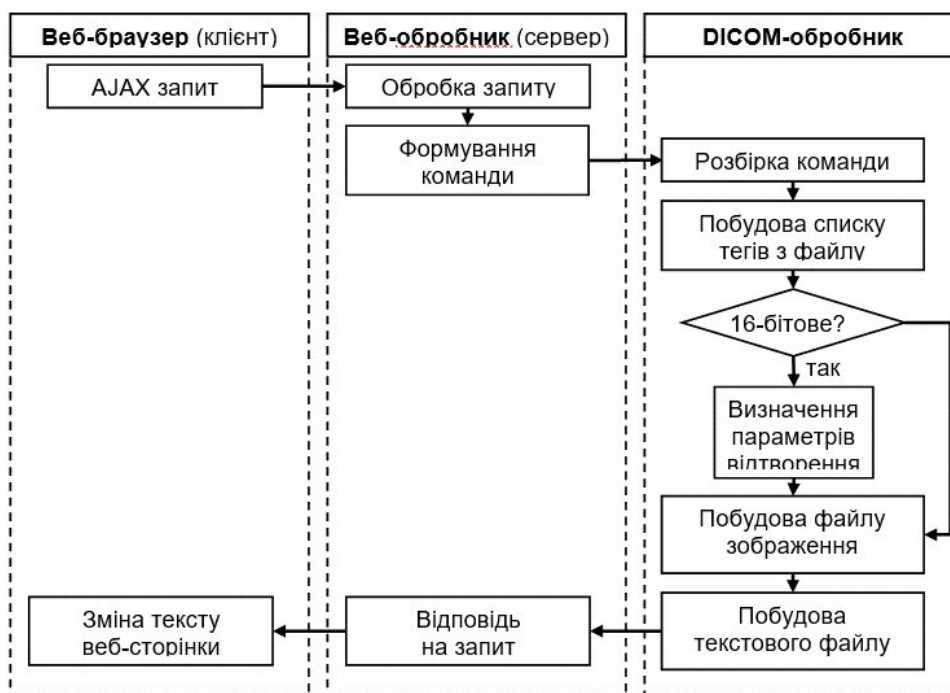


Рис.1. Блок-схема обробки запиту на візуалізацію даних з DICOM-файлу

Відповідно до специфікації стандарту DICOM дані вибудовуються впорядкованою послідовністю «елементів» (data elements). Кожен елемент даних ідентифікується парою беззнакових 16-бітових чисел – номеру групи та номеру елемента в групі. Групи та елементи в кожній з них відсортовані за зростанням цих номерів. Кожен з ідентифікаторів групи або елемента даних відповідає певному змістовому призначенню. Наступним в елементі даних є двобайтове символічне поле VR, яке визначає тип даних із заданого в стандарті переліку. Далі йде бінарне поле VF – довжина блоку даних в елементі. Це поле може бути 16-бітовим, або при умові відсутності в елементі даних поля VR 32-бітовим. За рахунок такої чіткої побудови формату потік даних досить легко інтерпретується розбиттям на два рівні обробки – шар аналізу послідовності, який розкладає потік у список об'єктів, та змістовий.

Отже, для читання та подальшої підготовки до відтворення у веб-застосунку даних формату DICOM було реалізовано окремий C# клас Dicom (рис.2), який виконує структурування даних викликом методу GetTagList() у вигляді списку TagList екземплярів класу DICOM_Tag. Поля класу DICOM_Tag відповідають полям елементу даних стандарту. Поле SubLevel позначає наявність ієрархічного вкладення в блок даних цього тегу «молодшого» потоку тегів, NeedShow використовується при анонімізації. Отриманий таким чином список елементів даних є зручним для маніпуляції ними та виділення зі списку методом GetPicData(FileName) атрибутів для подальшого перетворення зображення викликом методу DataToBmp(). Але він є неприйнятним для виведення метаданих у текстовому вигляді користувачу на екран, оскільки замість зручних в роботі текстових значень в DICOM-файлі зберігаються певні коди. Для перекодування може бути використане вбудовування в програмний засіб відповідного словника. Для формування тексту, що буде відтворений для користувача, використовується окремий метод зазначеного класу PrepareTagList(), який формує довгий рядок, що об'єднує в собі необхідні блоки даних (із урахуванням вилучення заборонених для відтворення) вже у вигляді, прийнятному для перегляду на браузері без додаткової обробки. Формування списку допустимих для відтворення елементів даних Units реалізується читанням відповідного файлу методом ReadIni().

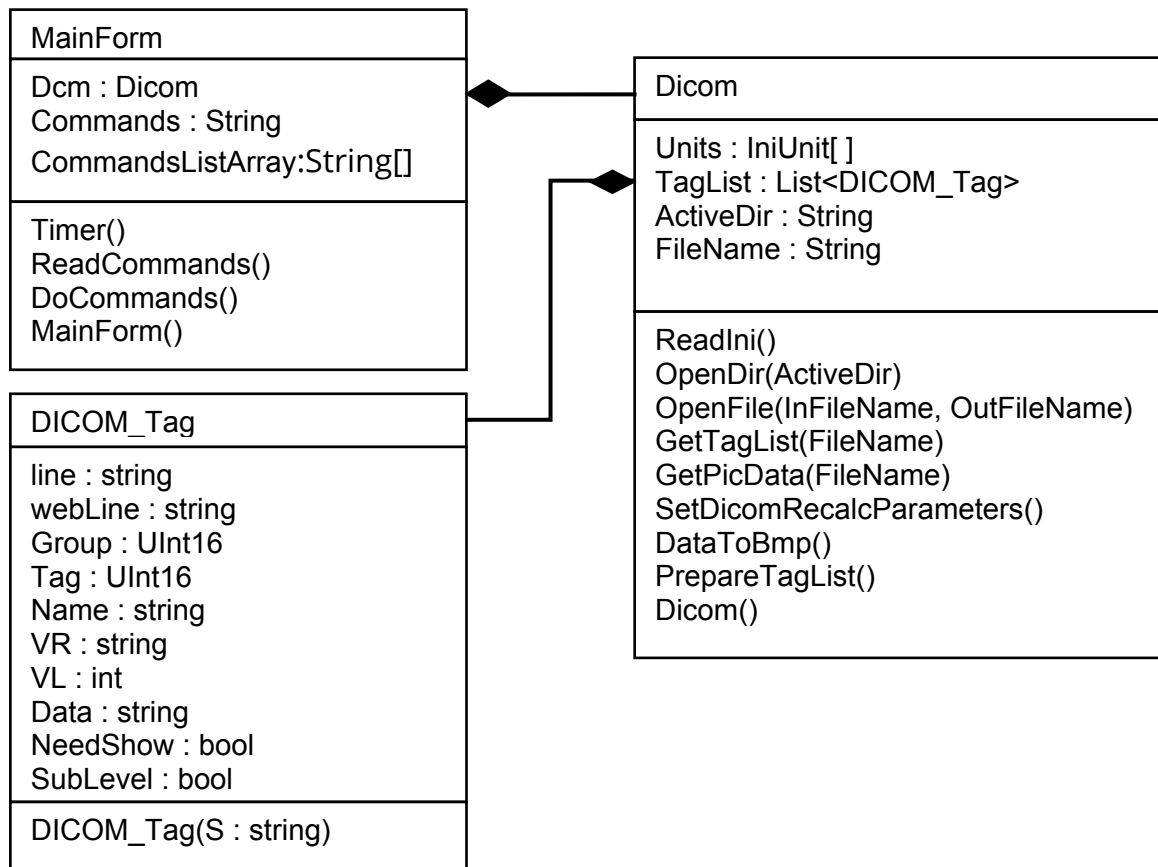


Рис.2. UML діаграма спрощеної будови класів, які відповідають за візуалізацію DICOM даних (наведена тільки частина полів та методів)

В більшості модальностей дані кожного зображення записуються в окремому файлі у вигляді блоку 8- або 16-бітових бінарних даних, включеного в загальну послідовність DICOM-тегів, а спосіб перерахунку для візуалізації визначається зазначеними стандартом елементами даних цього ж файлу. Серія зображень в обстеженні при цьому частіше за все записується як група файлів з певною впорядкованістю імен у спільній директорії (вибирається методом `OpenDir()`). Сам перерахунок в даному класі реалізовано в методі `SetDicomRecalcParameters()`. Для 16-бітових зображень в градаціях сірого серед параметрів візуалізації є й атрибути перерахунку «за замовчуванням», які можуть бути використані для початкового завдання контрастності та яскравості. Усе це враховується при наданні доступу до даних обраного обстеження. Але стандарт підтримує також багатокадрові файли. В них при спільному наборі метаданих є об'єднаний блок графічних даних, в якому відліки усіх кадрів обстеження записані підряд. Для відтворення даних з такого формату в проект додано врахування номеру активного кадру та його розмір, які при зчитуванні певного кадру дозволяють сформулювати необхідний зсув у послідовності графічних даних.

DICOM-обробник (`MainForm`) включає в себе описаний вище клас підтримки формату DICOM та певну функціональну обгортку для отримання викликом методу `ReadCommands()` по таймеру `Timer()` потоку команд від веб-обробника, сформованих на основі запитів, які приймаються веб-сервером, та їх подальшого виконання викликом методу `DoCommands()`. Формат команди включає у себе рядок, що кодує саму команду та додаткові дані. Для ідентифікації початку самої команди використовується символ «#», початок даних відокремлюється від неї символом «|», що максимально спрощує синтаксичну розробку елементів масиву `CommandsListArray`. Наприклад, для завдання папки та файлу, звідки буде виконуватись подальша вибірка даних, використовується команда `FILE`, до якої як дані додаються імена файлу-джерела даних та JPEG-файлу, що формується для відтворення в браузері.

Слід зазначити, що для пришвидшення візуалізації зображень в браузері при зміні налаштування відтворення або при перегортанні кадрів обраної серії за умови асинхронного запиту без повної заміни сторінки, що відтворюється, може використовуватись буферизація. Обрана архітектура серверної складової застосунку дозволяє використовувати таку буферизацію, оскільки робоча директорія з підготовленими для відтворення JPEG-файлами звільняється тільки при виборі нового джерела даних. В даній реалізації коректність відтворення в браузері забезпечується включенням в ім'я JPEG-файлу номеру, що інкрементується. Для додаткового пришвидшення доступу може бути використано деяке ускладнення принципу формування імен JPEG-файлів і перевірка наявності раніше підготовленої (при виконанні попередніх запитів в межах поточного сеансу) графічної інформації. За рахунок цього частина зображень в рамках роботи із серією може виводитись без нового розрахунку їх змісту.

Реалізація DICOM-обробника була виконана однопоточною з врахуванням того, що зазвичай веб-сервер опрацьовує паралельно певну кількість запитів, тобто багатопоточність вигідніше використовувати на рівні одночасного запуску окремих екземплярів DICOM-обробника для обслуговування різних сеансів. Хоча обрана в проекті архітектура припускає розвиток на рівні запуску декількох потоків при підготовці до відтворення окремого кадру, слід зауважити, що через відносно невеликий обсяг даних одного діагностичного зображення в більшості випадків це не забезпечить значного пришвидшення.

4.3. Тестування DICOM-обробника

Для тестування DICOM-обробника було розроблено простий клієнт-серверний веб-застосунок, що імітує практичну роботу з діагностичними даними під час проведення сеансу телеконсультації, завдяки чому перевіряється відпрацювання команд з браузера, які виконують:

- перегортання зображень в межах серії;
- відтворення метаданих, в тому числі з блокуванням заданого у файлі ініціалізації (на сервері) набору тегів;
- зміну параметрів відтворення градацій сірого зображення, яке зберігається з 16-бітовою (відповідно до стандарту DICOM) розрядністю пікселя.

Тестовий застосунок було реалізовано без використання фреймворків нативними скриптовими засобами. Для серверної складової (веб-обробника) використано PHP, програмна складова клієнтської частини реалізована на основі JavaScript.

Зазначимо, що DICOM-обробник з метою забезпечення зручності тестування було реалізовано з можливістю запуску віконного (графічного) інтерфейсу, що дозволяло візуально контролювати передані йому команди. Тобто в робочому режимі він запускається в прихованому вигляді, але при

виконанні тестування форма може бути візуалізована зовнішньою командою від додаткового застосунку, розробленого спеціально для виконання зневадження та тестування.

Основною задачею веб-обробника є переадресація DICOM-обробнику отриманого веб-сервером запиту від браузера формуванням відповідної текстової команди і даних до неї та очікування результату виконання, який далі відправляється на клієнтський бік.

Клієнтська складова тестового застосунку реалізована як мінімалістичний за функціональністю (тільки задачі тестування) HTML-код (із завданням сукупності стилів в окремому CSS-файлі) з винесенням програмної складової в окремий JavaScript файл. У браузері відтворюється передане з сервера зображення з відповідного до запиту DICOM-файлу та відфільтровані за вимогою анонімізації метадані до нього, що дозволяє контролювати коректність візуалізації даних, переданих користувачу. Зазначимо, що з врахуванням того, що однією із задач тестування є оцінка затримки відпрацювання запиту, взаємодія з сервером була виконана повноцінно, тобто на основі асинхронного запиту (AJAX).

Для тестування було використано комп'ютер з ОС Windows 10 (21H2) та процесором Intel Core i5 10400 з тактовою частотою 2,9/4,3 ГГц. Зауважимо, що, оскільки основний модуль програмного застосунку (DICOM-обробник) скомпільований в однопоточковому режимі, ступінь паралельності обробки даних (даний процесор має 12 потоків на 6 фізичних ядрах) в даному випадку не має значення. Для тестування використовувались браузер Google Chrome 114.0.5735.199 та веб-сервер Apache 2.4.23. Для вилучення з дослідження затримки за рахунок мереженого сполучення з метою визначити саме затримку безпосередньо при підготовці даних на сервері, вони були запуснені на одному комп'ютері (як альтернативу можна було використати два комп'ютери в достатньо швидкій локальній мережі).

Початковим етапом тестування була перевірка працездатності роботи зі зразками DICOM-файлів різної модальності, тобто з різним записом графічної складової діагностичних даних та метаданих. Для цього було сформовано вибірку з більше ніж 50 обстежень (файлів або груп) – результатів рентгеноскопії, комп'ютерної та магніто-резонансної томографії, ультразвукового сканування. Тестування на зазначеній вибірці показало повну працездатність. Окрема увага приділялась коректності та швидкості перерахунку графічних даних в градаціях сірого з 16-бітовою розрядністю пікселя, оскільки перехід до іншого файлу серії або зміна параметрів «вікна візуалізації» вимагає перерахунку усіх пікселів, тобто є відносно ресурсоемною обробкою даних.

Затримка між відправкою запиту та оновленням відтворюваних у вікні браузера текстових даних DICOM-файлу взагалі не спостерігається. При оновленні зображення за запитом на зміну параметрів візуалізації для 16-бітової розрядності значення пікселя, тобто з розрахунком нового JPEG-зображення, затримка не перевищує 0,1–0,2 сек., і не викликає дискомфорту.

5. Висновки і перспективи подальших досліджень

Запропонована технологія використання на сервері телеконсультацій додаткового обробника даних зі специфічного формату даних діагностичного обладнання (в роботі розглянуто використання DICOM) є працездатною та не призводить до суттєвого сповільнення роботи на клієнтському боці.

Для реалізації зазначеної технології було розроблено клас підтримки формату DICOM та на його основі реалізовано програмний модуль, прийнятний для вбудовування у телеконсультативну систему. Цей модуль забезпечує перерахунок графічного блоку даних для коректного відтворення засобами браузера, в тому числі з параметрами візуалізації, які задаються користувачем з клієнтського боку. Крім того формується блок супроводжувальних текстових даних, які містяться у DICOM-файлі, з можливістю вилучення персональних даних (фільтрація конфігурується адмініструванням системи), що є загальною вимогою до інформаційної безпеки ресурсу загального використання.

Крім доступу до даних DICOM-формату, обрана архітектура може бути розширена на підтримку для телеконсультацій інших форматів (на рівні реалізації окремих модулів) та для експорту даних на сервері в проміжні формати, більш ефективні для подальшої комп'ютерної обробки діагностичних даних.

Список використаної літератури

1. Alenoghena C.O., Ohize H.O., Adejo A.O. et al. Telemedicine: A Survey of Telecommunication Technologies, Developments, and Challenges. *Journal of Sensors and Actuator Networks*. 2023. Vol.12. №.2. 39 p. DOI: 10.3390/jsan12020020.
2. Shende V., Wagh V. Role of Telemedicine and Telehealth in Public Healthcare Sector. A Narrative Review. *Cureus*. 2024. Vol. 16. №9. e69102. DOI: 10.7759/cureus.69102.
3. The DICOM Standard. URL: <https://www.dicomstandard.org/current> (дата звернення: 15.04.2025).
4. Hussain S., Mubeen I., Ullah N. et al. Modern Diagnostic Imaging Technique Applications and Risk Factors in the Medical Field: A Review. *Biomed Research International*. 2022. ID 5164970. 19 p. DOI: 10.1155/2022/5164970.

5. Bercovich E., Javitt M.C. Medical Imaging: From Roentgen to the Digital Revolution, and Beyond. Rambam Maimonides Medical Journal. 2018. Vol. 9. №. 4. e0034. 11 p. DOI: 10.5041/RMMJ.10355.
6. Larobina M. Thirty Years of the DICOM Standard. Tomography. 2023. Vol. 9. №. 5. P.1829–1838. DOI: 10.3390/tomography9050145.
7. Clunie D.A. DICOM Format and Protocol Standardization-A Core Requirement for Digital Pathology Success. Toxicologic Pathology. 2021. Vol. 49. №. 4. P.738-749. DOI: 10.1177/0192623320965893.
8. Gambino O., Rundo L., Cannella V., Vitabile S. et al. A framework for data-driven adaptive GUI generation based on DICOM. Journal of Biomedical Informatics. 2018. Vol. 88. P. 37–52. DOI: 10.1016/j.jbi.2018.10.009.
9. Liao W., Deserno T.M., Spitzer K. et al. Evaluation of free non-diagnostic DICOM software tools. Proceedings of SPIE. Vol. 6919. Medical Imaging 2008: PACS and Imaging Informatics; 691903. 12 p. Event: Medical Imaging, 2008, San Diego, Cal., US. DOI: 10.1117/12.770431.
10. Pereira H., Romero L., Miguel Faria P. et al. Web-Based DICOM Viewers: A Survey and a Performance Classification. Journal of Imaging Informatics in Medicine. 2024. ID 39349783. 19 p. DOI: 10.1007/s10278-024-01216-5.
11. Mantri M., Taran S., Sunder G. et al. DICOM Integration Libraries for Medical Image Interoperability: A Technical Review. IEEE Reviews in Biomedical Engineering. 2022. Vol. 15. P.247–259. DOI: 10.1109/RBME.2020.3042642.
12. Chenthara S., Ahmed K., Wang H., Whittaker F. et al. Security and Privacy-Preserving Challenges of e-Health Solutions in Cloud Computing. IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 74361–74382. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2919982.
13. Mackenzie A., Lewis E., Loveland J. et al. Successes and challenges in extracting information from DICOM image databases for audit and research. British Journal of Radiology. 2023. Vol. 96. №. 1151. ID 20230104. 9 p. DOI: 10.1259/bjr.20230104.
14. Aiello M., Esposito G., Pagliari G., et al. How does DICOM support big data management? Investigating its use in medical imaging community. *Insights into Imaging*. 2021. Vol. 12. Art. Num. 164. 21 p. DOI: 10.1186/s13244-021-01081-8.