

В.Ю. Песчанський, Є.С. Сулема

ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Анотація. У статті запропоновано універсальну об'єктно орієнтовану архітектуру програмної системи, призначеної для створення двійників медико біологічних об'єктів на прикладі отоларингології. Архітектура ґрунтується на використанні поліморфізму для мінімізації роботи розробників програмного забезпечення у разі виникнення необхідності модифікації системи для використання в інших галузях медицини. Розглянуто групи компонентів системи та надано рекомендації, щодо їхнього розроблення.

Ключові слова: архітектура програмної системи, цифрові двійники, медичне програмне забезпечення.

Постановка проблеми. Останнім часом технології створення цифрових двійників стають дедалі більш поширеними, зокрема, у галузі медицини та біології. Це пов'язано з тим, що використання цифрових моделей медико-біологічних об'єктів дозволяє більш ефективно вивчати їх фізіологію, патологію та взаємодію з лікарськими засобами. Наприклад, створення цифрових двійників людського тіла дозволяє моделювати патології та експериментувати з різними методами лікування, що дозволяє більш точно визначити ефективність та безпеку лікарських засобів. Таким чином, постає науково-практична задача створення універсальної модульної архітектури програмного забезпечення, яке, за рахунок використання цифрових двійників полегшить стеження за внутрішнім органом людини чи їх групою, а також значно спростить передбачення реакцій на медичне втручання. При цьому важливою задачею є модульність архітектури, яка дозволить швидко масштабувати систему для моделювання різних внутрішніх органів або систем.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз рівня застосування медичних двійників у галузі медицини показав, що, незважаючи на те, що тема не є новою [1], її практичне застосування ще залишається на досить початковому рівні. Станом на сьогодні, доволі багато стартапів намагаються розробити універсальну систему для догляду пацієнтів з використанням технології циф-

рових двійників, проте наразі таке універсальне рішення відсутнє. У зв'язку з цим постає актуальна науково-практична задача зі створення універсальної архітектури, яка надасть можливість моделювати органи людського організму у вигляді цифрових двійників медико-біологічних об'єктів.

Мета досліджень. Метою дослідження, представленого у цій статті, є створення універсальної архітектури програмного забезпечення точних та достовірних моделей медико-біологічних об'єктів, які можуть бути використані для проведення експериментів та досліджень в медицині та біології.

Викладення основного матеріалу досліджень. Перед початком проєктування архітектури, слід зазначити одну дуже важливу проблему, яку необхідно враховувати при роботі з медико-біологічними об'єктами, а саме їх величезну диференціацію [2]. Для кожного окремого внутрішнього органу пацієнта необхідно використовувати зовсім різні системи моделювання, які у більшості випадків будуть мало сумісні між собою, тому необхідно забезпечити модульність розробленої архітектури для забезпечення можливості масштабувати системи без необхідності перероблення вже існуючих компонентів.

Слід зазначити, що будь-який цифровий двійник медико-біологічного об'єкту є часово зв'язним та являє собою результат обробки потоку темпоральних даних. Тому до використовуваного у розроблюваній архітектурі сховища мають бути висунені вимоги щодо максимальної ефективності зберігання такого типу даних.

Також до будь-якої системи, що розроблюється для сфери охорони здоров'я, має бути висунуто вимоги щодо логування та збереження персональних даних, оскільки згідно з проведеними дослідженнями та існуючим законодавством [3] гарантування цілісності та безпеки персональних даних є обов'язковим для впровадження будь-якої подібної системи. Отже, стійка система захисту даних повинна бути запроваджена на етапі розроблення архітектури.

Таким чином, можна сформулювати такі основні вимоги до розроблюваної системи.

Модульність та розширюваність.

Система повинна бути побудована з можливістю легкого додавання нових функціональних модулів або оновлення існуючих.

Модулі повинні бути добре ізольовані, щоб забезпечити можливість розвитку окремих компонентів незалежно.

Архітектура повинна бути готовою до масштабування, якщо з'являться нові медичні дані або інші вимоги.

Універсальність обробки даних.

Система повинна забезпечувати можливість збору та обробки різних типів даних, включаючи зображення, звуки, показники приладів тощо.

Повинна бути підтримка обробки даних в реальному часі для забезпечення актуальності і точності цифрових двійників.

Адаптивний аналіз даних.

Система повинна мати можливість аналізувати накопичені дані для виявлення паттернів, аномалій, а також для здійснення діагностики медичних станів пацієнтів.

Розробка алгоритмів аналізу та визначення повинна бути гнучкою для адаптації до різних сценаріїв.

Безпека та конфіденційність.

Забезпечення конфіденційності медичних даних пацієнтів є обов'язковим і повинно включати механізми шифрування, аутентифікації та авторизації.

Всі оброблювані дані повинні відповідати вимогам стандартів безпеки в медичній галузі.

Інтуїтивний інтерфейс.

Система повинна мати інтуїтивний інтерфейс для взаємодії зі спеціалістами.

Повинна бути можливість відображення цифрових двійників у різних форматах та підтримка інструментів для їх аналізу.

Відповідність медичним стандартам.

Розроблена система повинна відповідати всім вимогам та стандартам, які регулюють використання медичних технологій та обробку медичних даних.

На основі вищезазначеного, визначимо архітектуру програмної системи для створення цифрових двійників медико-біологічних об'єктів.

Всього пропонується п'ять основних груп компонентів: GUI, Storage, Data processing, Data analysis & Digital Twin constructor та Logger. При чому перші три є модульними для забезпечення відповідності сформованим вимогам, тобто вони надають певну базову функціональність, до якої можливо додавати модулі відповідно до потреб щодо подальшого розвитку системи.

Розглянемо зазначені групи компонентів детально на прикладі створення цифрового двійника гортані людини для використання у дослідженнях з отоларингології [4].

Система у цілому ґрунтується на мікросервісній архітектурі, яка характеризується гнучкістю та придатністю до масштабування [5].

Перша група компонентів реалізує узагальнений графічний інтерфейс (UI) та відповідає за взаємодію між користувачем (лікарем, медичним спеціалістом) та системою. Пропонується модульна організація графічного інтерфейсу, причому кожен з модулів є розширенням базисного UI для відповідної групи компонентів з обробки даних медико-біологічних об'єктів. Передбачається, що графічний інтерфейс користувача розроблений засобами JavaScript та HTML та буде комунікувати з основними обробниками за допомогою REST API та сокетів. Узагальнену схему даної групи представлено на рис. 1.

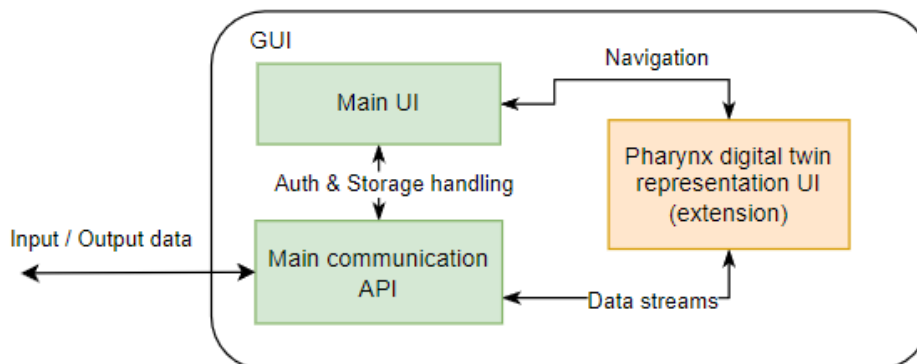


Рисунок 1 - Архітектура модулю графічного інтерфейсу

Друга група компонентів відповідає за обробку узагальнених даних для побудови цифрового двійника, а в окремих випадках і усіх мультимедійних даних, отриманих у реальному часі. Для їхнього зберігання рекомендується використовувати базу даних PostgreSQL, як одну з найбільш придатних для зберігання темпоральних даних [6].

Третя група компонентів відповідає за обробку та аналіз медичних даних для створення уніфікованого потоку даних з метою їх подальшого використання у створенні цифрових двійників. Результатом роботи даної частини архітектури є потік уніфікованих даних, які будуть придатні для аналізу та отримання з них відповідних метрик. Для підвищення відсотку перевикористання коду рекомендується створювати нові модулі обробки за допомогою шаблону “Прототип”. Узагальнену схему цієї групи представлено на рис. 2.

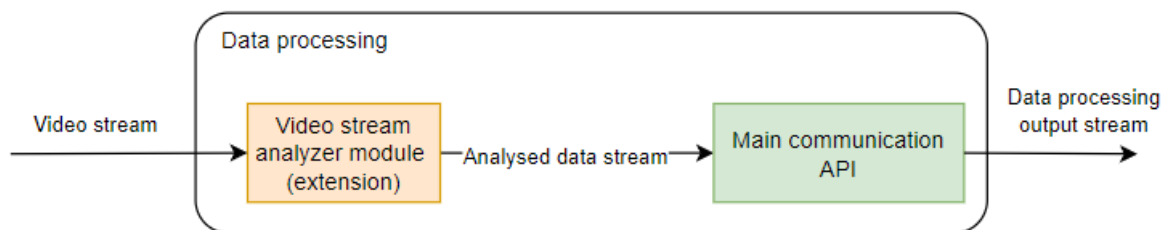


Рисунок 2 - Архітектура модулю обробки даних

Четверта група компонентів відповідає за аналіз та обробку медичних даних для побудови цифрового двійника пацієнта, а саме, виявлення аномалій, патологій та інших важливих характеристик на основі отриманих даних, а також за генерацію цифрового двійника медико-біологічного об'єкта пацієнта. Основна ідея функціонування цього модулю полягає у тому, що він надає основу функціональності та комунікації з іншими модулями, які потім розширюються за рахунок додаткових функціональних можливостей. Гнучкість реалізації досягається використанням шаблонів проектування “Адаптер” та “Фасад”, які забезпечать зручний та зрозумілий базовий інтерфейс для взаємодії з будь-якою новою базою для двійника медико-біологічного об'єкту та потоком даних. Дотримання цих рекомендацій та застосування відповідних шаблонів проектування допоможе створити модуль аналізу та побудови цифрового двійника, який буде гнучким, ефективним та забезпечить високу якість аналізу медичних даних у проекті. Узагальнену схему цієї групи компонентів представлено на рис. 3.

Слід зазначити, що четверта та третя група тісно пов'язані, однак для полегшення розширення системи та внесення модифікацій до системи рекомендується їх розділити через те, що навіть різні галузі медицини використовують однакові принципи отримання потоку мультимодальних даних; прикладом цього може слугувати схожість пристроїв для отримання відеоданих у гастроентерології та оториноларингології [7]. Таким чином, забезпечується додаткова гнучкість пропонованої архітектури.

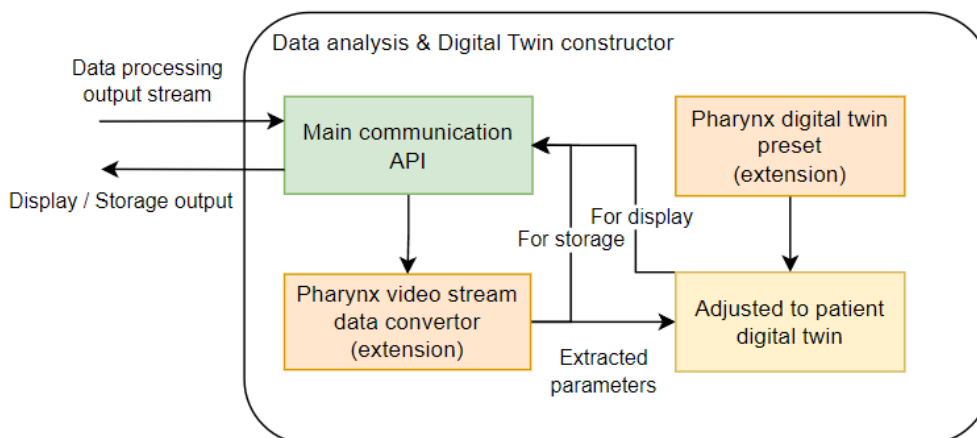


Рисунок 3 - Архітектура створення цифрових двійників

П'ята група компонентів відповідає за логування усіх дій системи та запис сесій користувачів. Також через розширення цієї частини системи можлива подальша інтеграція з іншими медичними системами.

Усі вищезазначені групи пропонується розроблювати мовою Python зі вставками коду C/C++ у разі необхідності роботи зі специфічними пристроями вводу [8]. Такий підхід дозволяє поєднати легкість розроблення та ефективність мови Python з можливостями оптимізованого виконання мови C для виконання задач з підвищеними вимогами щодо рівня оптимізації. Це особливо корисно у ситуаціях, коли потрібна висока швидкість обробки даних. Все вищезазначене робить обрані інструменти розроблення доцільними для запропонованої архітектури. Узагальнену архітектуру системи представлено на рис. 4.

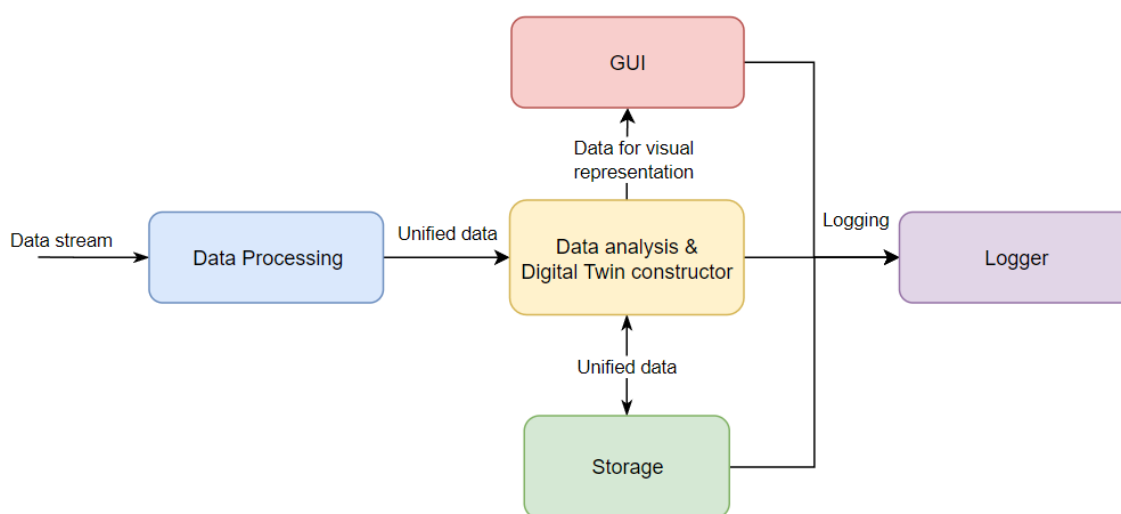


Рисунок 4 - Узагальнена архітектура програмної системи для створення двійників медико-біологічних об'єктів

Висновки. Запропоновано нову універсальну архітектуру програмної системи програмної системи, призначеної для створення цифрових двійників медико-біологічних об'єктів, що дозволяє легко масштабувати та підтримувати систему, оскільки всі реалізації модулів реалізовані окремо та інкапсульовані. Практична цінність цього підходу полягає у забезпеченні можливості використання методів та алгоритмів штучного інтелекту для аналізу медичних даних, а також у можливості побудови цифрових двійників медико-біологічних об'єктів із забезпеченням масштабування програмної системи за потреби. Це створює нові можливості для більш точної діагностики та індивідуального підходу до лікування. Крім того, система забезпечує високий рівень безпеки та контролю завдяки модулю логування, що дозволяє відстежувати події та забезпечувати аудит доступу до даних. Це важливий аспект у медичній галузі, де конфіденційність та захист інформації мають вирішальне значення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Björnsson, B., Borrebaeck, C., Elander, N., Gasslander, T., Gawel, D.R., Gustafsson, M., Jörnsten, R., Lee, E.J., Li, X., Lilja, S. and Martínez-Enguita, D., 2020. Digital twins to personalize medicine. *Genome medicine*, 12, pp.1-4.
2. Benson, M., 2023. Digital Twins for Predictive, Preventive Personalized, and Participatory Treatment of Immune-Mediated Diseases. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 43(3), pp.410-416.
3. Eva, G., Liese, G., Stephanie, B., Petr, H., Leslie, M., Roel, V., Martine, V., Sergi, B., Mette, H., Sarah, J. and Laura, R.M., 2022. Position paper on management of personal data in environment and health research in Europe. *Environment international*, 165, p.107334.
4. Ihler, F. and Canis, M., 2019. The Role of the Internet for Healthcare Information in Otorhinolaryngology. *Laryngo-Rhino-Otologie*, 98(S 01), pp.S290-S333.
5. Li, S., Zhang, H., Jia, Z., Zhong, C., Zhang, C., Shan, Z., Shen, J. and Babar, M.A., 2021. Understanding and addressing quality attributes of microservices architecture: A Systematic literature review. *Information and software technology*, 131, p.106449.
6. Makris, A., Tserpes, K., Spiliopoulos, G. and Anagnostopoulos, D., 2019, March. Performance Evaluation of MongoDB and PostgreSQL for Spatio-temporal Data. In *EDBT/ICDT Workshops*.
7. Papa, A., Mital, M., Pisano, P. and Del Giudice, M., 2020. E-health and wellbeing monitoring using smart healthcare devices: An empirical investigation. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, p.119226.
8. Luther, A.C., 1990. *Digital video in the PC environment*. McGraw-Hill, Inc.

REFERENCES

1. Björnsson, B., Borrebaeck, C., Elander, N., Gasslander, T., Gawel, D.R., Gustafsson, M., Jörnsten, R., Lee, E.J., Li, X., Lilja, S. and Martínez-Enguita, D., 2020. Digital twins to personalize medicine. *Genome medicine*, 12, pp.1-4.
2. Benson, M., 2023. Digital Twins for Predictive, Preventive Personalized, and Participatory Treatment of Immune-Mediated Diseases. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 43(3), pp.410-416.
3. Eva, G., Liese, G., Stephanie, B., Petr, H., Leslie, M., Roel, V., Martine, V., Sergi, B., Mette, H., Sarah, J. and Laura, R.M., 2022. Position paper on management of personal data in environment and health research in Europe. *Environment international*, 165, p.107334.
4. Ihler, F. and Canis, M., 2019. The Role of the Internet for Healthcare Information in Otorhinolaryngology. *Laryngo-Rhino-Otologie*, 98(S 01), pp.S290-S333.
5. Li, S., Zhang, H., Jia, Z., Zhong, C., Zhang, C., Shan, Z., Shen, J. and Babar, M.A., 2021. Understanding and addressing quality attributes of microservices architecture: A Systematic literature review. *Information and software technology*, 131, p.106449.
6. Makris, A., Tserpes, K., Spiliopoulos, G. and Anagnostopoulos, D., 2019, March. Performance Evaluation of MongoDB and PostgreSQL for Spatio-temporal Data. In *EDBT/ICDT Workshops*.
7. Papa, A., Mital, M., Pisano, P. and Del Giudice, M., 2020. E-health and wellbeing monitoring using smart healthcare devices: An empirical investigation. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, p.119226.
8. Luther, A.C., 1990. *Digital video in the PC environment*. McGraw-Hill, Inc.

Received 25.10.2023.

Accepted 28.10.2023.

Design of software system architecture for medical-biological objects digital twins creating

The paper introduces an innovative and universal object-oriented architecture specifically tailored for the creation of digital twins pertaining to medico-biological entities, with otolaryngology serving as the primary exemplar. The very essence of this architecture is its profound utilization of polymorphism. By capitalizing on this technique, the architecture offers a substantial reduction in the workload and complexity software developers might face when there's a necessity to adapt or modify the system for alternative medical specializations.

The genesis of this architecture stems from a recognized need to establish a more modular and adaptable framework that can cater to the rapidly evolving landscape of medical technology and digital twinning. As the medical realm continues to burgeon,

having such a flexible and scalable software blueprint becomes paramount, especially when aiming to maintain relevance and efficacy in diverse medical sectors.

The paper offers a comprehensive breakdown of the various component groups that constitute the system. Each group is dissected to provide clarity on its function, importance, and integration with the broader system. This hierarchical and systematic representation ensures that software developers, medical researchers, and other stakeholders have a clear roadmap when engaging with the architecture.

In summation, this research stands as a pivotal contribution to the intersection of medical technology and software development. By providing a robust and adaptable architectural blueprint for digital twinning in the medico-biological domain, it paves the way for future innovations and ensures that the medical community can harness the power of digital replication with increased accuracy, efficiency, and versatility.

Песчанський Владислав Юрійович – аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ.

Сулєма Євгенія Станіславівна – д-р техн. наук, доцент, завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ.

Vladyslav Peschanskii – Post-Graduate Student of Computer Systems Software Department National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv.

Yevgeniya Sulema – DSc, Associate Professor, Head of Computer Systems Software Department. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv.