

УДК 004:62-52:004.03

Комлева Н.О.

Одеський національний політехнічний університет

Комлева О.О.

Одеський національний політехнічний університет

Комлева Г.О.

Одеський національний політехнічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ WEB-ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МЕДИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ

У роботі розглядаються особливості проектування web-застосування *DiaSpectrEx*, яке призначене для автоматизації проведення медичного діагностування дихальної системи людини. *DiaSpectrEx* використовує інноваційну медичну методику, що дає змогу зробити процес діагностики безпечним для всіх категорій обстежуваних. Висока точність результатів досягається завдяки використанню сукупності діагностичних класифікаторів: «нейромережа», «статистичний класифікатор», «метод *k*-найближчих сусідів». Розглянуто архітектурні особливості web-застосування *DiaSpectrEx* і наведено ключові UML-діаграми. Формалізовано умови застосування діагностичних класифікаторів.

Ключові слова: діагностування, проектування web-застосування, класифікація, нейромережа, статистичні методи, UML-діаграми.

Постановка проблеми. Застосування інформаційних технологій у сфері медичного діагностування дає змогу покращити якість сервісу, скоротити час обстеження, збільшити точність діагностики, проводити віддалені обстеження, прискорити аналіз та обробку первинної інформації. Крім того, до медичної інформації може бути отриманий доступ практично з будь-якої точки земної кулі, що є важливим аспектом у багатьох випадках як для лікаря, так і для пацієнта.

У роботі розглядаються особливості проектування web-застосування *DiaSpectrEx*, яке призначене для автоматизації проведення медичного діагностування дихальної системи людини на основі аналізу складу конденсату видихуваного повітря [1, с. 65]. У ході процесу діагностики інформація про пацієнта вводиться в систему, обробляється, аналізується і зберігається в базі даних. Застосування цього підходу забезпечує доступність, високу точність і безпеку проведеної діагностики. Для аналізу спектрограми конденсату вологи видихуваного повітря web-застосування *DiaSpectrEx* використовує оригінальне діагностичне обладнання.

Для діагностики стану дихальної системи людини можна застосовувати три класифікаційні підходи: перший оснований на використанні нейронної мережі, другий – на основі статистичних методів, а третій використовує метод

k-найближчих сусідів [2, с. 98; 3, с. 43]. Нейрона мережа є найголовнішим і найточнішим засобом визначення належності пацієнта до тієї чи іншої діагностичної групи. Але вона має декілька обмежень: потребує якнайбільше даних для спроможності ефективно класифікувати вхідні дані, процес навчання мережі може вимагати занадто великої кількості часу. Тому вирішено використовувати допоміжні методи класифікації, які базуються на статистичному аналізі даних. Статистика в медицині є одним із інструментів аналізу експериментальних даних і клінічних спостережень, а також мовою, за допомогою якої повідомляються отримані математичні результати. Крім того, математичний апарат широко застосовується в діагностичних цілях і вирішенні класифікаційних завдань [4, с. 250; 5, с. 54; 6, с. 117].

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення якості медичного діагностування з використанням спеціалізованого програмно-апаратного web-застосування завдяки автоматизації виконання ключових етапів діагностичного процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для формалізації вимог до розроблюваної діагностичної системи *DiaSpectrEx* проведено збирання та аналіз інформації на основі документів «Бачення», сформованих майбутніми користувачами системи. Користувачів системи доцільно розбити на такі категорії:

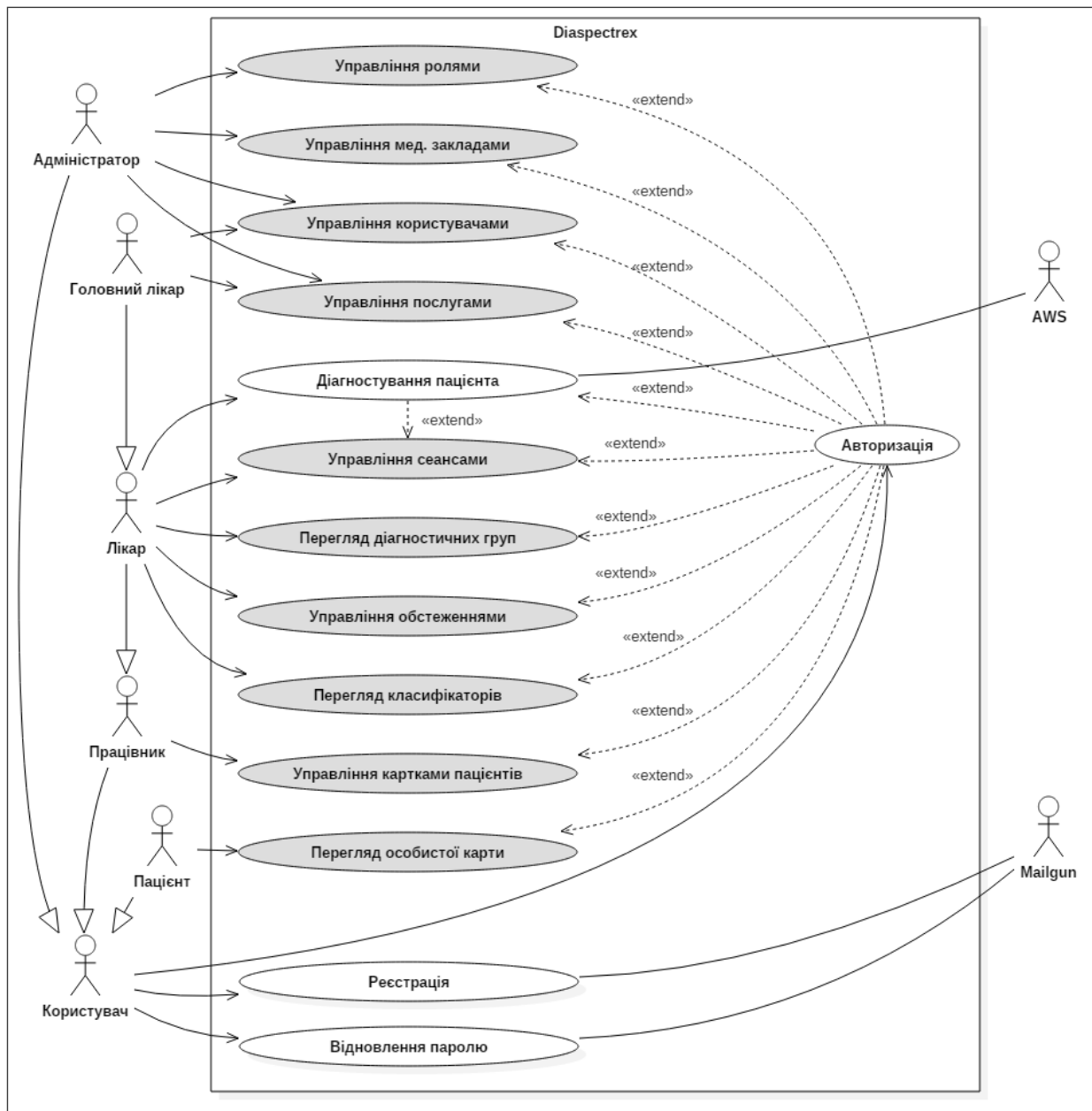


Рис. 1. Діаграма варіантів використання системи DiaSpectrEx

– «Пацієнт» – обстежуваний, у якого в процесі діагностування ідентифікується стан дихальної системи; він повинен мати можливість перегляду особистої картки;

– «Працівник» – особа, яка виконує заходи щодо роботи з картками пацієнтів;

– «Лікар» – особа, яка виконує заходи щодо проведення обстежень і сеансів, а також безпосереднього діагностування пацієнта з використанням класифікаторів «нейромережа», «статистичний класифікатор», «метод k-найближчих сусідів» і за допомогою сервісів AWS – Amazon Web Services. Може виконувати ті самі дії, що й особа, зарахована до категорії «Працівник»;

– «Головний лікар» – особа, яка виконує заходи щодо управління послугами, що надаються, і користувачами, які є працівниками медичного закладу. Може виконувати ті самі дії, що й особа, зарахована до категорії «Лікар»;

– «Адміністратор» – особа, яка виконує заходи щодо управління ролями в системі, тобто, по суті, відповідає за розмежування прав доступу, управління медичними закладами й послугами, а також користувачами;

– «Користувач» – це категорія, що введена для групування загальних для всіх інших категорій можливостей, а саме реєстрації, авторизації та відновлення пароля за допомогою незалежного

сервісу MailGun. Усі вищеперелічені категорії мають ці можливості.

Варто зазначити, що права щодо виконання тих чи інших дій у системі суворо розділені.

Розглянемо основні функціональні вимоги, що висуваються до розробленої системи діагностики [7, с. 75; 8, с. 55]. Формально опис функціональності й поведінки DiaSpectrEx наведено на рисунку 1.

Виходячи з того, що діагностична система є web-застосуванням, перевірка даних на повноту й цілісність і їх валідація відбуваються як на боці клієнта, так і на боці сервера задля підвищення ступеня захисту даних.

Так як розроблювальний програмний продукт призначений для використання медичними працівниками, які володіють обчислювальною технікою на рівні користувача, то він повинен мати простий, зручний і зрозумілий користувацький інтерфейс. Для зручності інтерфейс має бути адаптивним, тобто зручним для використання на різних девайсах: планшетах, смартфонах, ноутбуках, настільних ПК тощо.

Як матеріал для досліджень узято дані за трьома непересічними групами пацієнтів, кожен із яких пройшов попереднє пульмонологічне обстеження. Проміжні результати обстеження кожного пацієнта представлені вектором із 32 ознак, що характеризують стан дихальної системи [9, с. 102]. Значення ознак є кількісними величинами, вимірними на безперервній шкалі. Угрупування пацієнтів проведено апріорно на підставі медичних рекомендацій, заснованих на стандартних діагностичних методах; кількість пацієнтів у групах різна.

У системі представлено такі види класифікаторів: «нейромережа», «статистичний класифікатор», «метод k-найближчих сусідів» [10, с. 35]. Але лікарю не завжди доступні всі три види: перед кожним діагностуванням проводиться аналіз наявних класифікаторів, і тільки ті класифікатори, що відповідають висунутим до них вимогам, можуть бути використані для оцінювання результатів первинного аналізу дихальної системи пацієнта [11, с. 78; 12, с. 106].

Для визначення можливості застосування класифікаторів необхідно перевірити таке:

- штучну нейронну мережу:
 - зв'язок із сервісами AWS і валідність ключа клієнта;
 - доступність нейронної мережі для всіх необхідних діагностичних груп;
 - перевищення точності кожної нейронної мережі встановленого порогового значення (обрано 90%);

- дискримінантний аналіз:
 - наявність конфігураційних налаштувань для дискримінантного аналізу;
 - наявність конфігураційних налаштувань для всіх необхідних діагностичних груп;
 - наявність коректно розрахованих для кожної діагностичної групи констант, коефіцієнтів та обраних змінних;
 - наявність значення класифікуючої функції для кожної групи;
- метод k-найближчих сусідів:
 - наявність у системі файлу, що створюється після тренування відповідного класифікатора й містить серіалізований об'єкт разом із навчальними даними.

Якщо дозволяється використовувати нейронну мережу, вона є найпріоритетнішим класифікатором завдяки найвищій точності діагностування – близько 95%.

З метою підвищення точності діагностування враховуються персональні дані пацієнта згідно з рубрикаторм обстеження (далі – PO). PO враховує вид захворювання пацієнта, його стать, спосіб життя, вік, наявність звички до паління, сезон, у якому проводиться обстеження, час доби, коли проводиться обстеження, наявність фізичного навантаження. Отже, PO містить умови проведення експерименту й формалізовані персональні дані про обстежуваного. Шаблон рубрикатора має такий вигляд:

$$PO = \langle k_0 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6 k_7 k_8 \rangle,$$

де $k_0 k_1$ – код апріорно відомого хронічного захворювання або групи захворювань ($k_0 k_1 = 00$ – здоровий); k_2 – стать (0 – чоловіча, 1 – жіноча); k_3 – наявність спортивного способу життя (0 – не займається спортом, 1 – займається); k_4 – вік (0 – до 14 років, 1 – з 14 до 25 років, 2 – з 25 до 40 років, 3 – з 40 до 65 років, 4 – старший за 65 років); k_5 – наявність звички до паління (0 – не палить, 1 – палить); k_6 – сезон (0 – літо, 1 – осінь, 2 – зима, 3 – весна); k_7 – час доби (0 – ранок, 1 – день, 2 – вечір); k_8 – наявність фізичного навантаження (0 – до навантаження, 1 – після навантаження).

Оскільки програмна система DiaSpectrEx має багату кількість користувачів, що працюють з однією базою даних програмної системи, є необхідність виконати її декомпозицію згідно з клієнт-серверною архітектурою. Для цього необхідно структурувати систему на належну кількість ярусів і розмістити їх один над одним. Основою системи є найнижчий ярус (Layer 1). Під час роботи йде просування вгору від ярусу J-1 до ярусу J,

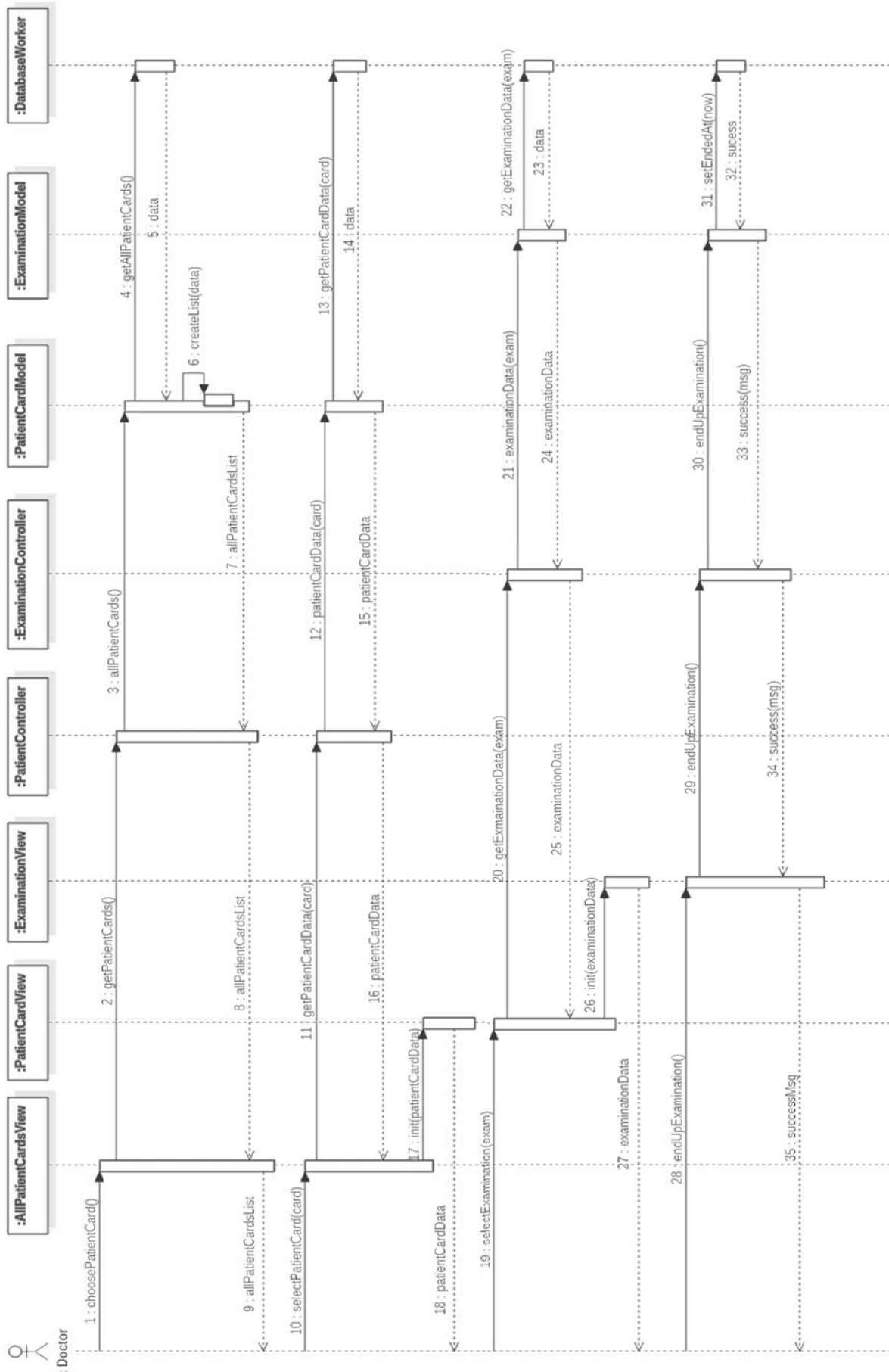


Рис. 2. Діаграма послідовностей прееденту «Управління обстеженням»

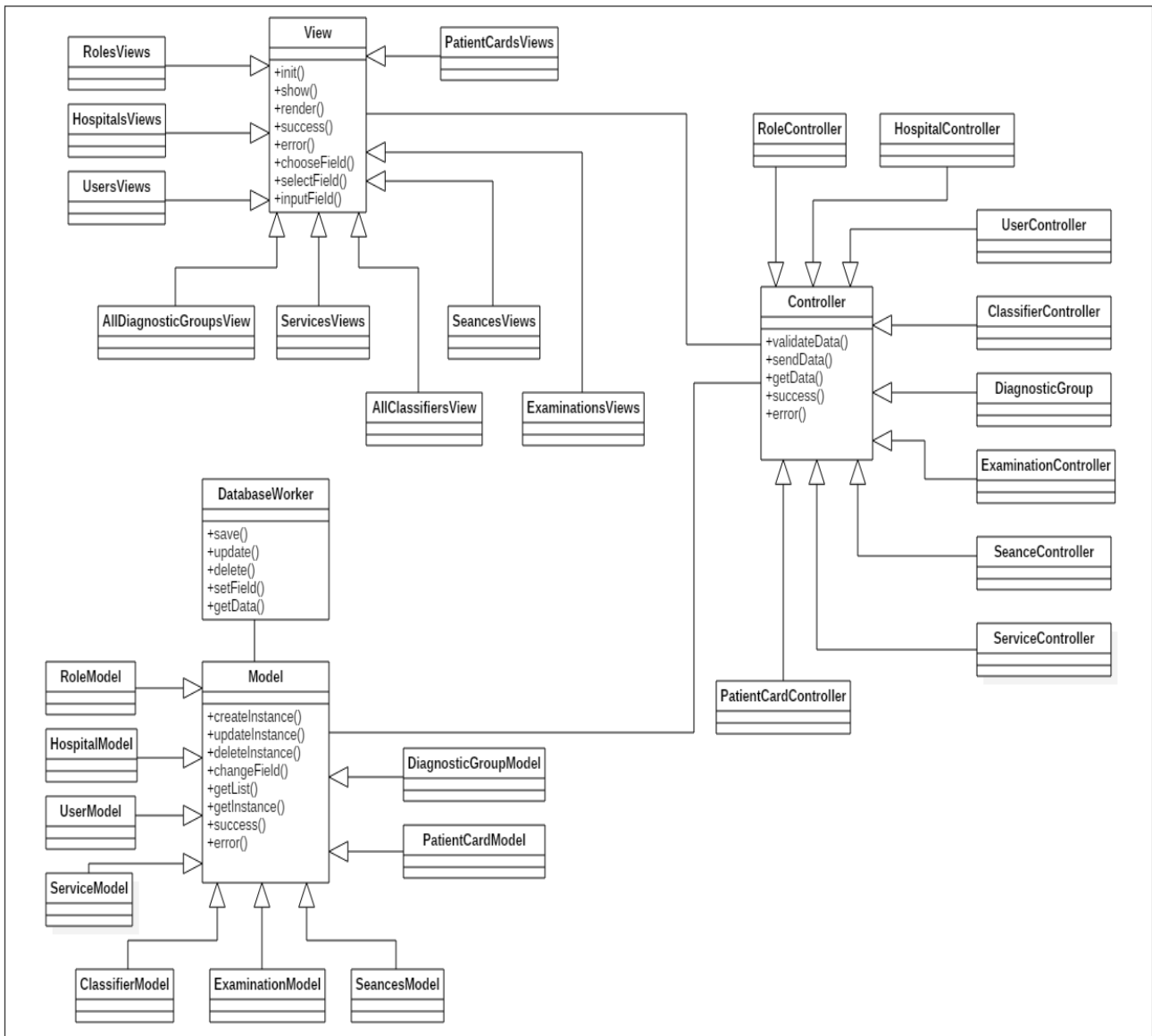


Рис. 3. Діаграма класів

доки не буде досягнуто верхнього рівня функціональності (Layer N).

Отримаємо такі яруси:

- ярус інтерфейсу користувача (відповідає за прийом запитів від користувача й демонстрацію йому результатів роботи програмної системи);
- ярус подання даних (виконує відправку даних і запитів клієнта на сервер, отримані результати передає інтерфейсу користувача);
- ярус сервера (приймає запити від ярусу подання даних, передає їх ярусу застосування логіки; отримані результати передає в ярус подання даних);
- ярус застосування логіки (відповідає за обробку даних, отриманих від ярусу сервера, на рівні бізнес-логіки програмного продукту, передачу йому результатів обробки).

Яруси розміщені один над одним. Основою системи є найнижчий ярус – ярус застосування логіки. Клієнт використовує ярус інтерфейсу користувача. Послуги кожного іншого ярусу використовує лише ярус, що знаходиться безпосередньо над ним.

У цьому випадку буде використана різновидність шаблону «Яруси» – клієнт-серверна архітектура. Архітектура клієнт-сервер є одним із архітектурних шаблонів програмного забезпечення, домінуючою концепцією у створенні розподілених мережових відношень і передбачає взаємодію та обмін даними між ними. Вона передбачає такі основні компоненти: набір серверів, які надають інформацію або інші послуги програмам, що звертаються до них; набір клієнтів, які використовують сервіси, що надаються

серверами; мережа, яка забезпечує взаємодію між клієнтами та серверами. Сервери є незалежними один від одного. Клієнти також функціонують паралельно й незалежно один від одного. Немає жорсткої прив'язки клієнтів до серверів. Більш ніж типовою є ситуація, коли один сервер одночасно обробляє запити від різних клієнтів; з іншого боку, клієнт може звертатися то до одного сервера, то до іншого. Клієнти мають знати про доступні сервери, але можуть не мати жодного уявлення про існування інших клієнтів. Ця система має тонкого клієнта, оскільки вся обробка інформації здійснюється сервером. Сервер посилає готовий результат, який не потребує додаткової обробки. Клієнт тільки веде діалог з користувачем: складає запит, відсилає запит, приймає запит і виводить інформацію на екран. Шаблон «Яруси» має декілька переваг: можливість повторного використання та швидкого внесення змін. Проте шаблон має й низку недоліків: каскади зміни поведінки (зміни в одному ярусі можуть спровокувати зміни в інших), низка ефективності (багаторівнева архітектура, як правило, є менш ефективною, ніж монолітна структура), непотрібні роботи (деякі сервіси, які виконуються в нижніх ярусах, дублюються, що може фактично не бути потрібно, це негативно впливає на продуктивність).

На рисунку 2 подано діаграму послідовностей для одного з найбільш важливих процесів – «Управління обстеженням».

Діаграма класів (рисунк 3) дещо нагадує шаблон проектування MVC і є більш доречним варіантом для створення програмного коду цієї системи.

Користувацький інтерфейс програмного продукту відображається у класах, що наслідують клас View. Класи інтерфейсу взаємодіють з класами контролерів відповідних сутностей, які є посередниками між відображенням і даними. Усі класи контролерів наслідують клас Controller. На діаграмі зображено класи моделей сутностей системи, які наслідують клас Model. Клас Model взаємодіє з класом DatabaseWorker, який проводить безпосередні операції з базою даних: додавання записів, їх оновлення та видалення.

Висновки. У роботі розглянуто особливості проектування автоматизованої системи пульмонологічного діагностування DiaSpectrEx. Наведено умови застосування діагностичних класифікаторів: «нейромережа», «статистичний класифікатор», «метод k-найближчих сусідів», комплексне використання яких показало високу точність і стабільність роботи web-застосування.

Під час розробки системи обрана архітектура системи «клієнт-сервер», що дало змогу розподілити бізнес-логіку програми і зняти навантаження із серверу. Програмною мовою серверу обрана PHP з використанням фреймворку Laravel для чіткої структуризації програмного коду серверу, програмною мовою клієнта – JavaScript у зв'язці з Vue.js. Також система тісно інтегрує з хмаровими сервісами Amazon Web Services.

Розроблюваний програмний продукт дає можливість автоматизувати процес роботи з медичними даними, які описують стан дихальної системи людини, і зробити процес діагностики більш легким і наочним.

Список літератури:

1. Cherniha K.S., Tymchenko B.I., Komleva N.O. Decision support System for Automated Medical Diagnostics. *Electrotechnic and Computer Systems*. 2016. No. 23(99). P. 65–72.
2. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. Москва, 2009. 215 с.
3. Касюк С.Т. Первинний, кластерний, регресійний і дискримінантний аналіз даних спортивної медицини на комп'ютері: навч.-метод. посібник. Челябінськ, 2015. 160 с.
4. Комлева Н.О. Построение системы диагностических признаков с использованием метода дискриминантного анализа в офтальмологических исследованиях. *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. 2010. Вип. 6 (47). С. 250–253.
5. Юнкеров В.І., Григор'єв С.Г. Математико-статистична обробка даних медичних досліджень. Санкт-Петербург, 2002. 266 с.
6. Крянев А.В., Лукін Г.В., Удумян Д.К. Метричний аналіз і обробка даних. Москва, 2012. 308 с.
7. Комлева Н.О., Комлевой О.М. Розробка інформаційної моделі діагностування стану дихальної системи. *Холодильна техніка і технологія*. 2011. Вип. 2 (130). С. 75–79.
8. Комлевая Н.О., Комлевой А.Н. Автоматизация диагностирования состояния дыхательной системы. *Труды тринадцатой МНПК «СИЭТ-2012»*. Одесса, 2012. С. 55.
9. Комлевой О.М. Построение классификатора для диагностики состояния бронхо-легочной системы с использованием специализированной программы STATISTICA. *Труды конференции «Медицина в XXI веке: Тенденции и перспективы»*. Казань, 2014. Т. 1. С. 102–104.

10. Плеханов А.В. Математико-статистичні методи обробки інформації з застосуванням програми SPSS: практикум. Санкт-Петербург, 2010. 96 с.
11. Кулаічев А.П. Методи і засоби аналізу даних в середовищі Windows. STADIA. Москва, 2009. 341 с.
12. Боровіков В.П. Популярне введення в сучасний аналіз даних в системі STATISTICA. Москва, 2013. 288 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МЕДИЦИНСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В работе рассматриваются особенности проектирования web-приложения DiaSpectrEx, предназначенного для автоматизации проведения медицинского диагностирования дыхательной системы человека. DiaSpectrEx использует инновационную медицинскую методику, позволяющую сделать процесс диагностики безопасным для всех категорий обследуемых. Высокая точность результатов достигается благодаря использованию совокупности диагностических классификаторов: «нейросеть», «статистический классификатор», «метод k-ближайших соседей». Рассмотрены архитектурные особенности web-приложения DiaSpectrEx и приведены ключевые UML-диаграммы. Формализованы условия применения диагностических классификаторов.

Ключевые слова: диагностирование, проектирование web-приложения, классификация, нейросеть, статистические методы, UML-диаграммы.

FEATURES OF WEB-APPLICATION ENGINEERING FOR AUTOMATED MEDICAL DIAGNOSTICS

In this article, the features of engineering of web-application DiaSpectrEx are examined. DiaSpectrEx is intended for automating of medical diagnosis of the human respiratory system. DiaSpectrEx uses an innovative medical technique that makes it possible to do the diagnostic process safe for all categories of patients. High accuracy of results is achieved due to the use of a set of diagnostic classifiers: “neural network”, “statistical classifier”, “k-nearest neighbours” method. In this paper, the architectural features of the web-application DiaSpectrEx are examined and main UML diagrams are presented. The conditions of diagnostic classifiers using are formalized.

Key words: diagnostics, web-application engineering, classification, neural network, statistical methods, UML-diagrams.