МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара

ISSN 2312-119X

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ТОМ 23

Збірник наукових праць

Дніпро
ДНУ
2019

УДК 519.689:519.254

Описано задачі автоматизованої обробки даних, інформаційну технологію сучасних обчислювальних процедур більш адекватного відображення експериментальних даних у системах моніторингу. Досліджено обчислювальні процедури, які застосовані у системах прийняття рішень, прикладні задачі інформаційних технологій.

Для науковців, аспірантів та фахівців у галузі інформатики.

А43 **Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій:** зб. наук. пр. / наук. ред. О. Г. Байбуз. Дніпро, 2019. Т. 23. 116 с.
ISSN 2312-119X

УДК 519.689:519.254

The problems of automated data processing, information technology of modern computational procedures for more adequate mapping of experimental data in monitoring systems are described. The computational procedures, which are applied in GIS systems and decision making, as well as applied problems of information technologies are considered.

For researchers, graduate students and specialists in the field of computer science.

A43 **Actual problems automation and information technologies:** collection of scientific papers / scientific editor O. Baybuz. Dnipro. 2019. Vol. 23. 116 p.
ISSN 2312-119X

UDC 519.689:519.254

Свідоцтво про державну реєстрацію засобу масової інформації
серія КВ № 23161-13001 ПР від 05.01.18
Рекомендовано вченою радою Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара, протокол № 7 від 20.12.2018

Науковий редактор
доктор технічних наук, професор **О. Г. Байбуз**
Редакційна колегія:
д-р техн. наук, проф. **Володимир Володимирович Гнатушенко** (заст. від. ред.); д-р техн. наук, доц. **Вікторія Володимирівна Гнатушенко**; д-р фіз.-мат. наук, доц. **Л. Л. Гарт**; д-р фіз.-мат. наук, проф. **В. Г. Дейнеко**, PhD **О. Б. Блюсс**; канд. техн. наук **І. В. Мозгова,** д-р фіз.-мат. наук, проф. **Шинкаренко В. І.,** д-р техн. наук, проф. **Гуда А. І.,** канд. техн. наук, доц. **Луценко О. П.** (відп. секр.)

© Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, 2019
© Автори статей, 2019

УДК 004.4

А. Г. Батурінець, С. В. Антоненко

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ОГЛЯД ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ГІДРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ

Розглянуто програмні засоби для аналізу, моделювання та візуалізації гідрологічних даних. Представлено огляд основних можливостей комерційних програмних продуктів та програмних засобів з відкритим вихідним кодом. Визначено особливості використання проектів з відкритим вихідним кодом при створенні програмних засобів.

Ключові слова: *візуалізація даних, аналіз гідрологічних даних, ГІС, GRASS, QGIS, SAGA, ESRI.*

Рассмотрены программные средства для анализа, моделирования и визуализации гидрологических данных. Представлен обзор основных возможностей коммерческих программных продуктов и программных продуктов с открытым исходным кодом. Определены возможности использования проектов с открытым исходным кодом при создании программных средств.

Ключевые слова: *визуализация данных, анализ гидрологических данных, ГИС, GRASS, QGIS, SAGA, ESRI.*

The use of various software tools, including geoinformation technologies, in modern hydrological research is due to the large volumes of spatial information used, the complexity, specifics of its processing, analysis and visualization. The main goal of the work is to review the software tools and their capabilities in conducting hydrological studies. Not only commercial software tools are considered in this paper, but also so-called OpenSource projects, which in one way or another provide solutions to hydrological tasks. In the analysis of literature, the authors of the article are considering works on application of existing software tools in hydrological research, as well as new, modern developments in this direction. The following commercial software products were considered: ESRI's product line (ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox), ESRI and Aquaveo's joint campaign development software package (Arc Hydro Groundwater, which includes Groundwater Analyst, Subsurface Analyst and MODFLOW Analyst), as well as company products MIKE powered by DHI (MIKE Hydro Basin, MIKE Hydro River, MIKE She, MIKE 21C). The following OpenSource projects are also considered: SAGA, GRASS, ILWIS, QGIS, GvSIG, MAPWINDOW, Hydro Desktop. In addition to

© Батурінець А.Г., Антоненко С.В., 2019.

reviewing the main features of the listed software, the authors provide some comments on the features of the work of these tools. On the basis of the results of the review, conclusions were made about the disadvantages and advantages of using both commercial and OpenSource projects. The main variants of using the existing GIS for research are proposed, as well as a list of the main aspects that should be taken into account when choosing software tools distributed under a general public license. An assumption is made about the possibility of using GIS when creating a system for analyzing hydrological monitoring data.

Keywords: *data visualization, analysis of hydrological data, GIS, GRASS, QGIS, SAGA, ESRI.*

Вступ. Моніторинг та аналіз даних водних ресурсів є гострим питанням не тільки для України, а і загалом для світу. Питаннями розробки нових моделей та інструментальних засобів дослідження гідрологічних даних та процесів займається велика кількість компаній та дослідницьких інститутів у світі.

Зважаючи на кількість даних, що збираються відповідними установами для аналізу, та кількість чинників, що впливають на водні об'єкти, викликає необхідність використання профільного програмного забезпечення для моніторингу та аналізу отриманих даних. Зазвичай, розробляються вузькоспеціалізовані програмні засоби для розв'язання певної задачі, поставленої спеціалістами предметної області.

Окремим різновидом прикладного програмного забезпечення для аналізу та візуалізації даних для гідрогеологічних досліджень є так звані геоінформаційні системи (ГІС).

Аналіз літературних даних. Використання сучасних ГІС для аналізу гідрологічних даних та візуалізації отриманих результатів у контексті розв'язання різних задач було розглянуто, наприклад, у задачі визначення особливостей територіального розподілу річного стоку [1], побудови геостатистичних моделей оцінювання якості води у вигляді баз статистичних даних моніторингу поверхневих вод з використанням ArcGIS 9.2 [2], аналізу умов руслоформування з використанням ArcView 9.3 [3], використання ГІС технологій для побудови прогнозу повіні [4], використання SAGA для картографічного представлення чутливих до затоплення районів [5] та при визначенні гідрологічної шорсткості за допомогою дистанційного зондування ближнього діапазону [6].

Сучасні дослідження та розвиток ГІС інструментарію для розв'язання гідрологічних задач можна побачити в роботах [7–17].

Створення та впровадження українськими розробниками веб-

сервісу GIS DATA є одним з підтверджень актуальності теми розробки ГІС в Україні [18].

Постановка цілей статті. Основна мета роботи – здійснити аналітичний огляд існуючих програмних засобів для аналізу та візуалізації гідрологічних даних, виявити їх основні можливості та недоліки. Крім того, потрібно визначити основні аспекти використання існуючих програмних рішень у гідрологічних дослідженнях, зокрема проектів з відкритим вихідним кодом.

Основний матеріал. Загальноприйнятими способами візуалізації результатів аналізу будь-яких даних є: графіки, діаграми, таблиці тощо. Проте, зважаючи на специфіку досліджень у різних прикладних областях, зокрема в гідрологічних, не завжди зазначені способи опису результатів дають змогу швидко та якісно оцінити отримані результати.

Перелік типових задач гідрології досить великий, серед них можна виділити пошук річок-аналогів, розрахунок кривих забезпеченості та основних характеристик гідрологічних об’єктів, прогнозування показників та моделювання поведінки водних об’єктів тощо.

Все частіше в різних прикладних областях для аналізу та візуалізації результатів використовують ГІС технології.

ГІС призначені для збору та зберігання, обробки та аналізу, відображення і розповсюдження просторово-координованої інформації. Найбільш складні рішення включають в себе експертну підтримку і дозволяють отримувати обґрунтовані висновки, що необхідні для прийняття рішень відповідно до поставленої задачі. Кінцевим результатом роботи ГІС є відображення даних у вигляді карти чи графіка.

Використання програмних продуктів ГІС дає можливість у картографічному вигляді відображати дані спостережень та результати аналізу даних, моделювати технологічні та природні процеси тощо.

Слід також зазначити, що поряд з програмними засобами, що розповсюджуються на комерційній основі, є засоби з відкритим вихідним кодом, що є більш використовуваними завдяки як можливості використання вже готового рішення, так і розширення можливостей відповідно до поставленого завдання.

Розглянемо найбільш відомі програмні засоби, що забезпечують роботу з гідрологічними даними.

SAGA (Systemfor Automated Geoscientific Analyses) – переважними сторонами даної системи є наявність блоків для проведення розрахунків форм поверхні, освітлення, міграції речовин та енергії, а також наявність можливостей гідрологічного аналізу. В програмній

системі наявні бібліотеки геостатистичного аналізу, наприклад, Geostatistics-Regression для оцінювання взаємозв'язків з використанням регресійного аналізу, а також для гідрологічного моделювання – бібліотека Simulation-Hydrology, яка надає можливості симуляції поверхневого стоку, оцінки складу ґрунтової вологи, вивчення особливостей перерозподілу стоку в невеликих басейнах [19].

Окрім простих загальноприйнятих операцій обробки даних, програмна система SAGA включає актуальні підходи до аналізу даних, та частина модулів поєднує сучасні аналітичні алгоритми. Завдяки відкритості вихідного коду розширення системи можливе з використанням мови програмування Python та консольних скриптів.

Аналогами SAGA вважаються системи GRASS та ILWIS, оскільки саме вони вміщують більшість алгоритмів та функціональних можливостей просторового аналізу.

GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) – підтримує велику кількість форматів даних. Основними можливостями є управління даними, обробка зображень, аналітична та картографічна візуалізація, просторове моделювання. Має можливості гідрологічного аналізу, а для проведення геостатистичного аналізу можливе використання мови програмування R. Мови програмування для розширення можливостей – Shell, Bash, Python, Perl [21].

ILWIS (Integrated Land and Water Information System) має дуже потужні модулі растрового аналізу, інструменти класифікації, може поєднувати різні джерела даних, має можливості геостатистичного аналізу з використанням кригінгу для поліпшення результатів інтерполяції, розширені можливості моделювання та аналізу просторових даних, а також можливості інтерактивної візуалізації просторових часових даних. Мови програмування для розширення можливостей – власна скриптова мова ILWIS [21].

В ILWIS не підтримується робота з базами даних та відсутні можливості читання або створення табличних даних, тобто система працює з растровими зображеннями та векторними даними, що дещо звужує можливості даної системи при вирішенні гідрологічних задач. З іншого боку, з розвитком технологій набирає популярності обробка супутникових знімків для вирішення задач не лише гідрології, а й інших прикладних областей. Суттєвим недоліком, на думку авторів, є також застосування власної мови програмування ILWIS ScriptingLanguage.

QGIS (QuantumGIS) – кросплатформна ГІС. QGIS пропонує

розширені можливості створення, перегляду та редагування карт, дослідження просторових геоданих, створення та редагування shape-файлів та векторних шарів GRASS, обробку шарів PostGIS, візуалізацію та редагування даних OpenStreetMap, використання інструментів аналізу, геопроцесингу, управління базами даних, можливості аналізувати векторні просторові дані, використовуючи модуль fTools [22].

Можливість використання інтегрованих інструментів GRASS, що включають функціональність більше ніж трьохсот модулів, робить QGIS потужним інструментом розв'язання гідрогеологічних задач. Завдяки розширюваній архітектурі QGIS та наявності бібліотек, що можуть використовуватися для створення модулів, є можливість адаптувати QGIS відповідно до потреб дослідження. Наявна можливість створення окремих застосунків з використанням мови програмування C++ або Python.

GvSIG – програмний засіб з можливостями використання локальних (файли, бази даних) та віддалених даних, роботи із шарами, що надає можливість відображення необхідних об'єктів, функції масштабування карти, автоматичний розрахунок відстаней, розміщення об'єктів на карті, можливість розширення функціональності з використанням мови програмування Python тощо [23].

Програмні продукти QGIS та gvSIG реалізують свій аналітичний потенціал через додаткові надбудови та вбирають у себе функціонал програмних систем GRASS/ SAGA/ ILWIS.

MAPWINDOW – безкоштовна ГІС, що включає декілька взаємопов'язаних проектів: MapWindow 4, MapWindow 5 та MapWinGIS, кожен з проектів розробляється окремою командою [24].

Hydro Desktop – безкоштовне програмне забезпечення для завантаження, візуалізації, редагування та інтеграції гідрологічних даних з іншими інструментами моделювання [25]. Використовує бібліотеку DotSpatial, написану мовою програмування C# для проведення аналізу даних. Взаємодіє з іншими проектами MAPWINDOW.

Використання перелічених програмних продуктів хоча і допомагає в розв'язанні певної кількості гідрологічних задач, проте, наприклад, для вирішення задач прогнозування певних характеристик водних об'єктів (окремих хімічних показників, рівнів води тощо) необхідно розширювати функціональні можливості, зазвичай з використанням мов програмування, що містять відповідні пакети для аналізу (наприклад, Python та R).

Достатньо популярним та потужним інструментом для гідрологічних досліджень є лінія програмних продуктів від компанії ESRI під загальною назвою ArcGIS [26].

Однією з програмних систем компанії ESRI є ArcGISDesktop. ArcGISDesktop – повнофункціональна, масштабована система, розроблена для широкого кола користувачів. Включає три взаємопов'язані базові застосунки: ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox.

ArcMap – базовий застосунок ArcGISDesktop. Використовується для всіх картографічних задач та включає створення та аналіз карт, редагування даних. В ArcMap наявні два способи відображення та роботи з картами: 1) у вигляді географічних даних та 2) у вигляді компоновки, що дає можливості розв'язання різноманітних ГІС задач. ArcCatalog призначений для структурування та управління даними, пошуку та перегляду географічних даних, створення та перегляду метаданих, тощо. Arc Toolbox – простий застосунок, що має інструменти обробки геоданих.

Програмні компоненти системи ArcGIS Desktop наявні у вигляді трьох програмних продуктів: ArcView, ArcEditor, ArcInfo, що надають можливість картографування та аналізу, інструменти простого редагування та геообробки. Завдяки взаємопов'язаності зазначених продуктів та спільній архітектурі є можливим обмін результатами роботи між будь-якими із вказаних продуктів. Можливості кожного з перелічених застосунків розширюються використанням додаткових модулей.

Комплекс перелічених продуктів компанії ERSI забезпечує розв'язання гідрологічних задач, здебільшого з використанням морфологічних (наприклад, довжина річки, коефіцієнт звивистості, коефіцієнт густоти річкової сітки) та морфометричних (наприклад, для водного перерізу річки – площа водного перерізу, ширина річки, середня і максимальна глибини тощо) характеристик водних об'єктів. Проте без додаткових модулів їх можливості обмежені, наприклад, щодо аналізу числових послідовностей даних, що відображають динаміку деяких процесів.

Arc Hydro Groundwater – спільна розробка компаній ESRI та Aquaveo. Arc Hydro Groundwater складається з трьох програмних застосунків: Groundwater Analyst, Subsurface Analyst та MODFLOW Analyst.

Groundwater Analyst – програмний застосунок з такими можливостями: імпорт різноманітних наборів даних (часові ряди, перерізи, об'єми тощо), візуалізація даних у вигляді карт чи графіків

часових рядів, карт рівнів або якості води, напрямків потоків, містить можливості обчислення статистичних показників часових рядів [27].

SubsurfaceAnalyst – застосунок, за допомогою якого реалізується створення та візуалізація тривимірних гідрологічних моделей, включає інструменти редагування даних про свердловини, засоби імпорту, створення й редагування тривимірних розрізів та об'ємів водних об'єктів [28].

MODFLOW Analyst – застосунок для створення, зберігання та відображення різних моделей водотоків у середовищі ArcGIS. Робота програмного модуля побудована на основі моделі даних MODFLOW. Включає можливості не лише візуалізації моделей, проведення аналізу вхідних та вихідних даних разом із іншими наборами даних, але й створення нових моделей з ГІС об'єктів [29].

Модуль Arc Hydro Groundwater Tools засновано на моделі даних ArcHydroGroundwater та створено для ефективної роботи з даними підземних вод у середовищі ArcGIS. Модель є логічним доповненням родинної моделі даних про поверхневі води.

Basic Toolkit – набір інструментальних засобів для імпорту даних у базу геоданих Arc Hydro, містить можливості управління ключовими атрибутами та візуалізації даних. Серед типів даних: джерела, часові ряді, розрізи, об'єми води тощо. Підтримує побудову карт та графіків, що включають дані з рівнями, показниками якості водних ресурсів та візуалізацію водних потоків. Набір інструментів BasicToolkit допомагає при роботі з даними підземних вод, при створенні карт рівнів та якості води, направлення її руху у водоносних пластах.

Arc Hydro Groundwater забезпечує роботу з часовими рядами, проте включає розв'язання далеко не всіх важливих гідрологічних задач, наприклад, визначення об'єктів-аналогів або прогнозування показників об'єктів не закладено в програмний комплекс тощо.

DHI (Dansk HYDRAULISK Institut, Інститут води та навколишнього середовища) є міжнародним консультантом фірм розробників програмного забезпечення гідравлічного та гідрологічного моделювання.

Temporal Analyst, розроблений DHI, є розширенням для зберігання, обробки, аналізу даних, забезпечує управління часовими рядами безпосередньо в ArcGis та динамічну обробку даних, моделювання та моніторинг.

Компанія MIKE при підтримці DHI розробляє спеціалізовані програмні продукти для аналізу гідрологічних даних та включає моделювання різноманітних процесів. Лінія програмних продуктів та

їх модулів забезпечує розв'язання великої кількості гідрологічних та гідрогеологічних задач. Серед програмних засобів компанії розглянуто такі: MIKE Hydro Basin, MIKE Hydro River, MIKE She, MIKE 21C.

MIKE Hydro Basin – програмний продукт на основі ГІС, призначений для аналізу, планування та управління водними ресурсами річних басейнів у рамках одного або декількох басейнів [30]. Серед основних можливостей – гідрологічне моделювання, включаючи метеорологічні умови та ґрунтові води, формування стоку водозборів, представлення результатів у графічному та табличному вигляді, експорт даних в інші застосунки тощо.

MIKE Hydro River – застосовується для розрахунків поверхневого стоку та аналізу систем річок різної складності [31]. Завдяки різноманітності модулів MIKE Hydro River є можливим розв'язання великої кількості гідрологічних задач, наприклад, прогнозування підтоплень, моделювання переносу та розповсюдження забруднюючих речовин та їх компонентів, розрахунки формування стоку, побудова різноманітних гідрологічних моделей тощо.

MIKE She (European hydrological system) – система моделювання поверхневих та ґрунтових вод [32]. Застосовується для аналізу, прогнозування та управління водними ресурсами, а також для рішення екологічних проблем при сумісному аналізі гідрологічних процесів підземних та поверхневих вод.

MIKE 21C застосовується у складних річних динаміках з упором на перенесення наносів та морфологію річок [33]. Серед задач, що підлягають розв'язанню з використанням програмного забезпечення, є аналіз стоків та динаміки паводків, проектування мереж моніторингу на основі морфологічного прогнозування тощо.

Комплекс програмних засобів, розроблених компанією MIKE при підтримці DHI, є дійсно потужним інструментом у рішенні гідрологічних задач, оскільки, окрім отримання базової комплектації відповідного програмного продукту, можлива інтеграція з іншими пакетами, розробленими компанією.

Незважаючи на велику функціональність зазначених програмних продуктів та можливість їх поєднання завдяки відкритості вихідного коду проектів, все ж для вирішення великої кількості гідрологічних задач необхідно доопрацювання, що, у свою чергу, вимагає спеціальних знань не тільки предметної області, а й навичок програмування.

Відповідно до зазначеного вище, розв'язання гідрологічних задач із залученням геоінформаційних технологій є можливим за такими схемами:

1. Використання готових ГІС, що мають можливості для розв'язання поставленої задачі та візуалізації результатів.

2. Використання програмних засобів для аналізу даних у поєднанні з ГІС для візуалізації результатів. Основною проблемою даного підходу, з якою може зіштовхнутися дослідник, є формати даних, що будуть створені в результаті використання програмних засобів для аналізу даних, та формати, необхідні для роботи з ГІС.

3. Використання можливостей існуючих проектів ГІС з відкритим вихідним кодом з метою розширення їх функціональних можливостей. Основною проблемою даного підходу є необхідність знань предметної області в поєднанні з навичками програмування.

При використанні програм або їх складових з метою створення програмного забезпечення для досліджень (будь-якої предметної області), що розповсюджуються під загальною публічною ліцензією, необхідно звернути увагу на таке:

- підтримуваність операційних систем та мов програмування;
- характеристики технічної бази;
- володіння навичками програмування підтримуваною мовою проекту;
- наявність, доступність та зрозумілість документаційної бази;
- наявність готових бібліотек, сумісних з обраним проектом, що надало б можливість спростити реалізацію;
- користувачі всіх похідних від неї програм теж отримають права загальної публічної ліцензії, тобто використання програм і компонентів з відкритим вихідним кодом для проектів, призначених для комерційного розповсюдження, ліцензія не допускає.

Основною проблемою комерційних ГІС є велика залежність від розробників, що в порівнянні з OpenSource проектами сповільнює їх розвиток, а також висока вартість ліцензій на використання. З іншого боку, комерційні ГІС мають більш стабільну підтримку програмного забезпечення, на відміну від OpenSource проектів.

У той же час основною перевагою OpenSource проектів можна назвати можливості повної їх модифікації, а до недоліків віднести можливі недоробки розробниками та слабку підтримку вихідного коду.

Висновки та перспективи подальшої роботи. Проведений аналіз літературних даних підтверджує доцільність використання

спеціалізованих програмних засобів та ГІС технологій в гідрологічних дослідженнях, а також актуальність розробок даного напряму.

Проведений огляд існуючих програмних рішень показав, що хоча ринок програмного забезпечення і дозволяє знайти необхідні інструменти, проте їх вузька орієнтованість та висока вартість підштовхують до використання деяких можливостей OpenSource проектів при реалізації програмної системи гідрологічного моніторингу.

Бібліографічні посилання

1. Ободовський О. Г., Лук'янець О. І., Коноваленко О. С., Корнієнко В. О. Середній річний водний стік річок Українських Карпат та особливості його територіального розподілу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. № 4. С. 25–32.

2. Зацерковний В. І., Плічко Л. В. Аналіз підходів щодо створення бази геоданих ГІС моніторингу якості поверхневих вод. *Наукоємні технології*. 2018. № 37.1. С. 114–124.

3. Пасічник М. Д. Аналіз місцевих умов руслоформування річки Черемош із застосуванням ГІС-інструментарію. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2011. Т. 4. С. 75–84.

4. Zelentsov V. A., Potryasaev S. A., Pimanov I. Y., Ponomarenko, M. R. Integrated use of gis, remote sensing data and a set of models for operational flood forecasting. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. Vol.: XLII-3/W8. 2019. P. 477–483.

5. Garcia-Rivero A. E., Olivera J., Salinas E., Yuli R. A., Bulege W. Use of Hydrogeomorphic Indexes in SAGA-GIS for the Characterization of Flooded Areas in Madre de Dios, Peru. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017. 12(19). P. 9078–9086.

6. Kaiser A., Neugirg F., Haas, F., Schmidt J., Becht M.,Schindewolf M. Determination of hydrological roughness by means of close range remote sensing. *Soil*. 2015. 1(2). P. 613–620.

7. Ng G. H., Wickert A. D., Somers L. D., Saberi L., Cronkite-Ratcliff C., Niswonger R. G., McKenzie J. M. GSFLOW–GRASS v1.0.0: GIS-enabled hydrologic modeling of coupled groundwater–surface-water systems. *Geoscientific Model Development*. 2018. 11(12). P. 4755–4777.

8. Агапова О. Картографічне моделювання гідроенергетичного потенціалу малих річок Харківської області з використанням ГІС-технологій. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії.* 2016. 23. С. 3–10.

9. Criollo R., Velasco V., Vazquez-Sune E., Serrano-Juan A., Alcaraz M., García-Gil A. An integrated GIS-based tool for aquifer test analysis *Environmental Earth Sciences*. 2016. 75(5). P. 391.

10. Slater L. J., Thirel G., Harrigan S., Delaigue O., Hurley A., Khouakhi A., Prosdocimi I., Vitolo C., Smith, K. Using R in hydrology: a review of recent developments and future directions. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2019. 23(7). P. 2939–2963.

11. Schürz C. Development of tools and interfaces for the implementation, pre-processing, and sensitivity analysis of the SWAT model in an R programming environment. 2019.

12. Bakker M., Post V., Langevin C. D., Hughes J. D., White J. T., Starn J. J., Fienen M. N. Scripting MODFLOW model development using python and FloPy. *Groundwater*. 2016. 54(5). P. 733–739.

13. Foglia L., Borsi I, Mehl S., De Filippis G., Cannata M., Vasquez-Sune E., Criollo R., Rossetto R. FREEWAT, a free and open source, GIS-integrated, hydrological modeling platform. *Groundwater*. 2018. 6(4). P. 521–523.

14. Haas J. C., Switanek M., Birk S. Analysis of hydrological data with correlation matrices: technical implementation and possible applications. *Environmental earth sciences.* 2018. 77(8). 310 p.

15. Cannata M., Neumann, J., Rossetto R. Open source GIS platform for water resource modelling: FREEWAT approach in the Lugano Lake. *Spatial Information Research*. 2018. 26(3). P. 241–251.

16. Tarboton D. G., Idaszak R., Horsburgh J. S., Ames D. P., Goodall J. L., Couch A., Yi, H. A Platform for Collaborative Data and Model Sharing in Hydrology. *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 2018. Vol. 20. P. 9834.

17. Roberts W., Williams G., Jackson E., Nelson E., Ames D. Hydrostats: A Python Package for Characterizing Errors between Observed and Predicted Time Series. *Hydrology*. 2018. 5(66).

18. GISDATA. URL: https://cid.center/gisdata/.

19. SAGA. System of automated geoscientific analyses. URL: http://saga-gis.org/.

20. GRASS GIS. URL: http://grass.osgeo.org/.

21. ILWIS. URL: http://52north.org/communities/ilwis/.

22. QGIS. URL: http://www.qgis.org/.

23. gvSIGDesktop. URL: http://www.gvsig.com/en/products/gvsig-desktop.

24. MAPWINDOWGIS. URL: https://www.mapwindow.org.

25. Ames D.P., Horsburgh J.S., Cao Y., Kadlec J., Whiteaker T., Valentine D. HydroDesktop: Web Services-Based Software for Hydrologic Data Discovery, Download, Visualization, and Analysis. *Environmental Modelling & Software*. 2012. Vol. 37. P. 146–156.

26. ESRI. URL: http://www.esri.com.

27. GroundwaterAnalyst. URL: https://www.aquaveo.com/software/ahgw-groundwater-analyst.

28. MODFLOW Analyst. URL: https://www.aquaveo.com/software/ahgw-modflow-analyst.

29. SubsurfaceAnalyst. URL: https://www.aquaveo.com/software/ahgw-subsurface-analyst.

30. MIKE HYDRO BASIN. URL: https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-hydro-basin.

31. MIKE HYDRO RIVER. URL: https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-hydro-river.

32. MIKE SHE. URL: https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-she.

33. MIKE 21C. URL: https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21c.

Надійшла до редколегії 15.11.2019.

УДК 004.023, 004.043, 519.688

Л. М. Божуха, Є. О. Бузовський

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАДАЧІ ІНВЕРСНОЇ КІНЕМАТИКИ ДЛЯ СКЕЛЕТНОЇ АНІМАЦІЇ

Здійснено порівняльний аналіз методів зворотної кінематики та запропоновано їх модифікації відповідно до передбачених вимог. Розроблене програмне забезпечення забезпечує інтерфейс для анімації об'єктів на основі скелетної анімації з використанням формату SVG та різних методів оберненої кінематики. Це програмно-математичне підґрунтя може бути використано розробниками анімації, веб-розробниками для навчальних цілей, для моделювання та планування руху механічних систем та роботів тощо.

Ключові слова: *комп'ютерна анімація, анімовані зображення, опис руху, скелетна анімація, пряма кінематика, інверсна кінематика.*

Проведен сравнительный анализ методов обратной кинематики и предложены их модификации в соответствии с предусмотренными требованиями. Разработанное программное обеспечение обеспечивает интерфейс для анимации объектов на основе скелетной анимации с использованием формата SVG и различных методов обратной кинематики. Это программно-математическое основание может быть использовано разработчиками анимации, веб-разработчиками для учебных целей, для моделирования и планирования движения механических систем и роботов и др.

Ключевые слова: *компьютерная анимация, анимированные изображения, описание движения, скелетная анимация, прямая кинематика, инверсная кинематика.*

The comparative analysis methods for solving inverse kinematics problem was carried out and their implementations were demonstrated in developed software. The initially considered problem in robotics has found its application in modern computer animation, in particular animation of computer games. A heuristic approach to solve this problem was considered and its effectiveness was proved in comparison with classical solution using optimization methods. Based on requirements of real application systems, modifications of the most efficient algorithms have been proposed with the aim of improving them and supporting additional physically justified restrictions. The algorithms Cyclic

© Божуха Л. М., Бузовський Є. О., 2019.

Coordinate Descent, Triangulation and FABRIC were considered in context of their use in real time. The efficiency and speed of the considered algorithms were analyzed in different conditions and with various configurations, as well as visual differences and subjective naturalness of resulting animations, depending on use cases like animation of animals and people limbs, mechanisms or physical objects. The developed software provides interface for object animation based on skeletal animation using SVG format and various methods of inverse kinematics. The software was created using modern web technologies and allows to create complex skeletons of objects, assign visual representation to chains, sections and whole skeleton, and in various ways describe trajectories of end-effectors movements. This software and mathematical background may be used by animation developers, web developers, for educational purposes, for modeling and motion planning of mechanical systems and robots, etc.

Keywords: *computer animation, animated images, motion description, skeletal animation, direct kinematics, inverse kinematics, Cyclic Coordinate Descent, Triangulation, FABRIC.*

Вступ. Комп'ютерна анімація вже стала невід'ємною частиною сьогоднішнього світу, що широко розповсюджена у найрізноманітніших галузях. Це пояснює різноманітність підходів, стилів та засобів для створення анімованих зображень, проте залишається актуальним один з найпопулярніших підходів анімації – це скелетна анімація, що забезпечує базові правила руху об'єктів сцени зображення. Скелетна анімація полягає у плануванні руху, в чому особливу роль відіграють пряма та інверсна кінематика (ІК).

Впродовж років розроблено методи та підходи до вирішення задачі ІК, що базувались на чисельному або алгебраїчному підході. Більшість з цих методів потребують значних чисельних потужностей, через що їх застосування в режимі реального часу може бути неефективним.

За останні роки було запропоновано численну кількість нових способів її розв'язання – більш ефективних, геометрично зумовлених, таких, що не вимагають складних математичних обчислень та великої кількості ітерацій, при цьому досягають бажаної точності та зберігають природність руху. Крім того, зазвичай обов'язковою для скелетної анімації є необхідність накладання обмежень на моделі, через що актуальними є методи, які підтримують введення обмежень, або модифікації тих, які за замовчуванням їх не підтримують.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Комп'ютерна анімація є похідною від комп'ютерної графіки, тому вона успадковує такі самі базові способи створення зображень [1]: растрова, векторна і тривимірна графіка.

Для відео традиційно використовується растрова анімація, що представляє собою набір растрових зображень, які при прискореному послідовному перегляді можуть передати рух зображення. Особливу роль відіграє векторна анімація як засіб створення зображень або інтерактивних застосунків. Раніше основним інструментом для таких розробок був формат-контейнер Flash Video, проте наразі все більшої популярності набуває формат векторної графіки SVG (Scalable Vector Graphics) у поєднанні з таблицями стилів CSS та скриптовою мовою програмування JavaScript, що дозволяє задати будь-які правила руху зображення, включаючи інтерактивність для ігор, користувацьких інтерфейсів тощо. Файл, що містить зображення цього формату, складається з опису окремих елементів сцени, які створені з примітивних об'єктів, що передбачені цим форматом. Анімацію засобами CSS також називають keyframe animation [2] – ідея полягає в описі початкового та кінцевого положення (і, за необхідності, проміжних положень), а браузер, керуючись заданими правилами, відтворює анімацію. Саме такі інструменти можуть бути застосовані для реалізації різних правил руху в системі.

Постановка проблеми. У задачах анімації комп'ютерної графіки, що описується моделями об'єктів та сцен, постає задача математичного опису складних рухомих систем та відшукання оптимального способу досягнення бажаного положення. Такі системи використовуються в якості скелетів для анімації персонажів або інших істот, опису природного руху об'єктів. Ці задачі аналогічні тим, що виникають у робототехніці.

На практиці алгоритми використовують певний структурований модельний підхід для опису руху [3]. Структура моделі автоматично забезпечує певні якості або обмеження руху, який потрібно реалізувати. Використання моделі виключає необхідність аніматору детально описувати всі правила руху – натомість ці деталі визначаються моделлю.

Рух виробляється шляхом поєднання обмежень і правил моделі з додатковою контрольною інформацією від користувача.

За мету даної роботи було поставлено створення програмного забезпечення для створення комп'ютерної анімації, що базується на використанні математичних методів скелетної анімації та підтримує різні алгоритми реалізації руху. Ці алгоритми мають працювати зі складними моделями та підтримувати обмеження, що зумовить природну поведінку моделей. Алгоритми, що за замовчуванням не

підтримують обмеження для моделей, мають бути модифіковані для їх підтримки.

Застосунок моделювання анімації має бути досить гнучким для використання вже створених зображень, мати можливість створення кількох моделей на сцені та давати повноцінний доступ до параметрів моделі.

У роботі постала задача аналізу алгоритмів, що базуються на різних підходах – чисельному або геометричному, аналізу ефективності та природності отриманої анімації руху залежно від методу реалізації руху та складності моделі (кількість ланок ланцюга).

Основний матеріал дослідження. Базовий функціонал передбачає набір стандартних інструментів для керування станом програми. Процес створення анімації умовно поділяється на такі кроки: створення скелетної структури об’єктів зображення, запис правил руху кінцівок, опис зображень засобам формату SVG. Для кожної ланки ланцюга надана можливість задавати довжину, початковий кут, обмеження. Для кожного ланцюга – початковий вузол (корінь), правило руху, один з трьох методів інверсної кінематики.

Програмне забезпечення розроблено при використанні таких засобів: HTML, CSS, Scalable Vector Graphics, TypeScript, JavaScript, Electron, Node.js, фреймворк для побудови користувацьких інтерфейсів Vue, паттерн управління станом Vuex, бібліотека іконок Font Awesome. Застосовані найновітніші стандарти HTML5, CSS3, JavaScript відповідно до останніх специфікацій ECMAScript (ES6 та пізніші версії).

Створення анімації програмними засобами містить етапи розробки:

1) опис сцени – визначення розмірів сцени та фонового зображення;

2) побудова скелета, скелетної структури об’єктів сцени, що складається з набору ланцюгів (для ланцюга визначається коренева точка і метод інверсної кінематики, ланки з визначеною довжиною та початковим відносним кутом);

3) опис правила анімації – запис траєкторії end-effector на сцені за допомогою курсора (рис. 1);

4) визначення функції-генератора зображення будь-якої складності.

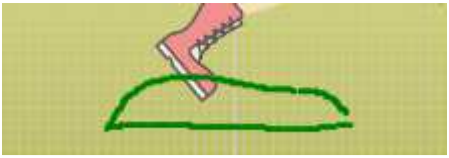


Рисунок 1 – Відображення записаної траєкторії руху.

Для опису руху системи необхідно створення моделі, яка б несла інформацію про характеристики всіх елементів цієї системи, їх сполучень (кінематичних пар) та підсистеми (кінематичний ланцюг) [4]. Надалі розглянемо випадок двовимірного простору, де можлива лише зміна кута сполучення ланок.

Рух можна описати положенням кінематичного ланцюга у певний момент часу. Положення ланцюга, у свою чергу, визначається його коренем (початковим вузлом) та положенням кожної окремої ланки, яке може визначатися одним з двох наборів даних:

- початкова точка ланки (або кінцева точка попередньої ланки), довжина, кут нахилу відносно попередньої ланки;
- початкова точка ланки (або кінцева точка попередньої ланки), кінцева точка ланки.

Перший спосіб опису частіше використовується саме алгоритмами і вважається базовою інформацією про ланцюг, а другий набір даних необхідний для відображення об'єктів на зображенні.

У робототехніці та задачах анімації персонажів виділяють дві основні задачі кінематики: пряма та обернена.

Пряма задача кінематики [5] полягає у віднаходженні абсолютного положення кожного суглоба та кінцевої точки (x, y). Координати будь-якого і-го суглоба знаходяться за формулами:

$$x_i = x_{i-1} + L_i \cdot cos\left(\sum_{j=0}^{i-1} \theta_j\right),\ y_i = y_{i-1} + L_i \cdot cos\left(\sum_{j=0}^{i-1} \theta_j\right).$$

За умови $i = n$, маємо розв'язання прямої задачі.

У процесі руху може виникнути необхідність отримати кути повороту суглобів за їх координатами. Кут між відрізками AB і BC можна отримати за формулами:

$$\theta = arccos\left(L_{AB}^2 + L_{BC}^2 - L_{AC}^2\right) \Big/ \left(2 \cdot L_{AB}^2 \cdot L_{BC}^2\right),$$

де L_{AB}, L_{BC}, L_{AC} – довжини відповідних відрізків, визначених за формулою $L_{AB} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$.

Задача інверсної кінематики полягає у віднаходженні такої конфігурації ланцюга, при якій end-effector буде знаходитись у заданій точці-цілі.

Розв'язанням задачі для ланцюга загального вигляду з n ланками та n суглобами є множина кутів суглобів θ_i, $i = \overline{0,n-1}$. У випадку $n > 2$ може бути необмежена кількість рішень, тому виникає необхідність застосувати такі методи, які забезпечать найбільш природний і поступовий перехід від одного положення до іншого для плавної анімації, та які є найефективнішими і потребують найменше обчислювальних потужностей для застосування методів у режимі реального часу.

Деякі методи можуть не дати розв'язання у випадку, коли точка-ціль є недосяжною, тобто довжина всього ланцюга L менша за відстань від кореня до точки цілі (x, y).

Проблема інверсної кінематики належить до області математичного програмування. Задача інверсної кінематики тотожна задачі багатовимірної оптимізації, де у ролі змінних виступають кути нахилу ланок, а досягнення цілі визначається цільовою функцією.

Серед поширених методів багатовимірної оптимізації, що можуть бути використані для вирішення задача інверсної кінематики, можна виділити методи: 0-го порядку – метод циклічного координатного спуску, методи деформованого багатогранника (Нелдера і Міда); 1-го порядку – метод найшвидшого спуску, метод сполучених градієнтів, метод змінної метрики; 2-го порядку – метод Ньютона.

Більшість методів оптимізації є безумовними і не можуть бути використані для задач інверсної кінематики з обмеженнями у чистому вигляді, вони потребують модифікацій чи використання додаткових алгоритмів. Достатньо ефективним методом для вирішення поставленої задачі є метод координатного спуску (CCD) [6], який не потребує оперування похідними та допускає обмеження для змінних.

Основна ідея оптимізаційних методів полягає в побудові задачі мінімізації рівняння $q = F^{-1}(X)$, де $F^{-1}(X)$ – це перетворення, яке віднаходить параметри усього кінетичного ланцюга, базуючись на заданих параметрах останнього елемента у ланцюгу X, q – вектор параметрів. Положення та орієнтація ланки X залежать від конфігурації всього ланцюга q. При зміні параметрів ланцюга відбувається або просування в бік цільового положення, або віддалення від нього.

Така звичайна задача нелінійної оптимізації може бути вирішена ітеративним підходом. На кожній ітерації алгоритм рухається від останньої ланки кінематичного ланцюга до її кореня. Після зміни параметрів конфігурації q алгоритм CCD оцінює, наскільки добре наблизилися за допомогою функції $E(q)$. Значення цієї функції допомагає нам прийняти рішення – робити наступну ітерацію чи ні. Алгоритм зупиняється, коли $E(q)$ стає менше деякого визначеного числа ε. Над кожним суглобом виконується перетворення, яке наближає X ближче до P.

В останні роки для задач інверсної кінематики були застосовані алгоритми, основані на біологічному підході, для кінематичних ланцюгів п'яти і більше ступенів свободи, оскільки вони пропонують більш точні результати, ніж традиційні методи: нейронні мережі, генетичний алгоритм, Harmony Search та інші. Ці методи забезпечують кращі рішення навіть для задач класу складності NP. Незважаючи на те, що збіжність таких методів не завжди може бути доведена, їх частіше використовують на практиці.

Багато евристичних алгоритмів, що продемонстрували найкращі результати з точки зору продуктивності та природності змодельованого руху, базуються на геометричному підході.

У роботі розглянуто два евристичні геометрично зумовлені алгоритми вирішення задачі ІК – Triangulation [7] та FABRIK [8].

Метод Triangulation використовує властивості трикутників для обчислення кутів, необхідних для переміщення кінематичного ланцюга до цілі. Кожна ланка повертається на кут $\theta = arccos\left(\vec{a}\cdot\vec{c}\right) - \delta_b$ навколо вектора $\vec{r} = \vec{a}\times\vec{c}$, де $\delta_b = arccos\left(\left(c^2 + a^2 - b^2\right)\Big/\left(2\,a\,c\right)\right)$ - кут між векторами $\vec{a}$ та $\vec{c}$, a – довжина ланки, яку потрібно змістити, b – відстань між кінцевою точкою поточної ланки та end-effector, c – це відстань від цілі до початкового вузла поточної ланки.

На відміну від інших алгоритмів, метод тріангуляції намагається досягти цілі, змінюючи якомога меншу кількість кутів, починаючи з основи. Такий принцип зумовлює ефективність алгоритму та візуально відмінну від інших методів анімацію, яка вважається більш природною для анімації людських кінцівок. Цей алгоритм вирішує задачу за одну ітерацію, проте в нього є значний недолік – у деяких випадках кут, на який необхідно повернути ланку, дуже великий (аж до 180 градусів),

що робить неможливим плавний перехід від однієї конфігурації ланцюга до іншої.

Розглянемо запропонований у 2010 році евристичний метод під назвою «Метод прямого і зворотного прямування» (Forward and Backward Reaching Inverse Kinematics, далі просто FABRIK) [8]. Алгоритм уникає використання обертань і матриць на користь безпосереднього отримання точки на прямій. Отже, задача вирішується за декілька ітерацій, має низьку вартість обчислень і візуально природну позу в результаті. FABRIK без проблем справляється з накладенням обмежень і використанням декількох ланцюгів або кінцевих точок.

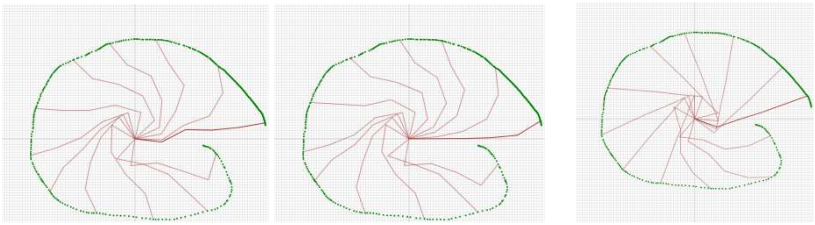
Метод використовує позиції, вже розраховані в режимах прямого і оберненого прямування. FABRIK досягає мінімізації помилки шляхом одноразового підстроювання кута кожного вузла. Цей метод, на відміну від перетворення обертань, зводить задачу пошуку позиції вузла до задачі пошуку точки на прямій. Отже, можна заощадити час і зменшити кількість обчислень.

Важливою відмінністю даного метода при розв'язанні задачі ІК від попередніх є надання не кутів ланок, а координат їх кінцевих точок. Для забезпечення обмежень ланки необхідно зробити: 1) визначення граничних положень кінцевих точок ланки для мінімального і максимального дозволених кутів за формулами $x = p_x + l \cdot cos\,\alpha$, $y = p_y + l \cdot sin\,\alpha$, де α – мінімальний / максимальний кут ланки, p – початкова точка ланки, l – довжина ланки; 2) визначення положення отриманої кінцевої точки відносно граничних.

Для демонстрації роботи кожного з трьох методів інверсної кінематики був створений ланцюг з коренем у точці $(0,0)$ та п'ятьма ланками однакової довжини. Була побудована траєкторія руху, що на наступних зображенням позначена зеленою пунктирною лінією (рис. 2). Для кожного методу зображено дванадцять різних положень, накладених одне на одне, по три положення для точок-цілей у кожній з чотирьох чвертей координатної площини.

Порівняльний аналіз наведених методів при анімації зображень у реальному часі здійснено за такими базовими характеристиками: швидкість роботи та складність алгоритму, можливість накладання обмежень та їх вплив на швидкість роботи алгоритму, стійкість алгоритму до ситуацій, коли точка-ціль лежить за межами доступності, надлишковість – середня кількість параметрів ланцюга, що необхідно змінити для досягнення цілі, природність отриманої анімації руху.

В якості тестових даних було використано 4 варіанти ланцюгів: з 3, 6, 9 та 20 ланками. Для кожного варіанта було згенеровано 100 випадкових точок у радіусі доступності та виконано кожен з алгоритмів 100 разів – тобто 10000 разів застосовано кожен з методів для 4 варіантів ланцюгів.



а б в

Рисунок 2 – Зображення ланки в певний момент часу методом циклічного координатного спуску (а); зображення ланки в певний момент часу методом FABRIK (б); зображення ланки в певний момент часу методом Triangulation (в)

Метод тріангуляції не є чисельним, тому в ньому неможливо визначити необхідну точність результату. Але для ефективності на етапі руху кожної з ланок можна перевіряти чи вдалося наблизитись до цілі для того, аби зупини алгоритм як тільки це трапиться, змінюючи мінімальну кількість параметрів ланок. Умовою досягнення цілі у цьому алгоритмі була обрана відстань від кінцевого вузла до цілі менша за 0,01.

Для алгоритмів циклічного координатного спуску та FABRIK необхідною умовою завершення алгоритму була відстань від кінцевого вузла до цілі менша за 0,2.

У табл. 1 наведено середню кількість ітерацій, що знадобилась для повного виконання алгоритмом своєї задачі.

Таблиця 1

Середня кількість ітерацій

Кількість ланок	FABRIK	CCD
3	6.6899	37.2183
6	23.8698	211.6575
9	55.1406	573.9305
20	90.42	>1000
Максимальна кількість ітерацій	100	1000

Для кожного з 4 варіантів ланцюгів для досягнення цілі алгоритму тріангуляції в середньому було достатньо змінити перші 2 кути.

У табл. 2 наведено середній час роботи алгоритмів (мс).

Таблиця 2

Середній час роботи алгоритмів (мс)

Кількість ланок	FABRIK	Triangulation	CCD
3	0.00598	0.00457	0.04241
6	0.01232	0.00222	0.75487
9	0.03773	0.00275	4.59581
20	0.15589	0.00782	> 50

Найкращий результат показав алгоритм тріангуляції. Цей алгоритм змінює мінімально можливу кількість кутів для досягнення цілі та кількість ланок ланцюга майже не впливає на швидкість його роботи.

Непогані результати продемонстрував алгоритм FABRIK, *швидкість* та *кількість ітерацій* приблизно пропорційна кількості ланок у випадку, коли їх менше 10. Проте швидкість починає значно падати, а кількість ітерацій, навпаки, зростати повільніше, коли ланок стає більш ніж 10.

Найгірший результат продемонстрував метод координатного спуску: його доцільно використовувати лише для ланцюгів з малою кількістю ланок, а зі зростанням їх кількості набагато зростає час роботи та кількість ітерацій. Отримані дані для ланцюга з 20 ланок демонструють, що алгоритм припиняв роботу через обмеження в кількості ітерацій, і таким чином, навіть не досяг цілі.

Надлишковість у контексті задач інверсної кінематики визначається кількістю ланок, що в результаті роботи певного алгоритму змінили своє положення (кути) відносно мінімальної кількості ланок, які потрібно біло змістити для досягнення цілі.

Отже, найменш надлишковим є метод тріангуляції. Цей метод намагається вирішити задачу по черзі змінюючи кути ланок, рухаючись від першої. І зазвичай достатньо змінити положення декількох перших ланок, а всі інші зберігають свої кути. Кінцевий вузол дістається цілі найшвидше, тому що в першу чергу змінюються кути ланок, які ближчі до основи.

Алгоритми координатного спуску та FABRIK є більш надлишковими: для ланцюгів, що включають більше 5 ланок, та цілей, що послідовно зміщуються на невелику відстань, в середньому змінюються положення половини ланок.

Надлишковість може впливати на швидкість роботи програмного забезпечення через необхідність обчислення абсолютних кутів ланок з відносних, положення кінцевих вузлів за кутом тощо. Проте поняття надлишковості суттєво пов'язано з тим, як само має бути реалізований та буде виглядати в результаті процес анімації.

Природність руху є визначним критерієм для обрання методу, що буде використовуватись для анімації зображень, оскільки різні алгоритми забезпечують різні принципи руху.

Як вже було зазначено, метод тріангуляції найчастіше змінює лише кути перших ланок, що зумовлює досить відмінний від інших методів спосіб руху. Такий тип анімації може виглядати природно для анімації невеликих ланцюгів, що визначають кістки людських кінцівок.

Метод циклічного координатного спуску у першу чергу змінює положення кінцевих ланок. Метод FABRIK зміщує більшість ланок, що забезпечує максимально плавний рух, подібний до руху змій, для ланцюгів з великою кількістю ланок.

Після проведеного аналізу результатів можна зробити висновок, що алгоритм циклічного координатного спуску є найменш ефективним та найбільш повільним, має дуже великий час та кількість ітерацій для збіжності, тому його доцільно використовувати на невеликих кінематичних ланцюгах (до 5 ланок).

Метод FABRIK є досить швидким та ефективним для його використання у реальному часі, стійким до великої кількості ланок ланцюга, забезпечує плавний поступовий рух.

Метод Triangulation виявився найефективнішим та потребує мінімум ресурсів та часу для роботи. Він є найменш надлишковим, що зумовлює специфічну анімацію руху, досить відмінну від попередніх двох методів. Тому його доцільно використовувати, коли цей алгоритм реалізує саме такий тип руху, що вимагається задачею.

Висновки. Розроблений оригінальний програмний засіб – система роботи з об'єктами анімації, що базується на скелетній анімації та простому інтерфейсі завдання траєкторії руху кінцівок, та дозволяє описувати та анімувати зображення формату SVG.

Розглянуто задачу інверсної кінематики, розв'язання якої описує правила руху скелетних моделей за траєкторією зміни положення кінцевого вузла та забезпечує плавну та природну анімацію руху об'єктів сцени. Проаналізовано різні підходи до вирішення задачі – зведення її до задачі багатовимірної оптимізації, евристичні та геометричні підходи.

В якості способів розв'язання задачі інверсної кінематики запропоновано три методи: метод циклічного координатного спуску, FABRIK та Triangulation. Кожен з методів був модифікований для підтримки обмежень, що можуть накладатися на кути поворотів ланок ланцюгів. Модифікування методу Triangulation виконано для забезпечення більш плавної анімації.

Здійснено повноцінний порівняльний аналіз трьох методів інверсної кінематики, що включає порівняння за ефективністю, природністю, надлишковістю і точністю залежно від складності моделей (кількості ланок та суглобів моделей), та наведено рекомендації щодо використання кожного з них у конкретних випадках.

В результаті аналізу та реалізації розглянутих у роботі методів можна зробити висновок, що скелетна анімація залишається найпопулярнішим способом реалізації комп'ютерної анімації, а задача інверсної кінематики є зручним та доречним інструментом для опису правил руху моделей сцени. Але чисельний підхід і зведення задачі інверсної кінематики до задачі оптимізації, що був популярним раніше, демонструє гірші результати за новітні евристичні геометрично зумовлені методи, тому рекомендується їх застосовувати лише у випадку, коли тільки такі підходи забезпечують бажану анімацію та доцільні з точки зору чисельних потужностей систем, на яких вони використовуються.

Новітні ж методи зумовлені різними підходами та дають відмінні один від одного правила руху, при цьому достатньо ефективні для їх застосування майже в будь-яких системах, тому вибір між ними має ґрунтуватись саме на виборі бажаного типу руху скелетів.

Деякі методи, такі як Triangulation, демонструють відмінну чисельну ефективність, проте в деяких випадках дають не дуже плавну анімацію руху (зміна параметрів моделей на дуже великі значення). Вже запропоновано деякі модифікації для вирішення цієї проблеми, проте ця задача все ще залишається актуальною.

Актуальними є задачі побудови зображення на основі скелета, що допускають численну кількість різних підходів та способів реалізації.

Результати дослідження можуть бути використані під час створення анімації дизайнерами, аніматорами, розробниками відеоігор, веб-розробниками, зокрема, для створення сучасних інтерактивних інтерфейсів та рекламних блоків.

Бібліографічні посилання

1. Сравнение анимации GIF, WebP, APNG, BPG. URL: https://habr.com/company/io/blog/261083/ (дата звернення: 04.11.2019).

2. David J. Eck. Introduction to Computer Graphics. Geneva, NY, 2018. 432 с.

3. Rick Parent Computer Animation Algorithms and Techniques. Team LRN, 2002. ISBN: 1-55860-579-7

4. Кореняко О.С. Теорія механізмів і машин: навчальний посібник. Київ: Вища школа, 1987. 206 с.

5. Кинематика: прямая и обратная задачи. URL: http://robocraft.ru/blog/mechanics/ 756.html (дата звернення: 04.11.2019).

6. Wang L.T., Chen C.C. A Combined Optimization Method for Solving the Inverse Kinematics Problem of Mechanical Manipulators. *IEEE Transactions On Robotics and Automation*. V.7. 1991. P. 489–498.

7. Muller-Cajar R., Mukundan R. Triangulation: A New Algorithm for Inverse Kinematics // Proceedings of Image and Vision Computing New Zealand 2007. Hamilton, New Zealand, December 2007. P.181–186.

8. Інверсна кінематика: простий і швидкий алгоритм. URL: http://it-ua.info/news/2014/05/22/nversna-knematika-prostiy-shvidkiy-algoritm.html (дата звернення: 04.11.2019).

Надійшла до редколегії 05.11.2019.

УДК 513.7

Т. Г. Ємель'яненко

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ПОБУДОВА ПРОГНОЗІВ З УРАХУВАННЯМ ДОДАТКОВИХ ДАНИХ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПОВЕДІНКУ ЧАСОВОГО РЯДУ

Описано шляхи модифікації методів прогнозування з урахуванням додаткових факторів, таких як день тижня, прогноз погоди, свята. Розглянуто комбінований підхід, який враховує використання багатовимірної регресійної моделі та моделі ARIMA.

Ключові слова: *прогнозування, часовий ряд, прогноз, ARIMA, лінійна регресійна модель, фіктивні змінні.*

Рассмотрены пути модификации методов прогнозирования с учетом дополнительных факторов, таких как, день недели, прогноз погоды, праздники. Рассмотрен комбинированный подход, учитывающий использование многомерной регрессионной модели и модели ARIMA.

Ключевые слова: *прогнозирование, временной ряд, прогноз, ARIMA, линейная регрессионная модель, фиктивные переменные.*

When constructing forecasts, especially when it comes to time series of sales, there is the task of considering the day of the week, since orders on weekend, for example, may not be accepted or accepted, but not processed. If we have additional information, such as state holidays or school holiday we can use this information and include additional parameters to the model. For some time series we can include to the model such parameter as weather characteristics. For example, if we analyze time series such as the number of visitors to the restaurant, then it is likely that the number of visitors will be less than during the same period when the weather was more favorable. Linear regression allows considering both the information about the previous behavior of the time series and additional factors that may affect the time series change. If we want to include to the model such qualitative feature as, whether there is a holiday or not, it is necessary to include an additional dummy variable "Holiday", which will equals to 1 on the day of the holiday and 0 on all other days. If we want to consider the day of the week when constructing the forecast, then six dummy variables are taken into consideration. Variableswill equal to 1 on the corresponding day of the week and for the last day of week all the variables will be equal to 0.It is supposed that the errors of a linear regression model contain autocorrelation, so the forecast was constructed for

© Ємель'яненко Т.Г., 2019.

the combined regression model and ARIMA. For the forecasting a separate forecast for the regression model and the ARIMA model should applied, and then the results should combined. This approach was illustrated on the sales forecasting for one of the Rossman store. The time series was retrieved from the Rossman store sales data presented at the Kaggle competition.

Keywords: *forecasting, time series, forecast, ARIMA, linear regression model, dummy variables.*

Вступ. Під час побудови прогнозів, особливо якщо це стосується часових рядів продаж, виникає задача урахування додаткових факторів, таких як проведення промоакцій, день тижня, оскільки у вихідні, наприклад, можуть не прийматися замовлення, або прийматися, але не оброблятися. Можна враховувати наявність свят у період, що розглядається. На деякі процеси, що вивчаються, можуть впливати такі сторонні фактори, як погода, наприклад, якщо розглядається часовий ряд кількості відвідувачів ресторану, то імовірно, що кількість відвідувачів буде меншою, ніж у цей самий період, коли погода була сприятливішою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання побудови прогнозу, який враховує, окрім часового ряду, додаткові фактори, розглянуто в роботі [1]. У роботі [2] наведено детальний розбір динамічних регресійних моделей, які представляють комбінацію ARIMA та регресійних моделей.

Постановка задачі. Запропонувати можливі варіанти урахування додаткових факторів під час побудови прогнозів.

Основний матеріал. Припустимо, що будується проста прогнозна модель на основі лінійної регресії

$$u_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon_t.$$

У разі необхідності урахування такої якісної ознаки як наявність свят або їх відсутність, треба ввести додаткову фіктивну змінну «Свято», яка буде приймати значення 1 в день свята і 0 в усі інші дні. І в цьому випадку будується багатовимірна лінійна регресійна модель у такому вигляді:

$$u_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 h_t + \varepsilon_t.$$

Якщо ми бажаємо врахувати день тижня під час побудови прогнозу, то у розгляд вводяться шість фіктивних змінних, які приймають значення 1 у відповідний день тижня і нульові значення в останній, сьомий, день.

Тоді модель набуває такого вигляду:

$$u_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 w_{1t} + \beta_3 w_{2t} + \beta_4 w_{3t} + \beta_5 w_{4t} + \beta_6 w_{5t} + \beta_7 w_{6t} + \varepsilon_t.$$

Таблиця 1

Фіктивні змінні для урахування дня тижня

День тижня	w_{1t}	w_{2t}	w_{3t}	w_{4t}	w_{5t}	w_{6t}
Понеділок	1	0	0	0	0	0
Вівторок	0	1	0	0	0	0
Середа	0	0	1	0	0	0
Четвер	0	0	0	1	0	0
П'ятниця	0	0	0	0	1	0
Субота	0	0	0	0	0	1
Неділя	0	0	0	0	0	0

У разі, якщо необхідно врахувати інший кількісний показник, наприклад, прогноз погоди, то необхідна додаткова змінна включається в регресійну модель.

Використання багатовимірної регресії дозволяє врахувати як інформацію про попередню поведінку часового ряду, так і про додаткові фактори, що можуть впливати на динаміку зміни ряду. Розглянемо, як можна урахувати додаткові фактори в моделях, що дозволяють більш тонке налаштування, наприклад, у моделях авторегресії.

Вважатимемо, що похибки багатовимірної лінійної регресійної моделі містять автокореляцію

$$u_t = \beta_0 + \beta_1 t + \cdots + \beta_k t + \delta_t,$$

де δ_t відповідає ARIMAмоделі, наприклад, ARIMA(1,1,1).

$$(1 - \varphi_1)B(1 - B)\delta_t = (1 + \theta_1 B)\varepsilon_t,$$

де ε_t – білий шум.

Під час оцінки параметрів моделі нам необхідно мінімізувати суму квадратів ε_t, якщо ми замість цього мінімізуємо суму квадратів δ_t, то результатом буде те, що оцінки параметрів $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$ не будуть ефективними; результати перевірки моделі за статистичними критеріями, наприклад t-тест, будуть невірними; у більшості випадків p-значення оцінки значущості коефіцієнтів моделі будуть заниженими і деякі пояснюючі змінні будуть здаватися важливішими, ніж вони є насправді.

У разі, якщо мінімізуються суми квадратів похибок ε_t, цих проблем вдається уникнути.

Для побудови прогнозу за комбінованою моделлю регресії та ARIMA слід виконати прогноз окремо для регресійної моделі та моделі ARIMA, а потім об'єднати результати.

Розв'яжемо задачу прогнозування для одного з магазинів Rossman з

урахуванням дня тижня і наявності шкільних канікул. Дані отримані з бази даних, яка була надана компанією Rossman для проведення Kaggle змагання по прогнозуванню обсягу продажів. На рис. 1 наведено часовий ряд обсягів продажів за період з січня 2013 по липень 2017 року. Як бачимо, часовий ряд набуває нульових значень у неділю, коли магазин був зачинений. Вигляд часового ряду свідчить про наявність сезонності.

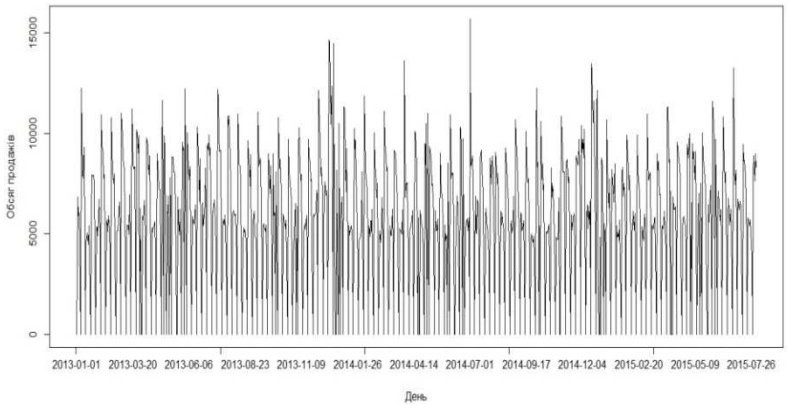


Рисунок 1 – Графік часового ряду обсягів продажу

За графіком автокореляційної функції часового ряду (рис. 2) можна зробити висновок про наявність сезонності з періодом 7. Тому будемо підбирати сезонну модель ARIMA.

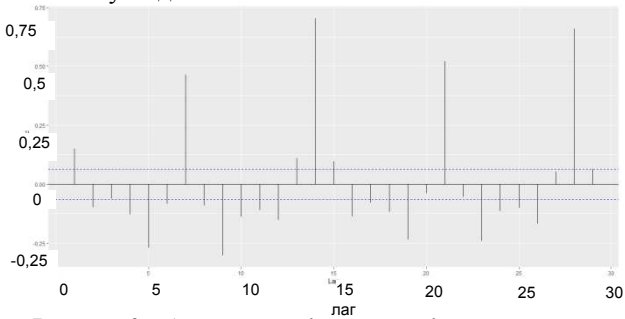


Рисунок 2 – Автокореляційна функція часового ряду

На рис. 3 наведено результати підбору моделі, таким чином, модель має вигляд:

$$u_t = 10651.6572 - 1191.8571w_t - 774.4742h_t + \delta_t,$$

де залишки δ_t представляють собою сезонну модель ARIMAз параметрами ARIMA(2,0,0)(2,0,0)7, w_t – день тижня, h_t – наявність шкільних канікул.

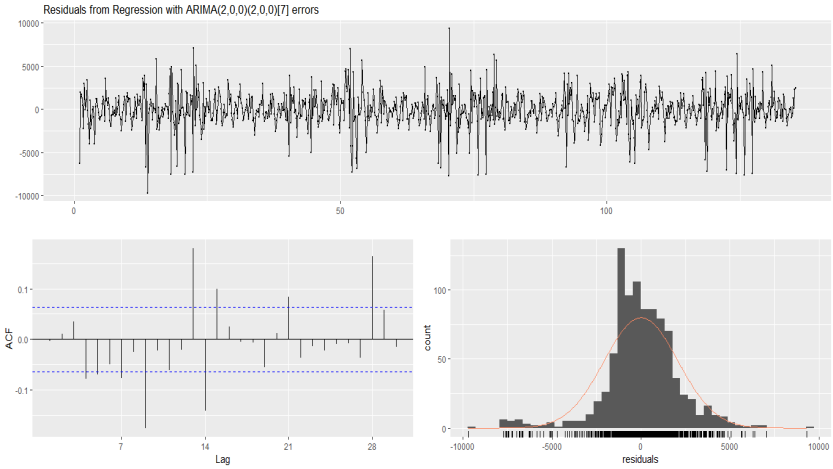
```
Regression with ARIMA(2,0,0)(2,0,0)[7] errors

Coefficients:
         ar1     ar2    sar1    sar2   intercept         Day  SchoolHoliday
      0.2082  0.1077  0.1010  0.4673  10651.6572  -1191.8571      -774.4742
s.e.  0.0344  0.0344  0.0305  0.0305    392.7868     78.1646       231.7195

sigma^2 estimated as 4347747:  log likelihood=-8534.33
AIC=17084.67   AICc=17084.82   BIC=17123.45
```

Рисунок 3 – Результати підбору сезонної моделі ARIMA

На рис. 4 представлено графік залишків та автокореляційної функції залишків, а також результати перевірки тесту Льюнга – Бокса, а на рис. 5 – прогноз на 10 днів, побудований за обраною моделлю.




```
        Ljung-Box test

data:  Residuals from Regression with ARIMA(2,0,0)(2,0,0)[7] errors
Q* = 104.08, df = 7, p-value < 2.2e-16

Model df: 7.   Total lags used: 14
```

Рисунок 4 – Результати перевірки моделі

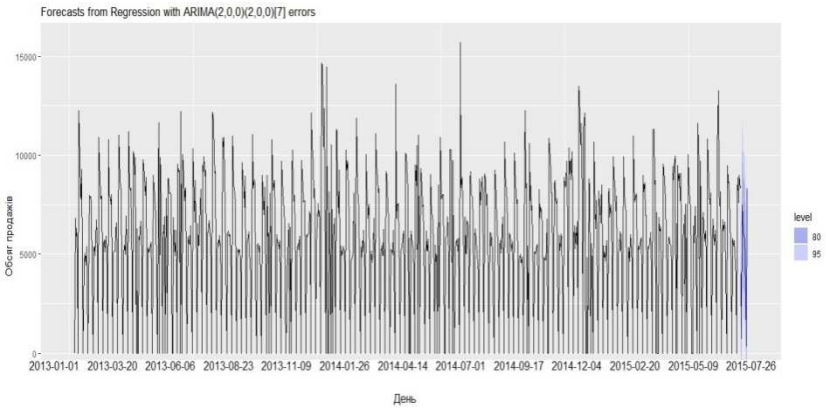


Рисунок 5 – Побудований прогноз

Висновки. Розглянуто підхід побудови прогнозів для часових рядів при наявності додаткових даних, які можуть впливати на поведінку часового ряду. Описаний підхід дозволяє будувати комбінований прогноз з використанням регресійних моделей та моделей ARIMA.

Бібліографічні посилання

1. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting principles and practice. OTexts, 2018. 382 p.
2. Pankratz A. E. Forecasting with dynamic regression models. N.Y.: John Wiley & Sons, 1991. 400 p.

Надійшла до редколегії 15.11.2019.

УДК 519.254

Т. А. Зайцева, С. Ф. Сірик, О. Д. Фридман, В. В. Захарова

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МОНІТОРИНГУ ВПЛИВУ МОТИВОВАНОГО ВИБОРУ СПЕЦІАЛЬНОСТІ СТУДЕНТОМ НА УСПІШНІСТЬ НАВЧАННЯ В ЗВО

Розглянуто актуальну проблему організації інформаційної технології для проведення дослідження впливу мотивованого вибору спеціальності студентом на успішність навчання в ЗВО. Для проведення анкетувань розроблено мобільний застосунок, який було створено за допомогою мови програмування Java в інтегрованому середовищі розробки Android Studio. Отримані відповіді аналізувалися за допомогою SPSS – програми для статистичної обробки даних. За результатами дослідження зроблено перспективні висновки.

Ключові слова: *інформаційні технології, мобільний застосунок, соціально-психологічний клімат, Java, Android Studio, SPSS Statistics.*

Рассмотрена актуальная проблема организации информационной технологии для проведения исследования для влияния мотивированного выбора специальности студентом на успеваемость при обучении в УВО. Для проведения анкетирования разработано мобильное приложение, созданное на языке программирования Java в интегрированной среде разработки Android Studio. Полученные результаты анализировались с помощью SPSS – программы для статистической обработки данных. По результатам исследования сделаны перспективные выводы.

Ключевые слова: *информационные технологии, мобильное приложение, социально-психологический климат, Java, Android Studio, SPSS Statistics.*

The article explores the actual problem of organization of the information technology for conducting research of the social and psychological climate in the groups of students. Two questionnaires were created for students' questionnaires. The first survey was conducted according to the classical Hans Eysenck methodology for the determination of the temperament (this technique is one of the most popular in modern psychology). The goal was to study the personality of each of the students from several components: extraversion and psychotype, emotional-volitional stability and the classification of the temperament in correspondence with the classical types. The second

© Зайцева Т. А., Сірик С. Ф., Фридман О. Д., Захарова В. В., 2019.

questionnaire was sociological and was created with the goal to clarify the degree of the motivation level in terms of the choice of the study program, the level of satisfaction with the educational process, substantiation of personal opinion about methods of teaching at the university, and a need of potential changes of the teaching strategies. The survey was conducted among the students of the ten study programs at the Oles Honchar Dnipro National University: "Political Science", "Sociology", "Informatics", "Applied Mathematics", "Software Engineering"; "System analysis"; "Special Education", "Psychology"; "Chemistry", "Social Work". The total number of survey participants included 205 students. In order to optimize the process of collection of the information a mobile questionnaires application was created. This application was created using the Java programming language in the integrated Android Studio mobile application environment. When creating the application, a convenient user interface of the application was developed with an adaptive design, convenient menu, good running functionality, and the ability to select a passing text. View hierarchies and their subclasses were also used. View objects are the widgets of users interface, such as buttons or text fields. The collected information was analized with the help of SPSS and the results were used to provide objective summaries. In the future it is planned to add such functions as the option to search for a survey by the survey title; sending the result via email, SMS or via social networks; to view statistics on various surveys at the same time; to increase the number of surveys as well as to optimize the application design.

Keywords: *information technologies, mobile application, social and psychological climate, Java, Android Studio, SPSS Statistics.*

Вступ. Характерною рисою сучасності є зміна вимог до освіти взагалі та діяльності закладів вищої освіти (ЗВО) зокрема. Зміна критеріїв оцінки результативності діяльності ЗВО викликана необхідністю підготовки фахівців, що здатні оперативно реагувати на мінливі умови сьогодення. Тому сучасна і майбутня молодь потребують динамічної системи освіти, яка була б тісніше пов`язана з їхнім життям, яка б надавала шляхи розв'язку життєвих проблем, що постають у зростаючому темпі перед людиною. Отже, питання побудови ефективної внутрішньої системи забезпечення якості освіти стоїть перед кожним ЗВО і є надзвичайно актуальним. Важливу роль у забезпеченні якості освіти відіграє позитивна мотивація студентів до навчання.

Дедалі більшого поширення набувають тестові технології, які застосовуються в різних дослідженнях. Існує великий вибір програмних продуктів, спрямованих на полегшення інформаційно-технічної частини проходження тестування. А саме: автоматизація проходження тестувань; підвищення рівня зацікавленості студентів в

опитуванні; надання можливості проходження тестування віддалено, у зручний для студента час.

З найбільш сучасних інноваційно-інформаційних технологій є мобільні технології [1]. Тому можна акцентувати увагу на створенні мобільного застосунку, який буде мати необхідні компоненти для проходження відповідного тесту, створення бази даних, миттєвий аналіз результатів, надання результату тестувань студентам та ін.

Аналіз досліджень та публікацій. Існує багато досліджень, у яких розглядаються питання створення інформаційної технології для організації досліджень серед студентів, у яких критично оцінюються переваги та недоліки впровадження того чи іншого програмного забезпечення [2; 3].

Студентські колективи ЗВО в сучасних умовах зустрічаються із складнощами у формуванні сприятливого для навчання соціально-психологічного клімату [2]. Для створення позитивних умов необхідно, щоб управлінські якості, методики викладання, професійний рівень викладачів змінювалися та були актуальними. Саме тому необхідно проводити різного роду моніторинг стану соціально-психологічного клімату в колективах студентів, щоб більш чітко уявляти, які напрямки слід розвивати і вдосконалювати в майбутній роботі зі студентами.

Основними перевагами мобільних тестових систем є їх оперативність, об'єктивність, можливість охопити велику аудиторію, автоматизація обробки результатів, можливість самоконтролю опитуваних. На відміну від бланкових систем тестування, мобільний застосунок дозволяє знизити фінансові та часові витрати при проведенні тестування, застосовувати в тестах мультимедійність, а так само підвищити відкритість процесу опитування [4; 5].

Постановка задачі. Створити інформаційну технологію для проведення моніторингу успішності навчання студентів ЗВО залежно від мотивованого вибору спеціальності та соціально-психологічного стану в студентському колективі. Провести опробування інформаційної технології на студентах Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Програмну реалізацію здійснити за допомогою мови програмування Java в інтегрованому середовищі мобільних застосунків Android Studio.

Отримані відповіді проаналізувати за допомогою SPSS Statistics – програми для статистичної обробки даних.

Основний матеріал та результати досліджень. Для проходження анкетування студентам було запропоновано дві анкети. Перше

тестування проводилось згідно з класичною методологією Ганса Айзенка [6] для визначення темперамента (59 питань). Така методика є однією з найбільш популярних у сучасній психології. Необхідно було дослідити особистість кожного зі студентів за кількома параметрами: екстраверсія і психотип, емоційно-вольова стабільність і віднесення темпераменту до класичних типів. В універсальній класифікації існує чотири основні типа темпераментів: сангвінік, холерік, меланхолік і флегматик. Друга анкета була соціологічною – для встановлення ступеня мотивованого вибору спеціальності студентом, задоволення від навчання, обґрунтування персональної думки про методи викладання в університеті, бажання змін у викладанні (27 питань) [7].

Опитування проводилося серед студентів різних курсів десяти спеціальностей Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара: «Політологія», «Соціологія», «Інформатика», «Прикладна математика», «Інженерія програмного забезпечення», «Системний аналіз», «Спеціальна освіта», «Психологія», «Хімія», «Соціальна робота». Вибірка складала 205 студентів. Студенти погодились взяти участь у опитуванні і відповідально поставились до тестування. На попередньому етапі для проведення опитування та подальшої більш комфортної обробки його результатів було створено web-сторінку, тобто web-версію анкети. Зараз існують достатньо прості web-конструктори. Але з урахуванням проведення подальших соціально-психологічних досліджень та обробки їх результатів було створено електронну версію анкети, використовуючи такі технології: HTML, CSS, PHP, JavaScript, SQL [7].

Після проведення попередніх експериментів для проходження опитування було розроблено мобільний застосунок, що містить реєстраційну форму та дві анкети. При реєстрації респонденти повинні ввести свої дані, e-mail, password та пройти авторизацію. Створено форму введення даних студентів, що включає поля: група, курс, e-mail опитуваного. Надано можливість вибору між двома анкетами, проходження опитування та можливість переглянути усі відповіді пройденої анкети.

Застосунок було розроблено в середовищі Android Studio 3.5 за допомогою мови Java 7. Графічний інтерфейс користувача для Android програми побудовано з використанням ієрархії View – віджетів користувацького інтерфейсу (кнопки або текстові поля) і ViewGroup об'єктів (для визначення розташування дочірніх уявлень, наприклад, у сітці або вертикальному списку). За допомогою XML словника, який

відповідає підкласам View і ViewGroup, було визначено користувацький інтерфейс.

Оскільки візуальний інтерфейс у застосунку Android реалізовано через об'єкти Activity, які представляють окремий екран, то для кожного об'єкта Activity є свій файл ресурсів розмітки. Ці файли розташовані в проекті в каталозі res/layout.

В якості контейнера верхнього рівня візуального інтерфейсу застосовано елемент CoordinatorLayout, який визначає три області: верхню (визначено елементами AppBarLayout і Toolbar), основну частину і нижню (визначено елементом FloatingActionButton). В якості основної частини вставляється вміст файла content_main.xml за допомогою виразу: <include layout="@layout/content_main" />. Даний підхід дозволив розбити візуальний інтерфейс на частини, створюючи і розвиваючи їх незалежно.

При створенні застосунку був розроблений зручний інтерфейс з адаптивним дизайном, інтуїтивно зручним меню, можливістю вибору тесту (рис. 1).

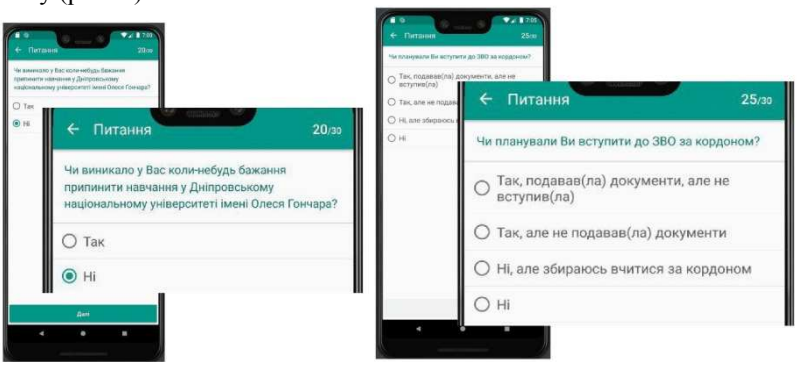


Рисунок 1 – Інтерфейс мобільного застосунку – анкетування

Розроблений мобільний застосунок створено таким чином, що він обробляє інформацію та надає масиви даних у форматі SPSS, де і було проведено статистичну обробку даних.

Первинний статистичний аналіз отриманих даних включав побудову варіаційного ряду; знаходились числові характеристики (математичне сподівання та дисперсія); обчислювалась коваріація; коефіцієнти кореляції, які характеризують лінійний взаємозв’язок між випадковими величинами. Зроблено висновки про ступінь лінійної

залежності між випадковими величинами. Наприклад, у табл. 1 наведено частотний розподіл студентів спеціальності «Прикладна математика» за темпераментами.

Таблиця 1

Частотний розподіл студентів спеціальності «Прикладна математика» за темпераментами

Темперамент	Частота	Відсотки	Валідний відсоток
Меланхолік	12	35,3	35,3
Сангвінік	6	17,6	17,6
Флегматик	8	23,5	23,5
Холерик	8	23,5	23,5
Усього	34	100,0	100,0

Темперамент залежить від двох змінних. Побудовано залежність нейротизму від екстра- та інтроверсії. Результати залежності нейротизму можна більш детально розглянути на рис. 2.



Рисунок 2 – Графік залежності нейротизму від екстра- та інтроверсії

На даному графіку розташування точок залежить від отриманих значень екстра-інтроверсії та нейротизму (стабільності, нестабільності). Ці дві змінні мають числові значення, тому відображення залежності на координатній площині легко спроектувати.

Було проведено кореляційний аналіз. У більшості випадків коефіцієнт кореляції знаходився в діапазоні $0,5 < | k | < 0,7$ – середній зв'язок. Але в деяких випадках зв'язок був слабким $0,3 < | k | < 0,4$.

Також було проведено регресійний аналіз результатів опитування за анкетою Айзенка та соціологічною, побудовано прямі регресії, перевірено адекватність рівняння регресії статистичним даним за допомогою критерія Фішера. Порівнюючи *F*, спостерігаємо:

$$F_{\text{спост.}} = \frac{R^2}{1-R^2}(n-2),$$

де R^2 – коефіцієнт детермінації; n – обсяг вибірки, F – критично оцінений ступінь адекватності моделі. У разі неадекватності лінійної моделі підбиралась нелінійна регресійна модель (квадратична, кубічна, показникова та ін.). Перевірка адекватності зійснювалась за допомогою критерія Фішера:

$$F_{\text{спост.}} = \frac{R^2}{1-R^2} * \frac{n-m}{m-1},$$

m – кількість коефіцієнтів у відповідному рівнянні регресії.

Наприклад, оцінена залежність успішності навчання на спеціальностях «Соціальна робота» і «Соціологія» від нейротизму (стабільності, нестабільності) студентів визначається нелінійною функцією**:**

$$y = 0{,}17\mathrm{e}^{0{,}24x}.$$

У процесі аналізу виявлено однорідні групи об’єктів. З цією метою застосовувалися кластерний і факторний аналізи. Факторний аналіз дозволив виявити приховані зв’язки між ознаками, визначити найбільш важливі змінні і на цій основі згрупувати сукупність даних, об’єднавши їх у декілька достатньо великих груп. У пакеті SPSS для проведення факторного аналізу реалізовано метод головних компонент, незважений метод найменших квадратів, узагальнений метод найменших квадратів, метод максимальної правдоподібності, метод факторизації на головні осі. Метод факторного аналізу було застосовано, наприклад, у процесі обробки результатів діагностики психоемоційного стану у групах студентів. Шляхом факторного аналізу вивчався зв’язок між факторами, а також визначені психотипи респондентів з різною комбінацією цих факторів.

Аналіз результатів. Створено інформаційний ресурс для проведення досліджень серед студентів, і надалі – завантаження зібраних даних (відповідей респондентів) у пакет SPSS for Windows, що дозволило обробити експериментальні дані з використанням різних методів, зокрема: визначення кореляційної залежності, побудова регресії, побудова графіків і гістограм, обчислення параметричних (критерії Ст’юдента, Фішера) і непараметричних тестів (хі-квадрат), дисперсійного і регресійного аналізів й ін. При опитуванні студентів

обговорювались такі важливі теми: причини вибору саме цього ЗВО (табл. 2, рис. 3); подальша освіта за кордоном; вибір майбутньої роботи за фахом; проблеми в методиках викладання; чинники, які заважають отриманню високого рівня знань; теми, які часто обговорюються в житті студентів.

Таблиця 2

Причини вибору саме цього ЗВО

Як Ви дізнались про Вашу спеціальність?	**Частота**	**Відсоток**
1) з інформаційних заходів (дні відкритих дверей, шкільна профорієнтація тощо)	30	14,6
2) на ній навчались Ваші родичі	29	14,1
3) з Інтернету	96	46,8
4) зі слів знайомих, друзів	50	24,4
Усього	205	100

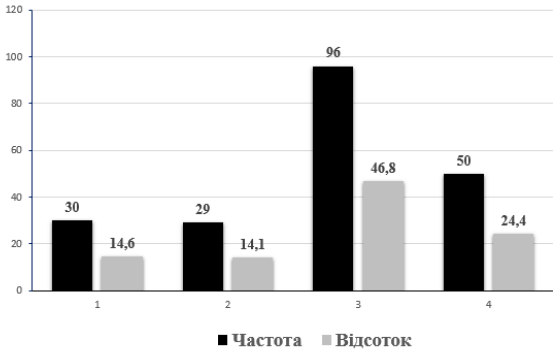


Рисунок 3 – Діаграма – причини вибору данного ЗВО

З опитуваних багато студентів хоче здобувати освіту у ЗВО, який вони вибрали, і якби їм випала нагода знову вибрати ЗВО для вступу, вони б повторили свій вибір однозначно, тому що причиною стало бажання придбати цікаву спеціальність. Можливість практичного освоєння спеціальності, а також висока кваліфікація викладачів – це те, що подобається студентам у навчанні, а застарілі методики викладання з використанням застарілого матеріалу – не подобаються. Труднощі, що в більшості випадків виникають у студентів під час навчання – це велике навчальне навантаження і відсутність сили волі досягти достатнього рівня знань. При всіх недоліках і труднощах у

навчанні більшість студентів все таки хоче працювати за фахом, який вони вибрали свідомо, і тільки 1/3 з 205 впевнена в тому, що вони хочуть працювати в Україні. Слід зазначити, що для студентів перших курсів усіх спеціальностей успішність навчання (середній бал у сесію) тісно пов’язана із мотивованим вступом і доброзичливими стосунками у групах. Для студентів старших курсів картина інша. Успішність навчання зменшується і встановлюється тісний зв'язок із іншими факторами. Ті студенти, що мотивовано обрали спеціальність і вже працюють за фахом, мають нижчий середній бал за сесію. Треба зробити висновок, що актуальність дуальної освіти є суттєвим питанням.

Результати обробки анкет показали, що резерви з мотивування студентів до навчання є різноманітними та вимагають обґрунтованих організаційних та наполегливих управлінських зусиль професорсько-викладацького складу для компетентного впливу на підвищення навчальної мотивації студентів. Дослідження показують, що основні мотиви навчальної діяльності студентів I–VI курсів мало відрізняються. Серед внутрішніх мотивів переважають інтерес до професії, прагнення отримати вищу освіту з метою самореалізації та відкриття в майбутньому власної справи. Серед зовнішніх чинників навчальної мотивації студенти вказали престиж, авторитет Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, отримання інтелектуального задоволення, бажання самовдосконалення, можливості знайти цікаву та високооплачувану роботу ще при навчанні в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Запрограмовано та успішно перевірено на практиці програмний продукт – застосунок для проведення анкетувань студентів, програмна реалізація якого здійснювалася за допомогою мови програмування Java в інтегрованому середовищі мобільних застосунків Android Studio. Розроблено і впроваджено з фахівцями-психологами методику опитування студентів різних спеціальностей і курсів. Онлайн-застосунок спрощує збір даних, дозволяє студентам проходити опитування у зручній та в будь-який момент доступній формі, що дозволяє робити якісні дослідження та аналіз отриманих результатів у майбутньому.

У ході розробки та проведення анкетування було виділено структурні елементи мотивації, які розкривають сутність навчальної мотивації студентів різних спеціальностей. Варто зазначити, що

отримані в ході моніторінгу дані можуть бути використані в подальших дослідженнях щодо вдосконалення шляхів, методів та засобів організації навчально-виховного процесу. Завдяки консолідації соціологічної інформації можна отримати корисну статистичну інформацію про студентів. Спільна робота з психологами і соціологами на наступних етапах дослідження допоможе виявити основні характеристики, відмінності, тенденції розвитку і мотивації навчальної діяльності студентів.

У майбутньому планується удосконалення програмного забезпечення для подальших досліджень, а саме: додавання нових анкет; можливість відправки результатів опитування на електронну пошту або у соціальні мережі; додавання мультимедійних питань; огляд підсумкових статистик за різними опитуваннями; покращення дизайну застосунку.

Бібліографічні посилання

1. Марковець О. В., Березняк Є. Ю., Лисик Б. О., Кравець Р. Б. Інформаційна модель системи проведення соціологічних досліджень у веб-середовищі. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2016. № 805: Інформаційні системи та мережі. С. 274–281.

2. Щурко Т. В. Возможности использования интернет-пространства для проведения качественого исследования. *Перекрестки*. 2009. № 3–4. С. 166–172.

3. Корытникова Н. В. Применения метода онлайн-опроса в социологии. URL: http:// surveys.org.ua/content/ view/54/29/

4. Хамільтон Р. Дж. Інтернет рекрутинг і e-mail інтерв'ю в якісних дослідженнях. *Qualitive health research*. July. 2006. P. 821–835.

5. Іллінгворс Н. А. Інтернет запити: вивчення можливостей використання Інтернету як дослідницького інструменту. URL: http://www.socresonline. org.uk/6/2/illingworth.html.

6. Тест Айзенка на определение типа темперамента. URL: http://mozgius.ru/psihologiya/testy/test-ayzenka-na-temperament.html

7. Бондаренко З. П., Зайцева Т. А., Сірик С. Ф., Захарова В. В. Психолого-педагогічні чинники успішної навчальної діяльності студентів закладу вищої освіти. *Вища освіта України у контексті інтеграції до європейського освітнього простору*. № 6. Кн. 2. Т. 1 (79). 2018. С. 248–260.

Надійшла до редколегії 11.11.2019.

УДК 61:004.774 (050)

К. І. Ільканич, С. В. Різничок, В. Ю. Майхер

Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ВЕБ-РЕСУРСУ ФАХОВОГО МЕДИЧНОГО ПЕРІОДИЧНОГО ВИДАННЯ

Вивчено концепцію інформатизації наукових медичних періодичних видань. Розроблено структуру моделі інформаційного ресурсу; створено алгоритм програмного продукту; опрацьовано механізм впровадження та визначення методичних підходів до оцінки ефективності інвестицій у розробку інформаційної системи. Для реалізації розробленого алгоритму було обрано засоби програмного продукту AS4U. Розроблено та впроваджено інтернет-сайт www.aml.lviv.ua для фахового періодичного медичного видання "Acta Medica Leopoliensia / Львівський медичний часопис", засновником якого є Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького. Використано статистичні показники реалізованого сайту за п'ять років (2014–2018 рр.) для дослідження впливу наявності інтернет-сайту періодичного видання на наповнення контенту часопису та розширення комунікацій наукової спільноти. Обрані програмні засоби дозволяють редакції часопису самостійно без послуг програміста в режимі он-лайн працювати над наповненням сайту, що дає змогу швидко та якісно коректувати контент, а система паролів для надання доступу до контенту забезпечує захист інформації та доступ до неї у будь-який час та у довільному місці.

Ключові слова: *інформатизація, наукове періодичне видання, AS4U, Public4u, File4u, Galery4u, інформаційний ресурс.*

Изучена концепция информатизации научных медицинских периодических изданий. Разработана структура модели информационного ресурса; создан алгоритм программного продукта; проработан механизм внедрения и определения методических подходов к оценке эффективности инвестиций в разработку информационной системы. Для реализации разработанного алгоритма были избраны средства программного продукта AS4U. Использованы статистические показатели реализованного сайта за пять лет (2014–2018 гг.) для исследования влияния наличия интернет-сайта периодического издания на наполнение контента журнала и расширение коммуникаций научного сообщества.

© Ільканич К. І., Різничок С. В., Майхер В. Ю., 2019.

Разработан и внедрен интернет-сайт www.aml.lviv.ua для профессионального периодического медицинского издания "Acta Medica Leopoliensia / Львовский медицинский журнал", основателем которого является Львовский национальный медицинский университет имени Данила Галицкого. Проанализировано влияние введения интернет-ресурса на наполнение контента журнала и расширения научных коммуникаций. Избранные программные средства позволяют редакции журнала самостоятельно без услуг программиста в режиме он-лайн работать над наполнением сайта, что позволяет быстро и качественно оформить контент, а система паролей для доступа к контенту обеспечивает защиту информации и доступ к ней в любое время и в произвольном месте.

Ключевые слова: *информатизация, научное периодическое издание, AS4U, Public4u, File4u, Galery4u, информационный ресурс.*

The concept of scientific medical periodicals informatization is studied. At the first stage, the structure of the information resource model was developed; created software algorithm; the mechanism of implementation and determination of methodological approaches to the estimation of investment efficiency in the development of the information system is worked out. AS4U software products to implement the developed algorithm were selected. The statistical indexes of the realized site for five years (2014−2018) were used to study the influence of the availability of the Internet site of the periodical to fill the contents of the journal and to expand the communications of the scientific community. The website www.aml.lviv.ua was developed and introduced for the professional medical periodical "Acta Medica Leopoliensia / Lviv Medical Journal", the founder of which is Danylo Halytsky Lviv National Medical University. The site is filled in four languages: Ukrainian, English, Polish, Russian. The influence of the introduction of an Internet resource on the content of the journal and the expansion of scientific communications has been analyzed. The implemented model of the site has shown a positive impact on the expansion of the possibilities of scientific communication, the availability of content of the periodical, simplification of the process of preparation and presentation of scientific messages. The selected software allows the editorial staff of the magazine to independently, without the services of a programmer, to work online to fill the site, enabling the content to be quickly and qualitatively adjusted, and the system of passwords for providing access to content provides protection of information and access to it at any time and an arbitrary place.

Keywords: *informatization, scientific periodicals, AS4U, Public4u, File4u, Galery4u, information resource.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Інформаційні та комунікаційні технології сьогодення невпинно охоплюють і стають невід’ємною частиною усіх галузей людської діяльності, серед них

наукова та медична. Важливу роль у процесі наукової комунікації належить фаховим періодичним виданням. Публікація у науковій періодиці дозволяє вченим створювати нові інформаційні повідомлення, брати участь у наукових дискусіях, мати доступ до актуальної наукової інформації, відкриває нові творчі можливості для наукового співробітництва і, як наслідок, сприяє впровадженню новітніх розробок у систему охорони здоров'я. Тому особливо актуальною нині стала інформатизація періодичних видань України.

Аналіз публікацій. Проблеми розробки засад інформатизації періодичних видань вивчали зарубіжні та вітчизняні науковці. Серед них Б.-К. Бьорк, З. Турк [9], О. Макензі [10], Р. Пек, Ж. Померанц, С. Палінг [11], О. Платонова [4], О. Воскобойнікова-Гузєва [1], Н. Т. Задорожна, Т. Г. Омельченко, К. Л. Валь [2], І. Рижко [6], А. Радченко [5], Т. Ярошенко [7], Т. Яцків [8] та ін. Ця дискусія розпочалася у науковому середовищі на зламі XIX та XX ст. Дослідниками доведено, що розвитку електронних версій періодичних наукових видань сприяє низка чинників, зокрема, здешевлення поліграфічних видатків, доступність нових наукових розробок для широкого загалу науковців, створення єдиного світового наукового простору, зручність підготовки публікацій тощо.

Вартою уваги є запропонована стратегія безпаперового суспільства у XXI ст. та перехід на статейно-орієнтовану модель поширення інформації. Такий підхід є задекларований у наказі Міністерства освіти і науки України «Порядок формування переліку фахових видань України», затвердженому 15.01.2018 р. На нашу думку, серед його положень важливими для інтеграції науки та наукової періодики України у світовий науковий простір є присвоєння кожному опублікованому матеріалу міжнародного цифрового ідентифікатора DOI та наявність веб-сайту видання з українським та англійським інтерфейсом [3].

Мета роботи. Метою роботи є розробка моделі інтернет-ресурсу науково-практичного періодичного видання, вибір сучасної технології проектування й розробки веб-презентації, створення та впровадження проекту інтернет-сайту періодичного часопису, оцінка впливу використання веб-технології на наповнення контенту періодичного видання.

Основна частина. Обрана нами концепція інформатизації наукових медичних періодичних видань передбачає реалізацію двох етапів: *перший* – створення індивідуальних офіційних сайтів; *другий* – представлення фахового періодичного видання в міжнародних

наукометричних базах даних. Такий підхід дозволяє розширити національний науковий простір України, надає науковцям більші можливості для аналізу публікацій та подання статей, підтримки їх супроводу від моменту подання до публікації. З метою впровадження цієї концепції нами було розроблено інтернет-ресурс фахового періодичного видання.

У результаті наукового аналізу й пошуку нових підходів в інформатизації медичних закладів та нових технологій проектування й розробки веб-презентацій для медичних періодичних видань було проведено: розробку структури моделі інформаційного ресурсу для реалізації інформатизації послуг часопису з використанням сучасних інформаційних технологій; формування методики оцінки ефективності застосування інформаційних технологій на етапах їх впровадження та експлуатації; створення алгоритму програмного продукту та опрацювання механізму впровадження та визначення методичних підходів до оцінки ефективності інвестицій у ІТ системи.

Пропонований веб-ресурс було реалізовано засобами системи Public4u та програмного продукту AS4U, яка є редактором з величезними можливостями, що не вимагає особливих підходів. Вона дає змогу редагувати веб-презентацію без послуг програміста в режимі он-лайн і сприяє швидкому та якісному коректуванню контенту.

Розроблено та впроваджено проект web-ресурсу www.aml.lviv.ua – інтернет-сайт фахового видання «Acta Medica Leopoliensia / Львівський медичний часопис» (AML), засновником якого є Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького (ЛНМУ). Меню сайту має ієрархічну структуру і складається із таких шести основних пунктів: Про журнал, Проточний випуск, Рейтинг, Архів, Авторам, Контакти. Деякі розділи мають свої складові елементи: «Часопис» включає три підрозділи: Редакційна рада, Редакційна колегія, Історія часопису; розділ «Архів номерів часопису» – номери часопису по роках починаючи від 2008 року; пункт «Авторам» – Видавничі засади, Рекомендаційні засади, Приготування статті до друку, Декларація етики, Повідомлення про конфлікт інтересів, Рецензування.

Розроблений нашим колективом сайт підтримує чотири мови: українську, англійську, польську та російську (рис. 1). Важливим елементом сайту є архів номерів. За статистичним даними, «розміщення статті в Інтернет у відкритому доступі збільшує число «паперових» посилань на неї у три – п’ять разів» [1, с. 38], що безпосередньо впливає на суттєве збільшення такого важливого

показника якісної оцінки наукових досліджень та впливу вченого або організації на світову науку, як індекс цитувань. Розроблений веб-сайт апробовується упродовж трьох років. Здійснюється його технічний супровід, враховуються зауваження редакційної групи та вносяться зміни у програмне забезпечення. Архів номерів оновлюється з публікацією нових номерів і наповнений починаючи від 2008 року.



Рисунок 1 − Головна сторінка веб-презентації медичного часопису AML

Як видно із рис. 1, у розробленому проекті реалізовано систему пошуку, яка допомагає авторам віднайти потрібну інформацію. Презентація новин від редакційної колегії є актуальною для авторів часопису та всієї наукової медичної спільноти.

На сьогоднішній день фахове періодичне видання AML внесено до 13 міжнародних публікацій наукових баз даних та наукометричних каталогів: Advanced Science Index (ASI), Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Biblioteca Virtual em Saude (BVS), Citefactor, European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS), Google Scholar, Index Copernicus, Journal Tables of Contents (JournalTOCs), Open Academic Journals Index (OAJI), Research Bible, Scientific Indexing Service (SIS), Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat Online Computer Library Center (OCLC).

Модуль «Статистика» дозволяє проаналізувати статистичні показники експлуатації розробленої програми. Таким чином, за 2015−2018 р. здійснено понад 130 тис. відвідувань сайту. По роках цю

статистику показано на рис. 2. Найбільше відвідувань було зроблено із США (43,19 %), Німеччини (13,67 %) та Великобританії (13,59 %), що свідчить на користь багатомовності сайту та його популяризацію у міжнародному науковому середовищі.

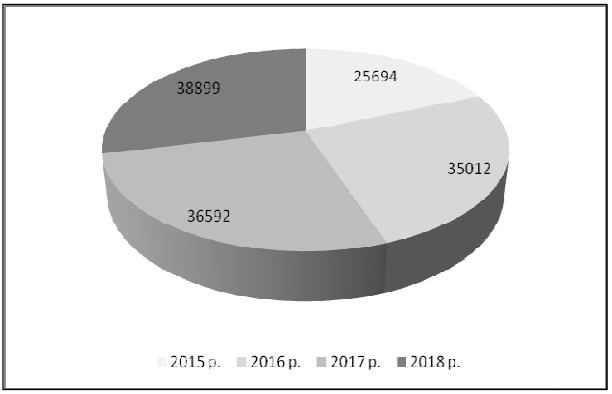
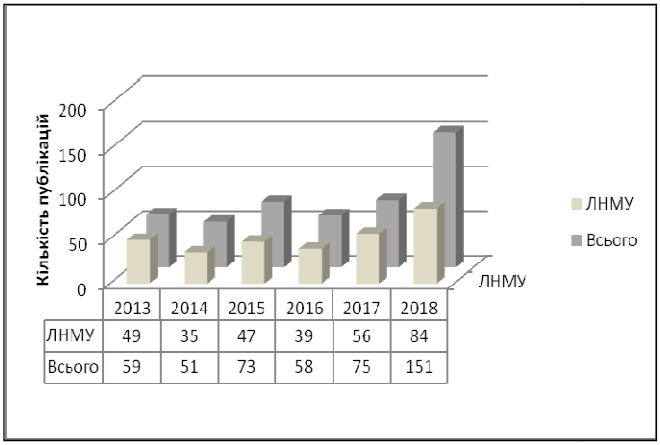


Рисунок 2 − Статистика відвідувань інтернент-сайту AML у 2015−2018 рр.

Вплив запровадження інтернет-ресурсу на наповнення контенту часопису наведено на рис. 3. Спостерігається тенденція до збільшення кількості публікацій щорічно як із числа авторів-працівників ЛНМУ, так і з інших медичних наукових установ.



	2013	2014	2015	2016	2017	2018
ЛНМУ	49	35	47	39	56	84
Всього	59	51	73	58	75	151

Рисунок 3 − Динаміка кількості публікацій у часописі AML по роках

Окрім науковців ЛНМУ, авторами AML у 2014−2018 рр. стали представники Інституту медсестринства і наук про здоров'я (Жешув, Польща), Інституту медицини села (Люблін, Польща), Академії фізичного виховання, Сьльонского медичного університету (Катовіце, Польща), переважної більшості наукових та навчальних закладів України: Національного медичного університету імені О.О. Богомольця, Національної медичної академії післядипломної освіти ім. П. Л. Шупика, Вінницького національного медичного університету імені М.І. Пирогова, Харківського національного медичного університету, Української медичної стоматологічної академії (Полтава) та ін. Таким чином, можна констатувати, що впровадження інтернет-сторінки наукового періодичного видання сприяє розширенню наукових комунікації.

Висновки та перспективи подальшого розвитку. Запропонований у розробці інтернет-ресурсу наукового медичного періодичного видання новий підхід сприяє спрощенню діалогу між авторами та редколегією журналу. Представлення фахового видання в інтернет-просторі у якості окремого сайту дозволяє збільшити вимогливість до наукового рівня публікацій та підвищити якість опублікованих матеріалів. Багатомовна реалізація сайту дозволяє використовувати іноземні мови для підготовки публікацій, інтеграцію видання до світового наукового простору, продовжити заходи щодо включення його у міжнародні науково-метричні бази.

Бібліографічні посилання

1. Воскобойнікова-Гузєва О.В. Наукові видання України в інтернет-просторі. *Наука України у світовому інформаційному просторі*. 2010. Вип. 3. С. 36–43.

2. Задорожна Н.Т., Омельченко Т.Г., Валь К.Л. Технологічні основи створення і підтримки порталів. *Інтернет-освіта-наука-2006, П'ята міжнародна конференція ІОН−2006, 10−14 жовтня, 2006. Збірник матеріалів конференції*. Т. 1. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. С. 362−365.

3. Про затвердження Порядку формування Переліку наукових фахових видань України: наказ Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України № 32 від 15.01.2018 р. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0148-18 (дата звернення: 04.06.2019).

4. Платонов О. Д. Про засади інформатизації періодичних видань НАН України. *Наука України у світовому інформаційному просторі*. 2010. Вип. 3. С. 45–60.

5. Радченко А.І. Періодика майбутнього – паперова чи електронна? *Наука та наукознавство*. 2010. № 2. С. 46–50.

6. Рижко І. Електронна періодика у системі наукової комунікації: особливості становлення та функціонування. *Масова комунікація: історія, сьогодення, перспективи*. 2014. № 5–6 (5). С. 52–56.

7. Ярошенко Т.О. Електронні журнали в системі інформаційних ресурсів бібліотеки: монографія. Київ: Знання, 2010. 215 с.

8. Яцків Т.М. Наукова періодика в Україні: перспективи і проблеми розповсюдження. URL: www.nas.gov.ua/series/12_Yatskiv. (дата звернення: 04.06.2019).

9. Bjork B.-C., Turk Z. How Scientists Retrieve Publications: An Empirical Study of How the Internet Is Overtaking Paper Media. *The Journal of Electronic Publishing*. 2000. № 6. URL: https://quod.lib.umich.edu/j/jep/3336451.0006.202. DOI: http://dx.doi.org/10.3998/3336451.0006.202. (дата звернення: 04.06.2019).

10. Mackenzie Owen J.S. The scientific article in the age of digitization. Springer, 2007. 265 p. URL: https://pure.uva.nl/ws/files/3914816/38481_DISSMacKenzie_Owen.pdf (дата звернення: 04.06.2019).

11. Peek R., Pomerantz I., Paling S. The Traditional Scholarly Journal Publishers Legitimize the Web. *Journal of the American Society for Information Science*. 1998. Vol. 49. № 11. P. 983–989. URL: https://www.learntechlib.org/p/84900/ (дата звернення: 04.06.2019).

Надійшла до редколегії 27.06.2019.

УДК 004.93′12

О. О. Сліпченко, С. В. Клименко

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЦІНКИ ПСИХОЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ

Розглянуто проблему розпізнавання психоемоційного стану людини, сучасні методи розпізнавання емоцій. Проаналізовано особливості розпізнавання емоцій людини за допомогою сучасних технологій, зв'язок між порушенням нервової системи людини і впливом цих порушень на емоції та їх відображення у виразі на обличчі. Представлено аналіз математичних методів обробки емоційного стану людини. Проаналізовано сучасні програмні засоби обробки емоцій. Застосування розпізнавання емоційного стану людини дозволяє зробити висновки про стан нервової системи, визначити її стан у повсякденних робочих випадках, які пов'язані з небезпекою для життя, наприклад, нічні рейси для водіїв.

Ключові слова: *міміка; розпізнавання емоцій; метод Віоли – Джонса; емоційний стан людини.*

Рассмотрена проблема распознавания психоэмоционального состояния человека, современные методы распознавания эмоций. Проанализированы особенности распознавания эмоций человека с помощью современных технологий, связь между нарушением нервной системы человека и влиянием этих нарушений на эмоции и их выражение. Представлен анализ математических методов обработки эмоционального состояния человека. Проанализированы современные программные средства обработки эмоций. Применение распознавания эмоционального состояния человека позволяет сделать выводы о состоянии нервной системы, определить ее состояние в повседневных рабочих случаях, которые могут быть связаны с опасностью для жизни, к примеру, ночные рейсы для водителей.

Ключевые слова: *мимика; распознавание эмоций; метод Виолы – Джонса; эмоциональное состояние человека.*

This article discusses the problem of recognizing the psycho-emotional state of a person. Modern methods of recognition of emotions are considered. The features of recognition of human emotions using modern technologies are analyzed. The relationship between the violation of the human nervous system and the effect of these disturbances on emotion and their expression is

© Сліпченко О. О., Клименко С. В., 2019.

considered. The analysis of mathematical methods for processing a person's emotional state is presented. Analyzed modern software for processing emotions. The use of recognition of the emotional state of a person allows us to draw conclusions about the state of the nervous system, to determine its condition in cases that are associated with a danger to life, for example, night flights for drivers. Also, the article considers the basic algorithm for automatic recognition of emotions. The Viola – Jones method is analyzed, since it is the most effective method for highlighting the face in the image. Particular features of the face in the image by the method of Viola – Jones are considered. It is determined that for the recognition of emotions, points located on the eyebrows and lips are used in combination with each other. The standard Viola–Jones method uses rectangular features. These are called Haar primitives, which are also covered in the article. Modern software tools for processing emotions that can recognize such emotions as anger, sadness, joy, surprise, anger, fear, disgust are considered. Such systems allow in a number of cases to avoid accidents caused by inattention, drowsiness or poor state of health of the driver. Emotional recognition is also applicable in a number of other fields, such as telecommunications, video games, animation, psychiatry, automated training, etc. Recognition of human emotions naturally allows to increase the degree of intellectualization of their interaction, for example, to ensure correct response to the human condition.

Keywords: *facial expressions; recognition of emotions; Viola – Jones method; emotional state of a person.*

Вступ. Одним з основних способів розпізнавання емоцій людини іншою людиною є аналіз візуальної інформації. Тому автоматизація цього процесу очевидно повинна бути заснована на використанні методів і засобів комп'ютерного зору. Розпізнавання емоцій людини природним чином дозволяє підвищити ступінь інтелектуалізації їх взаємодії, наприклад, для забезпечення правильного реагування на стан людини. Особливо актуальною проблемою є правильне визначення стану людини у випадках, пов'язаних з небезпекою для її життя. В якості одного з прикладів можна навести системи розпізнавання втоми людини, якими оснащуються деякі сучасні автомобілі. Подібні системи дозволяють у ряді випадків уникнути аварій, викликаних неуважністю, сонливістю або поганим самопочуттям водія. Аналіз здійснюється на основі результатів обробки зображень обличчя людини, отриманих з відеокамери. Розпізнавання емоцій застосовується також у цілому ряді інших областей, таких як телекомунікації, відеоігри, анімація, психіатрія, автоматизоване навчання та ін.

Особливості розпізнавання емоцій людини. Людина проявляє свої емоції на обличчі за допомогою брів, очей і рота. Для виділення

цих елементів на зображенні особистості використовують метод Віоли – Джонса [1]. Щоб прискорити розпізнавання і зменшити помилкові виявлення, на обличчі задаються певні зони. Рот завжди знаходиться в нижній половині обличчя, а брови і очі – у верхній. Наступний пункт в розпізнаванні емоцій – це знаходження ключових точок виділених елементів особи. Щоб визначити емоції людини, потрібно провести аналіз декількох ключових точок. Виділення ключових точок проводиться таким чином:

1. Перетворення кольорового зображення до напівтонового вигляду.
2. Перетворення з напівтонової форми до бінарного вигляду.
3. Застосування до бінарного зображення градієнтної маски.
4. Локалізація ключових точок.

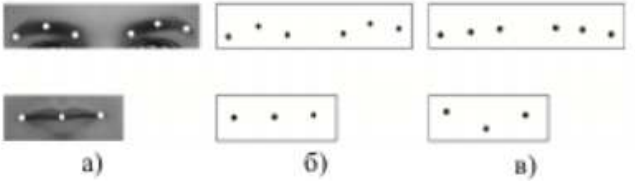


Рисунок 1 – Комбінація точок брів та рота (а – зображення брів та рота; б – комбінація точок брів та рота; в – комбінація ключових точок, яка відповідає іншим положенням розглянутих елементів на зображенні)

Перехід від кольорового зображення до напівтонового виконується ще на етапі виділення обличчя. Для отримання бінарного зображення використовується адаптивний поріг. А застосування градієнтної маски до бінарного зображення дозволяє отримати контурне уявлення елемента, який аналізується. Локалізація ключових точок полягає у визначенні заданої кількості точок, які лежать на контурі елемента. І вже після виділення ключових точок можна виконувати класифікацію емоції.

Розглянемо характеристики емоцій у поєднанні брів та рота:

Смуток. Характерні ознаки смутку – кінчики брів та рота знижаються.

Щастя. При цій емоції брови та кінчики рота підіймаються.

Гнів. Для емоції гніву характерні зниження та зморщення брів, а рот при цьому відкривається та знижуються кінчики.

Образа. У разі відчуття образи брови знижуються, а рот піднімається і знижуються прикінцеві значення лінії.

Страх. Коли людина відчуває страх, її брови підіймаються, а рот відкривається та розтягується.

Здивування. При здивуванні брови підіймаються, а рот відкривається.

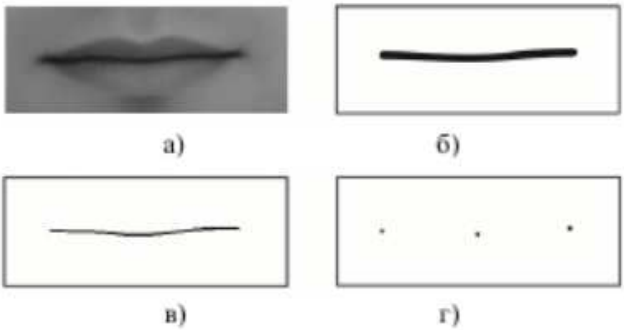


Рисунок 2 – Процес виділення ключових точок (а – напівтонове зображення; б – бінарне зображення; в – застосування градієнтної маски; г – локалізація ключових точок)

Особливості впливу емоцій залежно від психоемоційного стану людини. Для точного судження про емоційний стан людини необхідно брати до уваги всі компоненти міміки. Так, при сильному збудженні напружені повіки, розширені зіниці поєднуються з розтягуванням крил носа і стисненням щелеп. Подальша надмірна концентрація уваги може супроводжуватися відкриттям рота. Емоційні нюанси уловлюються ще у напрямку і стабільності погляду. У людини у стані задумливості погляд звернений вдалину. Глибина сприйняття узгоджується зі стійким поглядом у напрямку досліджуваного об'єкта.

Функціональні розлади нервової системи також супроводжуються нестабільністю погляду. Мінливість погляду – одна із складових елементів міміки. Міміка – інтегральний процес. У ньому беруть участь реакції окремих м'язів, проте вони пов'язані спільною підставою, єдиною цілеспрямованістю. По суті, мімічні м'язи стають засобом спілкування між високорозвиненими біологічними суб'єктами на рівні 1-ї сигнальної системи [2]. Розглянемо як здійснюється зв'язок між станом і рівнем психоемоційної діяльності головного мозку і мімічною мускулатурою. Мимовільна, підсвідома міміка обличчя людини стримується і гальмується, вона підпорядкована функції кори півкуль великого мозку. Цілком природно, що участь обличчя в різних видах експресії слід розглядати не тільки з позицій мімічної моторики, але також у світлі вищої нервової діяльності. Півкулі великого мозку,

по І. П. Павлову, є реактивною і верховною частиною ЦНС, залежно від стану і діяльності якої виділено чотири психологічних типи: сангвінік – це сильний, урівноважений, рухливий тип; холерик – сильний, неврівноважений (збудливий), рухливий тип; флегматик – сильний, урівноважений, інертний тип; меланхолік – слабкий, неврівноважений тип, нервові процеси малорухливі. Отже, за складом міміки, зразками рухів можна зробити висновок про тип нервової діяльності.

Аналіз математичних методів обробки емоційного стану людини. Основний алгоритм автоматичного розпізнавання емоцій складається з таких етапів: реєстрація зображення; первинна обробка зображення; виділення обличчя на зображенні; виділення елементів обличчя; виділення ключових точок на обличчі; класифікація емоцій.

Для виділення обличчя на зображенні найбільш ефективним є метод Віоли – Джонса, який забезпечує досить хорошу швидкість і високу точність виявлення заданих об'єктів на зображеннях.

Процес виявлення обличчя методом Віоли – Джонса має такі особливості:

1. Для швидкого виконання необхідних розрахунків зображення представляються в інтегральному вигляді.

2. Пошук потрібних об'єктів на зображеннях здійснюється за результатами аналізу ознак Хаара.

3. Для вибору найбільш підходящих ознак при пошуку шуканого об'єкта на певній частині зображення застосовується метод посилення слабких класифікаторів (метод бустінга).

4. Для прийняття рішень використовуються прості бінарні класифікатори, які виробляють два значення – «Істина» та «Брехня».

5. Для швидкого відкидання вікон, де не знайдено облич, використовуються каскади ознак [4].

Інтегральне представлення зображення являє собою матрицю, що збігається за розмірами з вихідним зображенням. У кожному її елементі зберігається сума інтенсивностей всіх пікселів, що знаходяться лівіше і вище даного елемента. Елементи матриці розраховуються за такою формулою:

$$I(x, y) = \sum_{x' \le x, y' \le y} i(x', y'),$$

де $I(x, y)$ – значення точки (x, y) інтегрального зображення; $i(x, y)$ – значення інтенсивності вихідного зображення. На основі застосування інтегрального представлення зображення обчислення ознак однакового

виду, але з різними геометричними параметрами, відбувається за однаковий час. Кожен елемент матриці $I\ (x,\ y)$ представляє суму пікселів у прямокутнику від $i\ (0,\ 0)$ до $i\ (x,\ y)$, тобто значення кожного елемента I ($x,\ y$) дорівнює сумі значень усіх пікселів лівіше і вище даного пікселя i ($x,\ y$). Розрахунок матриці займає лінійний час, що пропорційно дорівнює числу пікселів у зображенні, і його можна обчислити за такою формулою:

$$I\ (x, y) = i\ (x, y) - I\ (x - 1, y - 1) + I\ (x, y - 1) + I\ (x - 1, y).$$

З точки зору необхідності використання досить простих алгоритмів отримання ознак перспективним є використання Хаара-подібних характеристик, які представляють собою результат порівняння яркостей у двох прямокутних областях зображення. У стандартному методі Віоли – Джонса використовуються прямокутні ознаки. Ці ознаки називаються примітивами Хаара (рис. 3).

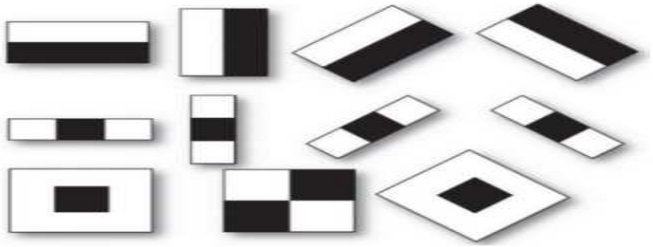


Рисунок 3 – Примітиви ознак Хаара

Обчислюваним значенням такого показника буде:

$$F = U - V,$$

де U – сума значень яскравості точок, які закривають світлою частиною ознаки, а V – сума значень яскравості точок, які закривають темною частиною ознаки. Для їх обчислення використовується поняття інтегрального зображення. Хаара-подібні ознаки описують значення перепаду яскравості по осі X і Y зображення відповідно.

Аналіз програмних засобів обробки емоційного стану людини. Система FaceReader Noldus Information Technology (Нидерланди) має можливість вірно розпізнавати емоції за виразом обличчя. Система знаходить такі емоції: радість, смуток, здивування, злість, страх, відраза, нейтральність. Крім цього, FaceReader може визначити стать, вік, расу людини. Програмне забезпечення створюється без машинного навчання і додаткових налаштувань.

EmoDetect (Росія, Нейороботікс) – це програмне забезпечення, що дозволяє визначати психоемоційний стан людей за їх зображеннями

(відео або фото). Даний емоційний класифікатор може визначити шість головних емоцій, таких як радість, смуток, здивування, страх, злість, відраза. Емоції розпізнаються за допомогою нейронних мереж.

Microsoft Oxford Project Emotion Recognition (США, Microsoft) – принцип роботи цієї системи аналогічний вищепереліченим системам: за допомогою машинних алгоритмів система аналізує наявність облич у вхідному зображенні, після цього визначає за мімікою приблизні емоції людини.

Висновки. В наш час активно розвиваються системи ідентифікації облич та емоцій. Проведеним дослідженням визначено, що для розпізнавання емоцій людини одним з найпоширеніших є метод Віоли – Джонса, який забезпечує досить хорошу швидкість і високу точність виявлення заданих об'єктів на зображеннях. Виходячи з аналізу визначено, що психоемоційний стан людини та функціональні розлади нервової системи впливають на міміку та вираження емоцій. Отже, вивчаючи психоемоціональний стан людини та склад міміки, можна зробити висновок про тип нервової діяльності особистості. Розпізнавання емоцій має багато різновидів у повсякденному житті людини, наприклад, у телекомунікаціях, відеоіграх, анімації, психіатрії, автоматизованих системах навчання тощо.

Бібліографічні посилання

1. Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг, Спицын В. Г. Распознавание лиц на основе применения метода Виолы – Джонса, вейвлет-преобразования и метода главных компонент. *Известия Томского политехнического университета*. Т. 320. № 5. 2012.

2. Лемешевская З. П., Михальчик С. В., Водоевич В. П. Диагностика психического состояния человека по мимике лица. *УО «Гродненский государственный медицинский университет». Журнал ГрГМУ*. № 1. 2010.

3. Клименко С. В., Огоренко В. В., Халипова В. Д. Математическая модель самооценки психических свойств личности. *Системні технології*. Вип. 2. 2015. С. 112–120.

4. Ахметшин Р. И., Кирпичников А. П., Шлеймович М. П. Распознавание эмоций человека на изображениях. *Вестник технологического университета*. Т. 18. № 11. 2015.

Надійшла до редколегії 15.11.2019.

УДК 519.688

О. П. Луценко, С. Ф. Сірик, Л. В. Мащенко, Г. А. Омельницький

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ МОВЛЕННЯ В МОВНОМУ СИГНАЛІ

Описано запропоновану авторами інформаційну технологію виявлення дефектів мовлення, методи фонемної сегментації мовного сигналу, класи дефектів, що виявляються, а також способи виявлення цих дефектів. Надано проектно-системну документацію програмного пакета, в якому реалізовано описані алгоритми.

Ключові слова*: мовний сигнал, дефекти мовлення, фонема, сегментація, інформаційна технологія.*

Описана предложенная авторами информационная технология обнаружения дефектов речи, методы фонемной сегментации речевого сигнала, классы дефектов, а также способы выявления этих дефектов. Представлена проектно-системная документация программного пакета, в котором реализованы описанные алгоритмы.

Ключевые слова: *речевой сигнал, дефекты речи, фонема, сегментация, информационная технология.*

The purpose of this paper is to describe the methods and algorithms of information technology proposed by authors for speech defects detection. The task of speech defects detection contains the tasks of segmentation of the speech signal, phoneme classification, as well as comparing the possibly impaired speech with a properly spoken reference signal. Comparisons should be made both for the signal as a whole (detection of missed phonemes) and for each phoneme separately (detection of defective phonemes). The segmentation algorithm used in information technology is based on the assertion that, at interphonemic transitions, the signal undergoes significant changes on many scales at once and is characterized by an increase in wavelet detailing coefficients, while in stationary areas the wavelet coefficients are grouped near certain scales. Phoneme wise presentation of the signal makes it possible to identify defects related to the incorrect pronunciation of the phoneme present in the word - the case where the total number of phonemes in the word remains unchanged. It is also possible to detect complete loss of the phoneme or the appearance of extra phonemes. To map phonemes to references, we use a dynamic timeline transformation algorithm, the vector of parameters of which

© Луценко О. П., Сірик С. Ф., Мащенко Л. В., Омельницький Г. А., 2019.

is the Euclidean distance between the Fourier decomposition bands. In order to determine the degree of proximity of the input to the reference, an additional limitation is proposed, according to which the distance from the input signal to the reference signal should be significantly different from the distances for other files. As a response threshold, 1/3 of the variance of distances between files was used. When the number of phonemes in a word does not match the reference, each phoneme of the reference is mapped to an input file, so that one of the input phonemes is matched, without violating the order of phonemes. If more than one non-identified section in a row is detected during segmentation, the sections are combined and compared to the base of the reference phonemes as one phoneme. If the base of the reference phonemes does not match the nearest result to the adjacent left or right phonemes, the segment of the speech is marked as defective. The described algorithms are implemented as part of information technology for assisting in the formulation of the pronunciation by providing the ability to independently assess the quality of the pronunciation.

Keywords: *speech signal, speech defect, phoneme, segmentation, information technology.*

Вступ. Для виявлення та лікування вад мовлення важливим є аналіз вимови пацієнта. Якщо для виявлення вад досить однієї перевірки у лікаря, то для лікування одного найпростішого дефекту, наприклад, простої дислалії однієї групи звуків, знадобиться у середньому 10 занять зі спеціалістом, не враховуючи занять вдома. При самостійних заняттях важливою є можливість самостійного контролю свого прогресу, який було б зручно здійснювати із застосуванням комп'ютерної програми. Розробка програмного забезпечення автоматичного виявлення відхилень у вимові є актуальною.

Аналіз літературних даних. Задача виявлення дефектів мовлення містить підзадачі сегментації мовного сигналу, класифікації фонем, а також порівняння сигналу з імовірним дефектом з правильно вимовленим еталонним сигналом. Порівняння необхідно виконувати як для сигналу в цілому (виявлення пропущених або зайвих фонем), так і для кожної фонеми окремо (виявлення фонем, що вимовляються з дефектами). Задача сегментації регулярно розглядається у працях вітчизняних і зарубіжних вчених [1–4]. В якості методу порівняння з еталонами можуть виступати алгоритми класифікації за вектором ознак, наприклад алгоритм динамічної трансформації часової шкали [5]. Виявлення дефектів мовлення досліджувалося у численних наукових працях у галузі медицини, в яких було розглянуто фізіологічні причини виникнення дефектів, однак у медичних працях у силу приналежності до іншої галузі наук бракує формального математичного опису мовних дефектів. Дослідження з розробки

автоматизованих систем розпізнавання дефектів мовлення або вивчають конкретний дефект [6], або присвячені проблемі покращення розпізнавання сигналу з дефектами і не розглядають класифікацію самих дефектів [7]. Таким чином, задача розробки інформаційної технології автоматизованого виявлення і класифікації дефектів мовлення залишається не вирішеною.

Постановка цілей статті. Мета даної статті – опис методів та алгоритмів запропонованої авторами інформаційної технології розпізнавання дефектів мовлення. Описано методи фонемної сегментації мовного сигналу, класи дефектів, що виявляються, а також способи виявлення цих дефектів.

Структура інформаційної технології. Виявлення дефектів мовлення є багатоетапною задачею, яка потребує багатокомпонентної інформаційної технології. Технологія повинна вирішувати задачі первинної обробки даних, фонемної сегментації та набір алгоритмів виявлення дефектів. На рис. 1 наведено діаграму варіантів використання інформаційної технології.

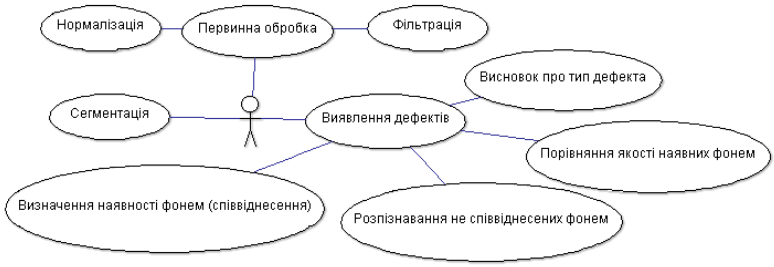


Рисунок 1 – Діаграма варіантів використання інформаційної технології

Ключовим завданням для рішення задачі виявлення дефектів мовлення є сегментація мови, бажано відповідно до фонетичної транскрипції мови. У процесі розпізнавання необхідно спочатку сегментувати мовний сигнал на характерні елементи, визначити тип сегмента, а потім проводити порівняння ідентичності сигналів за наявністю сегментів, а також за подібністю вимови окремих сегментів.

Ручна сегментація вимагає значних витрат сил і часу. Крім того, практично неможливо відтворити результати ручної сегментації внаслідок мінливості людського зорового і слухового сприйняття.

Автоматична сегментація не безпомилкова, проте вона несуперечлива за своєю суттю, і її результати відтворювані.

На відміну від сегментації слів, алгоритми для якої засновані на пошуку паузи між словами і є досить простими, сегментація фонем ускладнюється відсутністю значимих пауз. Сегментація фонем проводиться шляхом визначення моментів змін у частотних характеристиках сигналу.

Алгоритм сегментації, використаний в пропонованій інформаційній технології, було описано у статті [4]. Він заснований на частотному розкладанні з використанням вейвлетів. В основі алгоритму лежить твердження, що на міжфонемних переходах сигнал зазнає значних змін відразу на багатьох масштабах дослідження і, відповідно, характеризується значним зростанням вейвлет-коефіцієнтів для багатьох рівнів деталізації, в той час як на стаціонарних ділянках фонем вейвлет-коефіцієнти виявляються згрупованими поблизу певних масштабів. Відшукання міжфонемних переходів зведено до відшукання моментів змін вейвлет-коефіцієнтів на окремих рівнях розкладання.

Розіб'ємо сигнал на кадри довжиною 256 відліків (приблизно 10 мс). При цьому кадри розташуємо з половинним перекриттям так, щоб перші 128 відліків кожного кадру співпадали з останніми 128 відліками попереднього кадру. Для зменшення спектрального розтікання до кожного кадру застосуємо віконну функцію Хеммінга. До кожного з вікон проведемо вейвлет-розкладання.

Вейвлет-розкладання сигналу $S(t)$ позначимо як:

$$S(t) = \sum_{k=0}^{N/2^n-1} s_{nk}\varphi_{nk} + \sum_{j=1}^{N}\sum_{k=0}^{N/2^n-1} d_{jk}\psi_{jk},$$

$$\varphi_{nk} = 2^{n/2}\varphi(2^n t - k), \partial e\ j,k \in \mathrm{Z},$$

$$\psi_{nk} = 2^{j/2}\psi(2^j t - k), \partial e\ j,k \in \mathrm{Z}.$$

де n – кількість рівнів декомпозиції, s_{nk}, d_{jk} – коефіцієнти апроксимації та деталізації вейвлет-розкладання, φ – масштабна функція вейвлета, ψ – базисний вейвлет.

Для кожного вікна на кожному рівні декомпозиції знаходимо енергію коефіцієнтів деталізації:

$$E_n(i) = \sum_{j=1}^{2^n-1} d^2_{n,j\,2n-1_i}, \quad i = 0,...,2^{-M}N-1.$$

Знайдений ряд енергій згладжується трійками значень за правилом:

$$E'_n(i) = E'_n(i+1) = E'_n(i+2) = \max(E_n(i), E_n(i+1), E_n(i+2)) .$$

Міжфонемний перехід характеризується різкою зміною значення енергії на одному або декількох рівнях розкладання (авторами статті [4] запропоновано проводити 6 рівнів розкладання). Різкий перехід визначається як такий перехід, при якому перша похідна ряду за величиною порівнювана зі значенням ряду, при цьому значення енергії більше певного встановленого бар'єра E_{min} (низькі значення енергії еквівалентні тиші в оброблюваному частотному діапазоні):

$$h < | E'_n(i) - R_n(i) |,$$

$$h > | E'_n(i-1) - R_n(i-1) |, \text{ або } h > | E'_n(i+1) - R_n(i+1) |,$$

$$E'_n(i) > E_{\min} .$$

Приклад результатів роботи алгоритму наведено на рис. 2.

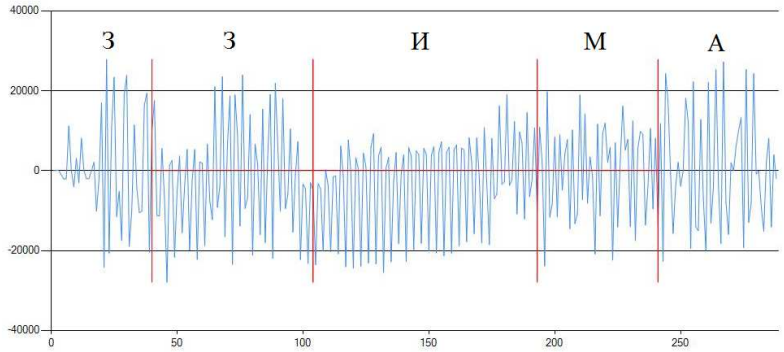


Рисунок 2 – Межі сегментів слова «зима», побудовані на графіку коефіцієнтів апроксимації 6 рівня вейвлет-розкладання

Як можна бачити з рис. 2, автоматична сегментація не позбавлена недоліків: фонемі |з| у прикладі відповідають дві ділянки, в чому можна переконатися, прослухавши файл і вручну зіставивши відносну довжину фонем. Однак, використання однакового алгоритму сегментації з однаковими налаштуваннями зазвичай породжує неточності одного характеру як в еталоні, так і у вхідному файлі. Таким чином, пофрагментне зіставлення файлів залишається ефективним.

Фонемна сегментація сигналу дає можливість працювати у двох напрямах:

1) виявляти дефекти, пов'язані з неправильною вимовою фонеми, яка присутня у слові – випадок, коли загальна кількість фонем у слові залишається незмінною;

2) виявляти повне випадання фонеми або появу зайвої фонеми. Слід зазначити, що, окрім випадку, коли фонема дійсно відсутня (так, при нечіткій вимові |p| у словах з двома приголосними підряд, наприклад, «грім», результат може сприйматися на слух як повне випадання фонеми |p|), випадання фонеми при автоматичній сегментації також може бути зумовлене дефектом сегментації внаслідок недостатньо чіткої вимови і злиття фонем.

Для співставлення фрагментів використовується алгоритм динамічної трансформації часової шкали, в якості вектора параметрів якого взято евклідові відстані між смуговими представленнями розкладання Фур'є.

Нехай маємо сигнал зі спектрально-часовим представленням $S(\omega_{kl})$, $k=\overline{1,128}$ $l=\overline{1,m}$, де m – кількість кадрів. Побудуємо спектрально-смугове представлення в 9 смугах з коефіцієнтів спектрального розкладання за правилом:

$$B_{1,l}=\sqrt{S^2(\omega_{1,l})+S^2(\omega_{2,l})},\ B_{2,l}=\sqrt{S^2(\omega_{3,l})+S^2(\omega_{4,l})},$$

$$B_{3,l}=\sqrt{S^2(\omega_{5,l})+S^2(\omega_{6,l})},\ B_{4,l}=\sqrt{S^2(\omega_{7,l})+S^2(\omega_{8,l})},$$

$$B_{5,l}=\sqrt{S^2(\omega_{9,l})+S^2(\omega_{10,l})},\ B_{6,l}=\sqrt{S^2(\omega_{11,l})+...+S^2(\omega_{15,l})},$$

$$B_{7,l}=\sqrt{S^2(\omega_{16,l})+...+S^2(\omega_{25,l})},\ B_{8,l}=\sqrt{S^2(\omega_{26,l})+...+S^2(\omega_{50,l})},$$

$$B_{9,l}=\sqrt{S^2(\omega_{51,l})+...+S^2(\omega_{110,l})}.$$

Сигнали $B_{1,l}-B_{9,l}$ зашумлені, і для кожного з них необхідно виконати фільтрацію на основі простого низькочастотного фільтра вигляду:

$$y_n=\sum_{k=-N}^{N}a_kB_{n-k},$$

$$a_k=\frac{1}{k\pi}\sin 2\pi kf_c,$$

$$a_0=2f_c,\ 0<f_c\le 0.5.$$

Матриця евклідових відстаней між смуговими представленнями двох сигналів будується за правилом:

$$d_{ik} = \left\{ \sqrt{\sum_{j=1}^{9} (y_{i,j,1} - y_{k,j,2})^2} \right\}, \; i = \overline{1, m_1}, \; k = \overline{1, m_2} \; ,$$

де m_1, m_2 – кількість кадрів у першому і другому файлах.

Знайдена матриця є вхідною матрицею для алгоритму динамічної трансформації часової шкали (DTW).

Слід враховувати, що алгоритм DTW ідентифікує вхідний сигнал за мінімальною відстанню до еталона, незважаючи на величину відстані як такої. Таким чином, певний еталон завжди буде поставлений у відповідність вхідному файлу. Однак може мати місце ситуація, коли еталон, який відповідає вхідному файлу, у вибірці не присутній взагалі, і обрано найбільш схожий еталон з доступних. Ця проблема гостро стоїть на першому етапі розпізнавання, так як вибірка еталонів на цьому етапі обмежена фонемами, які є в еталонній вимові. З метою визначення ступеня близькості входу до еталона запропоновано додаткове обмеження, згідно з яким відстань від вхідного сигналу до еталона повинна значно відрізнятися від відстаней для інших файлів. Поняття «значності» зв'яжемо з величиною дисперсії δ вибірки відстаней, поклавши в якості порога 1/3 дисперсії. Таким чином, правило прийняття рішення про відповідність виглядає як:

$$I = \arg\min_i (D_i),$$

$$D_i \geq \frac{\delta}{3},$$

де D – відстань між файлами, знайдена за допомогою алгоритму DTW.

При невиконанні правила фонема вважається неідентифікованою і ставиться у чергу на наступний етап обробки – порівняння з базовими фонемами. Неправильна вимова фонеми може виражатися в заміні однієї фонеми на іншу (|р| на |г| або |л|, |з| на |с|, твердої фонеми на м'яку тощо). Якщо фонему не вдалося зіставити з жодною фонемою в еталонній вимові, наступним етапом є зіставлення з базою фонем з метою виявлення можливого випадку заміни. У випадку, коли кількість фонем у слові не співпадає з еталоном, кожна фонема еталона зіставляється із вхідним файлом так, щоб поставити у відповідність одну з вхідних фонем, при цьому не порушуючи порядку слідування фонем. Якщо при сегментації виявлено більше однієї неідентифікованої ділянки поспіль, ділянки об'єднуються і порівнюються з базою еталонних фонем як одна фонема. Якщо за базою еталонних фонем найближчий результат не відповідає сусідній

зліва або справа фонемі, ділянка мови помічається як дефектна. Діаграму діяльності алгоритму виявлення дефектів наведено на рис. 3.

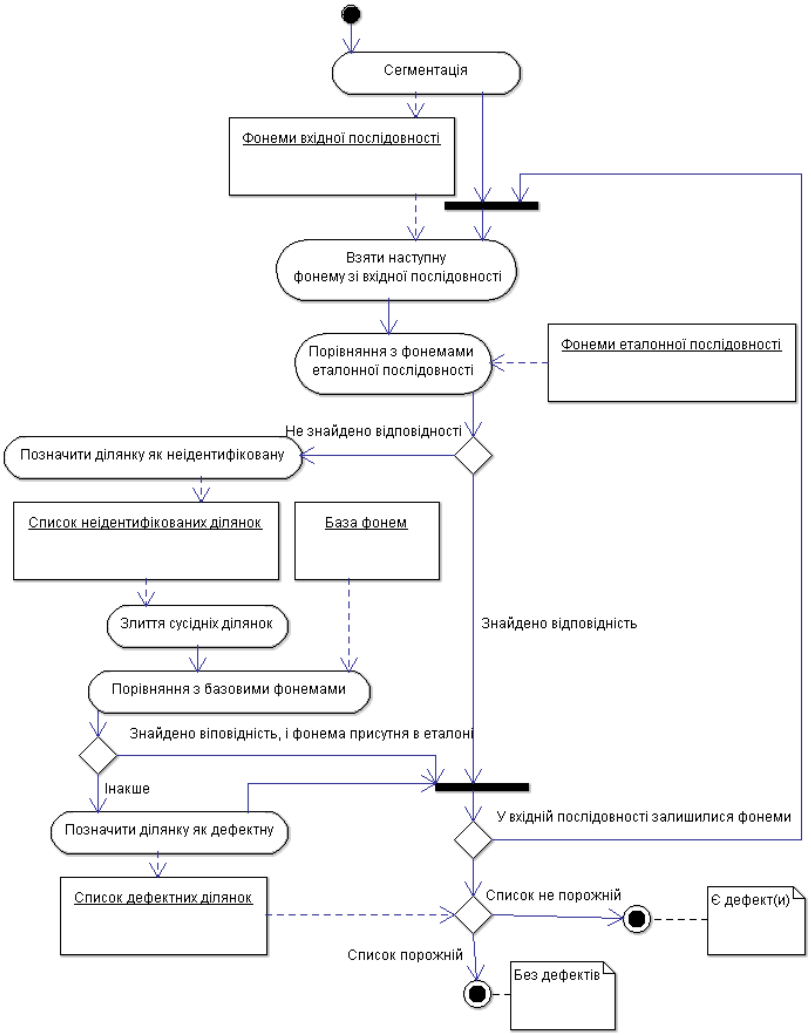


Рисунок 3 – Алгоритм виявлення дефектів

На останньому етапі необхідно визначити тип дефекту, маючи інформацію про спотворену ділянку. На цьому етапі відсутня необхідність розпізнавання фонеми, адже сказане слово або фраза, яка аналізується, апріорно відомі, також як і еталонне звучання. Потрібно лише виявити розташування фрагмента, який відсутній або спотворений у вхідному файлі.

Для визначення типу дефекту отриманий результат поєднується з апріорним знанням того, якій саме фонемі відповідає проблемна ділянка сигналу. Це дозволяє приймати рішення про клас дефекту [8]: сигматизм (дефект вимови свистячих і шиплячих звуків); ротацизм (дефект вимови звуків [Р], [Р ']); ламбдацизм (дефект вимови звуків [Л], [Л ']); каппацизм (дефект вимови звуків [К], [К ']); гаммацизм (дефект вимови звуків [Р], [Г ']); хітизм (дефект вимови звуків [Х], [Х ']); йотацизм (дефект вимови звуку [j]).

Висновки. Описані алгоритми реалізовано у складі інформаційної технології, призначеної для надання допомоги в постановці вимови шляхом надання можливості самостійного оцінювання якості вимови.

Напрям подальших досліджень: удосконалення алгоритмів автоматичної сегментації, автоматизація підбору налаштувань алгоритмів.

Бібліографічні посилання

1. Шелепов В.Ю., Ниценко А.В. Сегментация речевого сигнала, соответствующего заранее известному слову. *Искусственный интеллект*. 2014. № 4. С. 202–207.

2. Бурибаева А.К., Дорохина Г.В., Ниценко А.В., Шелепов В.Ю. Сегментация и дифонное распознавание речевых сигналов. *Труды СПИИРАН*. 2013. Вып. 8(31). С. 20–42.

3. Сорокин В.Н., Цыплихин А.И. Сегментация и распознавание гласных. *Информационные процессы*. Т. 4. № 2. С. 202–220.

4. Вишнякова О.А., Лавров Д.Н. Автоматическая сегментация речевого сигнала на базе дискретного вейвлет-преобразования. *Математические структуры и моделирование*. 2011. Вып. 23. С. 43–48.

5. Al-Naymat G., Chawla S., Taheri J.. Sparse DTW: A novel approach to speed up Dynamic Time Warping. URL: https://arxiv.org/pdf/1201.2969v1.pdf (дата звернення: 14.11.2019).

6. Velican V., Grigore O., Grigore C. Pattern Recognition Based Method Used in Identifying Impaired Speech. *Proceedings of the 2nd international*

conference on Applied informatics and computing theory. September 2011. P. 190–194.

7. Potamianos G., Neti C. Automatic Speechreading Of Impaired Speech. *Proceedings of the International Conference on Auditory-Visual Speech Processing*. Aalborg, 2001. P. 177–182.

8. Ganapathiraju A., Hamaker J., Picone J., Doddington G.R. and Ordowski M. Syllable-Based Large Vocabulary Continuous Speech Recognition. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing.* 2001. Vol. 9. N. 4. P. 358–366.

Надійшла до редколегії 14.11.2019.

УДК 519.254:519.237.8

О. М. Мацуга, В. С. Шеремет
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ДАНИХ З ПРОПУСКАМИ МЕТОДОМ K-СЕРЕДНІХ

Наведено огляд існуючих підходів до кластеризації даних з пропусками. Проведено обчислювальні експерименти для їх порівняння у разі застосування методу *k*-середніх. Для порівняння обрано методи заповнення пропусків середнім, медіаною і на основі методу головних компонент, а також методи кластеризації даних з пропусками KSC і *k*-POD. Одержані результати показали перевагу методу кластеризації KSC та заповнення пропусків на основі методу головних компонент.

Ключові слова: *кластеризація, метод k-середніх, пропуски, заповнення пропусків, зовнішні метрики якості, обчислювальний експеримент.*

Приведен обзор существующих подходов к кластеризации данных с пропусками. Проведены вычислительные эксперименты для их сравнения в случае применения метода *k*-средних. Для сравнения выбраны методы заполнения пропусков средним, медианой и на основе метода главных компонент, а также методы кластеризации данных с пропусками KSC и *k*-POD. Полученные результаты показали преимущества метода KSC и заполнения пропусков на основе метода главных компонент.

Ключевые слова: *кластеризация, метод k-средних, пропуски, заполнение пропусков, внешние метрики качества, вычислительный эксперимент.*

The clustering task is a very important data mining task arising in many applications. However, well known and widely used clustering methods cannot work with datasets that have missing values. The paper provides an overview of the existing approaches to data with missing values clustering and a comparative analysis of chosen approaches when applying the *k*-means clustering method. Commonly used approaches are: 1) deletion entities or features with missing values with further complete data clustering, 2) imputation (filling in the missing values) with further complete data clustering, 3) using clustering methods that work with missing data. The following methods within these approaches were chosen for comparison: mean substitution, median substitution, imputation based on principal component analysis and two *k*-means extensions – KSC and *k*-POD. In order to conduct the comparative analysis the software «ClustDMV» was developed on the C# using the .NET Core framework. The software is a desktop application with a

© Мацуга О. М., Шеремет В. С., 2019.

graphical interface.The following computational experiments were carried out using the created software. One hundred two-dimensional datasets were simulated in each experiment. All the datasets in one experiment were modeled with the same clusters parameters. Each dataset consists of 800 entities from four clusters. Then a certain percentage of omissions were randomly entered into the data. After that, either the missing values were filled in and *k*-means method was used with the complete data, or the KSC and *k*-POD methods were applied to the data with missing values. In order to evaluate the clustering quality Rand index was used. Indexes obtained on all 100 datasets were averaged.The paper presents the results of three typical experiments. According to the results the KSC method and imputation based on principal component analysis showed the best performance.

Keywords: *clustering, k-means method, missing values, impute missing values, external evaluation measures, computational experiment.*

Постановка проблеми. Задача кластерного аналізу полягає у розбитті заданого набору об'єктів на підмножини, що називаються кластерами, так, щоб кожен кластер складався зі схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізнялися.

На практиці часто виникає необхідність розв'язувати цю задачу на даних з пропусками, тобто коли у деяких об'єктів відсутні значення деяких показників. Це становить проблему, оскільки усі поширені й загальновідомі методи кластеризації (*k*-середніх, ієрархічні, EM тощо) працюють лише на даних без пропусків. Для подолання цієї проблеми запропоновано декілька різних підходів, але актуальним досі залишається питання вибору найкращого з них. Тому в рамках даної роботи було поставлено за мету проаналізувати існуючі підходи до кластеризації даних з пропусками і провести їх порівняльний аналіз у разі застосування методу *k*-середніх. Останній обраний через те, що є одним з найвідоміших і найпоширеніших методів кластеризації [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Можна виділити три загальні підходи до кластеризації даних з пропусками:

1. Видалення з набору даних об'єктів або ознак, у яких є пропущені значення, і подальша кластеризація даних без пропусків.

2. Заповнення пропусків і подальша кластеризація повних даних.

3. Використання методів кластеризації, що враховують наявність пропусків у даних.

Недолік першого підходу полягає в тому, що він призводить до скорочення набору даних та неможливості кластеризувати об'єкти з пропущеними значеннями. Проте цей підхід простий в реалізації і може бути рекомендований, коли кількість пропусків дуже мала.

Другий підхід є найбільш розповсюдженим на практиці. В його

рамках запропоновано значну кількість методів заповнення пропусків, серед яких можна виділити такі [2–5]:

- Заповнення пропусків середнім значенням відповідного показника (mean substitution). Замість середнього інколи використовують медіану, а якщо показник з пропусками якісний, тоді відсутні значення заповнюють модою.
- Індикаторний метод (indicator method) – полягає у заповненні пропусків спеціальним значенням (як правило, нулем) та введенням додаткового бінарного показника, який набуває нульових значень на тих об'єктах, що не мають пропусків, і ненульових – на об'єктах, у яких є пропуски.
- Метод найближчого сусіда – для об'єкта, у якого відсутні значення деяких показників, шукають найближчий, у якого ці показники відомі, і заповнюють ними пропуски. Але необхідно, щоб у наборі даних була достатня кількість об'єктів без пропусків.
- Регресійний метод – пропущене значення конкретного показника заповнюють, прогнозуючи його на основі інших показників за допомогою моделі регресії. Тут може бути використана класична лінійна модель регресії, випадковий ліс регресійних дерев або інша модель. Очевидно, що метод можна застосовувати лише якщо показник з пропусками корелює з іншими показниками набору і є кількісним. Для заповнення пропусків у якісних показниках замість моделей регресії використовують класифікатори.
- Метод на основі сингулярного розкладання (singular value decomposition – SVD) – знаходять сингулярне розкладання матриці вхідних даних, тоді пропуски заповнюють на основі матриці, одержаної із сингулярного розкладання.
- Алгоритм ZET – запропонований Загоруйко Н.Г. і базується на припущеннях щодо надмірності даних у наборі, локальної компактності та лінійної залежності [6].
- Повторення результату попереднього спостереження (last observation carried forward – LOCF) – цей метод доцільно застосовувати у разі кластеризації часових рядів, у яких наступні спостереження, як правило, залежать від попередніх.

Також варто вказати метод множинного заповнення пропусків (multiple imputation for missing data), запропонований у 1977 році Рубіном [3; 5]. Цей метод включає в себе ідею багатокроковості й є у своїй реалізації важким, бо описується абстрактно й потребує конкретизації залежно від задачі, тому, незважаючи на численні рекомендації, так і не набув великої популярності.

В рамках третього підходу до кластеризації даних з пропусками, зазвичай, розробляють модифікації відомих методів. Наприклад, на базі методу *k*-середніх, що є предметом розгляду в даній роботі, розроблено методи KSC (*k*-means with Soft Constraints) [7] та *k*-POD [8]. Особливістю методу KSC є те, що він вимагає наявності хоча б одного показника, який не містить жодного пропущеного значення.

Слід зазначити, що ефективність розглянутих підходів та методів роботи з пропусками значною мірою залежить від механізму породження пропусків. Залежно від механізму, що призвів до появи пропусків, виділяють такі їх типи [2–5]:

- Повністю випадкові (missing completely at random, MCAR) – ймовірність появи таких пропусків не залежить ні від значень показника, в якому з'явилися пропущені значення, ні від значень інших показників. Наприклад, через втрату зразків крові окремого пацієнта для нього не будуть визначені деякі показники крові.
- Частково випадкові (missing at random, MAR) – ймовірність появи таких пропусків не залежить від значень спостережуваного показника, але обумовлена значеннями інших показників. Наприклад, пацієнти з певним діагнозом можуть мати протипоказання до деяких обстежень, тому у таких пацієнтів будуть відсутні значення показників цих обстежень.
- Невипадкові (missing not at random, MNAR) – ймовірність їх появи залежить від значень самого показника. Наприклад, значення показника може не потрапляти в діапазон чутливості вимірювального приладу, внаслідок чого буде відсутнє.

Вищерозглянуті підходи та методи орієнтовані, головним чином, на пропуски типу MCAR. Хоча, наприклад, автори методу *k*-POD зазначають, що результати роботи їх методу майже не залежать від типу пропусків [8].

Постановка задачі. Необхідно провести порівняльний аналіз різних підходів до кластеризації даних з пропусками типу MCAR методом *k*-середніх. Припускається, що набір даних містить лише кількісні показники.

Основний матеріал. Для порівняння у роботі було обрано методи, які можна вважати найбільш універсальними і застосовувати до довільних наборів даних з кількісними показниками:

- Заповнення пропусків середнім та медіаною.
- Заповнення пропусків на основі методу головних компонент (МГК). Він являє собою варіацію методу на основі SVD. Будують коваріаційну матрицю вхідних даних з ігноруванням пропусків.

Обчислюють власні числа і вектори цієї матриці. В МГК на їх основі будують головні компоненти, але в роботі знання власних чисел та векторів дозволяє одержати сингулярне розкладання початкової матриці даних, відновити її і тим самим заповнити пропуски.

- Використання модифікацій методу *k*-середніх, що дозволяють кластеризувати дані з пропусками. Це методи KSC та *k*-POD.

З метою проведення їх порівняльного аналізу було розроблено програмний продукт «ClustDMV». У процесі його розробки використано такі технології:

- Середовище розробки – Visual Studio.
- Мова програмування – C# (.NET Core).
- Додаткові бібліотеки – Accord.Math, Accord.Statistics, Algomera, CenterSpace. Перші дві були використані у процесі реалізації EM алгоритму, а дві останні – для побудови дендрограми в ієрархічних методах.

Програмний продукт «ClustDMV» має такий функціонал:

- Завантаження або генерація даних. Передбачено генерацію повних даних із заздалегідь відомим розбиттям по кластерах, а також генерацію даних з пропусками на їх основі.
- Заповнення пропусків середнім або медіаною відповідної ознаки, а також на основі МГК.
- Кластеризація даних з пропущеними значеннями методами KSC та *k*-POD, що є модифікаціями методу *k*-середніх.
- Кластеризація даних без пропусків методом *k*-середніх (алгоритм Ллойда). Також реалізовано кластеризацію ієрархічними методами та EM алгоритмом.
- Оцінювання якості роботи різних підходів до кластеризації даних з пропусками шляхом порівняння результатів кластеризації із заздалегідь відомими на основі таких індексів: Rand, Jaccard, Fowlkes-Mallows, Sorensen-Dice (усі індекси набувають значень від 0 до 1). Результати порівняння відображаються у вигляді наочних діаграм.

Головне вікно застосунку наведено на рис. 1.

За допомогою створеного програмного забезпечення було проведено ряд обчислювальних експериментів на змодельованих наборах даних. У ході кожного експерименту моделювалось 100 двовимірних наборів даних згідно суміші нормальних розподілів. Усі 100 наборів моделювалися з однаковими параметрами кластерів. Кожен набір містив 800 об’єктів, розділених на 4 сферичні кластери (по 200 об’єктів у кожному кластері).

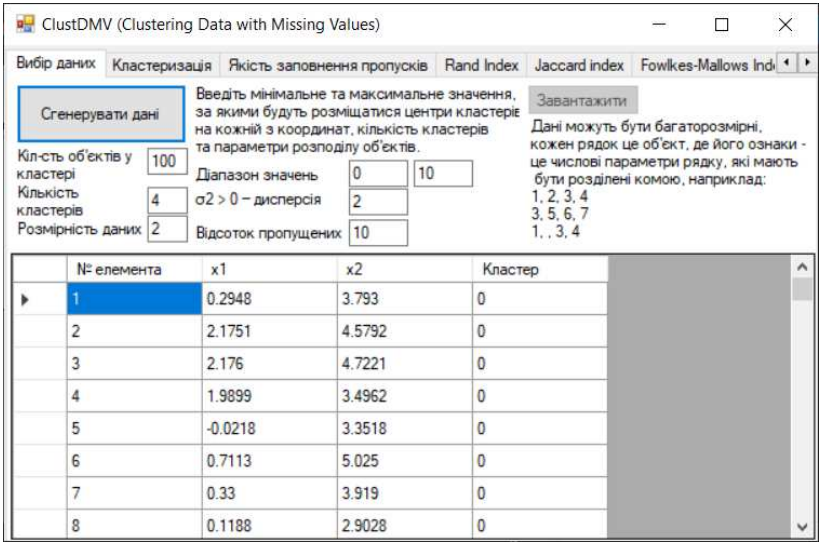


Рисунок 1 – Головне вікно розробленої програми «ClustDMV»

У кожному експерименті на кожному зі 100 наборів даних виконувалося таке. Випадковим чином вносився заданий відсоток пропусків. Тоді пропуски або заповнювалися (середнім, медіаною, на основі МГК) і проводилася кластеризація повного набору методом *k*-середніх, або дані з пропусками кластеризувалися методом KSC (з $w = 0.5$) чи *k*-POD. Щоб оцінити якість кластеризації, одержане розбиття порівнювалося із відомим на основі Rand Index. Вищі значення індексу свідчили про кращу якість кластеризації і були більш бажані. Значення індексу, одержані для усіх 100 наборів, усереднювалися.

Нижче наведено і проаналізовано результати трьох експериментів. Під час першого експерименту моделювались набори даних, в яких кластери були сильно відокремлені один від одного. У ході другого експерименту розглядалися набори з кластерами, що також не перетиналися, але були розташовані більш близько. У третьому експерименті було розглянуто випадок, коли кластери перетиналися. В усіх експериментах для кожного кластеру дисперсійно-коваріаційну матрицю було задано як одиничну матрицю. Центри кластерів для було задано такими:

- Експеримент 1: (5, 22), (18, 23), (18.5, 11), (35, 29).

- Експеримент 2: (0, 10), (4, 10), (4, 4), (7, 6).
- Експеримент 3: (0, 4), (3, 5), (4, 7), (6, 3).

Усередненні значення Rand Index для кожного з трьох експериментів наведено нижче (табл. 1–3). Чим вищі значення індексу, тим якіснішою є кластеризація даних. Одержані результати дозволяють зробити такі висновки:

- Якщо кластери дуже добре відокремлені один від одного, то найкращу якість кластеризації забезпечує метод KSC майже при будь-кому відсотку пропущених значень. Усі методи заповнення пропусків у такому випадку значно спотворюють дані і, як наслідок, забезпечують гіршу якість кластеризації.
- Якщо кластери досить близько розташовані або взагалі перетинаються, то найкращу якість кластеризації поряд з методом KSC показує заповнення пропусків на основі МГК.

Таблиця 1

Усереднене значення Rand Index ± його середньоквадратичне відхилення під час експерименту 1

Відсоток пропусків, %	**Заповнення пропусків середнім**	**Заповнення пропусків медіаною**	**Заповнення пропусків на основі МГК**	**Метод KSC**	**Метод *k*-POD**
10	0,708 ±0,00884	0,849 ±0,00236	**0,989 ±0,0013**	0,944 ±0,00118	0,837 ±0,00255
20	0,657 ±0,00985	0,721 ±0,00289	0,852 ±0,00149	**0,869 ±0,00046**	0,728 ±0,00059
30	0,638 ±0,00132	0,665 ±0,0012	0,722 ±0,00111	**0,820 ±0,0002**	0,683 ±0,0002
40	0,622 ±0,00027	0,640 ±0,00147	0,654 ±0,00292	**0,769 ±0,00227**	0,622 ±3,3E-05
50	0,615 ±0,00230	0,622 ±0,00042	0,646 ±0,00059	**0,706 ±0,00054**	0,560 ±0,00052
60	0,612 ±0,00128	0,602 ±0,0023	**0,647 ±0,00221**	0,639 ±0,00188	0,500 ±0,01261

Таблиця 2

Усереднене значення Rand Index ± його середньоквадратичне відхилення під час експерименту 2

Відсоток пропусків, %	Заповнення пропусків середнім	Заповнення пропусків медіаною	Заповнення пропусків на основі МГК	Метод KSC	Метод *k*-POD
10	0,783 ±0,00565	0,784 ±0,01586	0,878 ±0,01005	**0,894 ±0,00089**	0,845 ±0,00042
20	0,701 ±0,00196	0,689 ±0,00643	**0,841 ±0,00552**	0,809 ±0,00016	0,743 ±0,00078
30	0,679 ±0,00048	0,661 ±0,00333	**0,793 ±0,00098**	0,761 ±0,00135	0,693 ±0,00075
40	0,635 ±0,00215	0,635 ±0,00098	**0,724 ±0,00063**	0,710 ±0,0015	0,649 ±0,00157
50	0,606 ±0,00156	0,603 ±0,00154	**0,674 ±0,0043**	0,652 ±0,0015	0,596 ±0,00154
60	0,568 ±0,00568	0,573 ±0,00518	**0,650 ±0,00038**	0,586 ±0,00058	0,543 ±0,00386

Таблиця 3

Усереднене значення Rand Index ± його середньоквадратичне відхилення під час експерименту 3

Відсоток пропусків, %	Заповнення пропусків середнім	Заповнення пропусків медіаною	Заповнення пропусків на основі МГК	Метод KSC	Метод *k*-POD
10	0,747 ±0,00072	0,771 ±0,00357	**0,842 ±0,02166**	0,825 ±0,00136	0,786 ±0,00258
20	0,685 ±0,00216	0,677 ±0,00519	**0,778 ±0,00314**	0,761 ±0,00169	0,695 ±0,00233
30	0,656 ±0,00035	0,652 ±0,00131	**0,730 ±0,00197**	0,724 ±0,00056	0,647 ±0,00046
40	0,619 ±0,00283	0,626 ±0,00112	0,681 ±0,0064	**0,688 ±0,00192**	0,595 ±0,00108
50	0,581 ±0,0012	0,604 ±0,00208	0,634 ±0,00418	**0,645 ±0,00093**	0,545 ±0,00266
60	0,546 ±0,00789	0,578 ±0,00183	**0,620 ±0,01022**	0,592 ±0,00081	0,494 ±0,00104

Висновки. Проведено огляд існуючих підходів до кластеризації даних з пропусками і здійснено порівняльний аналіз декількох підходів у разі застосування методу *k*-середніх. Для порівняльного аналізу обрано методи заповнення пропусків середнім, медіаною і на основі методу головних компонент, а також методи кластеризації даних з пропусками KSC і *k*-POD (останні базуються на методі *k*-середніх). Розроблено програмний продукт «ClustDMV», який забезпечує проведення кластеризації даних з пропусками та порівняльного аналізу обраних методів. За допомогою розробленого програмного продукту проведено обчислювальні експерименти, результати яких показали, що найкращу якість кластеризації даних з пропусками забезпечує метод кластеризації KSC та заповнення пропусків на основі методу головних компонент.

Бібліографічні посилання

1. Steinley D. K-means clustering: A half-century synthesis. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*. 2006. Vol. 59. P. 1–34.

2. Глушко О. Обработка пропусков в данных – часть 1. URL: https://basegroup.ru/community/articles/missing (дата звернення: 14.11.2019).

3. Литтл Р. Дж. А., Рубин Д. Б. Статистический анализ данных с пропусками. Москва: Финансы и статистика, 1990. 336 с.

4. Guan N.C., Yusoff M.S.B. Missing values in data analysis: Ignore or Impute? *Education in Medicine Journal*. 2011. Vol. 3 (1). P. e6–e11. DOI:10.5959/eimj.3.1.2011.or1

5. Pigott T.D. A Review of Methods for Missing Data. *Educational Research and Evaluation*. 2001. Vol. 7. No. 4. P. 353–383. DOI:10.1076/edre.7.4.353.8937

6. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. 270 с.

7. Wagstaff K. Clustering with Missing Values: No Imputation Required. *Proceedings of the Meeting of the International Federation of Classification Societies*. 2004. P. 649–658. DOI:10.1007/978-3-642-17103-1_61

8. Chi J.T., Chi E.C., Baraniuk R.G. *k*-POD. A Method for *k*-Means Clustering of Missing Data. *The American Statistician*. 2016. Vol. 70. Issue 1. P. 91–99. DOI: 10.1080/00031305.2015.1086685

Надійшла до редколегії 15.11.2019.

УДК 004.7

В. С. Алексашин, Г. Й. Михальчук

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

МЕТОД РАНЖУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ПОШУКУ ЗА КЛЮЧОВИМИ СЛОВАМИ У ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНІЙ МЕРЕЖІ

Розроблено метод ранжування об'єктів для пошуку за ключовими словами у децентралізованій мережі. Представлений метод підтримує 2 види пошуку: пін-пошук та пошук суперсету, які можуть бути використанні для побудови пошукової інфраструктури різного виду застосунків, серед яких: система для пошуку документів, обміну файлами та широкий спектр мультимедійних застосунків.

Ключові слова: *інформаційні технології, децентралізовані мережі, пошук об'єктів, ранжування, розподілені хеш-таблиці.*

Разработан метод ранжирования объектов для поиска по ключевым словам в децентрализованной сети. Представленный метод поддерживает 2 вида поиска: пин-поиск и поиск суперсета, которые могут быть использованы для построения поисковой инфраструктуры разного вида приложений, среди которых: система для поиска документов, обмен файлами и широкий спектр мультимедийных приложений.

Ключевые слова: *информационные технологии, децентрализованные сети, поиск объектов, ранжирование, распределённые хеш-таблицы.*

Search is a core part of any complete file and resource distribution system. Determining the location of unknown files by description – for example, based on keywords or meta-data resources – requires searching. In modern peer-to-peer systems end users cannot retrieve content unless it knows its unique name. In contrast, Web search services, such as Google, allow users to search for content (documents, images, videos, locations etc.). However, these services must actively and repeatedly index the Internet content by hyper-linking from one resource to another. Today, the exponential growth of Internet content makes it difficult to build and maintain a complete index of documents to support effective search. The breadth and rapid development of the Internet means that even the best search services will always be incomplete and inaccurate. The purpose of this work is to develop an efficient peer-to-peer search architecture and algorithm, that support object ranking and superset search. Proposed system involves hypercubes and spanning binomial trees to provide scalable and efficient multiple keyword mechanism, that supports

© Алексашин В. С., Михальчук Г. Й., 2019.

features, that are highly desired for convenient and effective search infrastructure, while being fully decentralized and fault-tolerant. Dynamic Hash-Tables are used as an overlay network considering their popularity and a list of valuable characteristics. Proposed index scheme uses a clustered approach to group objects based on their keyword sets. This allows you to more evenly distribute workload across network nodes when performing general keyword searches. The described method scales well on a large scale network. In addition, low-level optimizations, such as route caching and search record information on adjacent nodes, can be used to further improve method scaling and reduce overall node load.

Keywords: *peer-to-peer networks, decentralized networks, object search, search ranking, distributed hash-tables.*

Вступ. Peer-to-peer мережі – це самоорганізовані розподілені системи, де вузли-учасники надають та отримують послуги один від одного, не виділяючи ролей чистих клієнтів чи чистих серверів. Peer-to-peer мережі останнім часом привертають велику увагу, насамперед через велику кількість переваг, які вони пропонують для застосунків, побудованих на них. Ці переваги включають масштабованість, доступність, толерантність, децентралізоване управління та анонімність. Поряд з цими бажаними перевагами постала низка технічних проблем.

Пошук – це основна частина будь-якої повної системи розповсюдження файлів та ресурсів. Визначення локації невідомих файлів за описом – наприклад, на основі ключових слів або метаданих ресурсів – вимагає пошуку. У сучасних peer-to-peer системах кінцевий користувач не може отримати контент, якщо він не знає його унікального імені. На відміну від цього, веб-сервіси пошуку дозволяють користувачам здійснювати пошук за вмістом. Однак ці сервіси повинні активно та неодноразово індексувати інтернет-вміст, слідуючи за гіперпосиланням з одного ресурсу на інший. Поточна пошукова інфраструктура в Інтернеті обмежена її централізованим дизайном та принципом HTTP, що заснований на стягуванні даних.

Поточний рух у напрямку peer-to-peer систем для розповсюдження файлів дає нам можливість значно покращити пошук. Якщо пошук в Інтернеті є централізованим, peer-to-peer пошук може бути повністю розподіленим, і, таким чином, більш масштабованим та надійним. Якщо пошук в Інтернеті залежить від сканерів для відкриття нового або оновленого контенту, система децентралізованого пошуку може скористатися операціями вставки для створення поточного індексу всього мережевого контенту.

Хоча, мабуть, можна створити високоефективну централізовану службу пошуку для peer-to-peer систем, пошукова інфраструктура для розподіленого peer-to-peer сховища також повинна бути розподілена для досягнення описаних вище переваг. Використовуючи ту саму надлишкову, розподілену інфраструктуру, яка підтримує peer-to-peer зберігання та пошук вмісту, можна досягти збільшеної доступності, масштабованості та балансування навантаження.

Аналіз пов'язаних досліджень. Перше покоління однорангових систем складається з Napster [11], Gnutella [12] та Freenet [13]. Napster і Gnutella використовують пошук як основну техніку визначення місця розташування. Napster здійснює пошук централізовано на відомих серверах, які зберігають метадані, місцеположення та ключові слова для кожного документа. Gnutella здійснює трансляцію пошукових запитів на всі вузли та дозволяє кожному вузлу здійснювати пошук у конкретному виконанні. Freenet не забезпечує механізму пошуку, а натомість залежить від відомих імен та відомих каталогів імен.

Існуючі механізми пошуку peer-to-peer даних, такі як Kadelemia [2], Chord [4], CAN [5], PAST [6], фактично забезпечують масштабовану розподілену хеш-таблицю, яка дозволяє відображати окремі ключі до вузлів по всій мережі. Коли вузол бажає опублікувати вміст, він спочатку хешує вміст файлу, щоб виявити вузол, відповідальний за його збереження. Таким чином неможливо здійснити пошук, не знаючи точного ідентифікатора файлу.

Для забезпечення можливості пошуку за допомогою ключових слів запропоновано розширення, яке називається методом перевернутої розподіленої хеш-таблиці [3]. Основна ідея перевернутої розподіленої хеш-таблиці полягає у використанні ключових слів як індексів для пошуку файлів шляхом збереження відображення <ключове_слово-список_значень> на кожному вузлі розподіленої хеш-таблиці замість <ідентифікатор_файлу-значення>.

Система, яка використовує механізм перевернутої хеш-таблиці, є слабкою до проблеми, що називається загальною проблемою ключових слів. Загальна проблема ключових слів виникає через те, що певні ключові слова зазвичай асоціюються з дуже великою кількістю файлів порівняно з іншими ключовими словами. Отже, невеликій кількості сусідніх вузлів, які відповідають за збереження інформації про місцеположення для таких загальних ключових слів, доведеться споживати надмірну кількість сховища та мережевого трафіку, порівняно з іншими вузлами. Для подолання цієї проблеми було запропоновано використання фільтра Блума [3] та Keyword Fusion [8].

Зазначені вище роботи не вирішують проблему ранжування об’єктів, яка досі є недостатньо вивченою. Якщо простір об’єктів є дуже великим, запит, що складається з декількох популярних ключових слів, може отримати набір з дуже великою кількістю об’єктів. Ранжування загалом вимагає певних глобальних знань. Наприклад, при пошуку інформації для вимірювання важливості ключового слова використовується концепція зворотної частоти документа (IDF). Він визначається як логарифм відношення кількості документів у колекції до кількості документів, що містять ключове слово [10]. Тож нечасті слова мають високий показник IDF, а загальні слова, наприклад "файл", мають низький рівень IDF. IDF можна легко обчислити, коли служба індексації централізована, але в децентралізованому середовищі вартість обчислення якісної оцінки є дуже високою.

Постановка задачі. Метою роботи є розробка ефективного методу ранжування об’єктів для пошуку за ключовими словами у децентралізованій мережі, що підтримує пошук суперсету з динамічним значенням порога.

Неформальний опис методу. Основна ідея методу полягає в тому, щоб представити кожен об’єкт у вигляді бітового вектора відповідно до його набору ключових слів. Розглядаючи ці r-бітові вектори як точки в r-мірному гіперкубі, можна отримати багато корисних властивостей.

По-перше, записи в індексі одного ключового слова обробляються набором вузлів. Кількість вузлів цього набору залежить від популярності ключового слова: чим більше популярність ключового слова, тим більше кількість вузлів, що відповідають за ключове слово. Як результат, навантаження вузлів може бути врівноважене, і жоден вузол, ймовірно, не може бути перевантажений, навіть якщо він обробляє дуже популярне ключове слово. Крім того, оскільки низка вузлів відповідає за одне ключове слово, будь-який збій в них не може блокувати запити за участю ключового слова.

По-друге, об’єкт σ, пов’язаний із набором ключових слів K, може бути ефективно та детерміновано розміщений, якщо задано множину K. Це аналогічно пошуку ідентифікатора в мережах DHT. Як обговорювалося раніше, мережі DHT використовують ідентифікатор об’єкта для визначення його вузла обробки. Після цього розміщення об’єкта – це просто маршрутизація повідомлення до вузла, що може бути зроблено дуже ефективно в мережах. У запропонованій схемі індексів використано набір ключових слів, що асоціюється з об’єктом, для визначення унікального вузла для індексації об’єкта. Коли набір

відомий, розміщення об'єкта є настільки ж ефективним, як пошук імен у DHT-мережах.

По-третє, в пошуковій операції, крім об'єктів, набори ключових слів яких точно збігаються із заданим набором ключових слів K, можна також побачити об'єкти, набори ключових слів яких містять K. Усі ці об'єкти можна легко та ефективно отримати в нашій індексній схемі. Більше того, чим більший набір K вказав користувач, тим більше обмеження зробив користувач на своїх цільових об'єктах. Відповідно, запропонована індексна схема вимагатиме контакту з меншою кількістю вузлів. З іншого боку, коли задано невеликий набір K, велика кількість об'єктів може задовольнити запит пошуку. У цьому випадку користувач часто розраховує побачити лише невелику їх підмножину. Запропонована індексна схема також може ефективно підтримувати цей вид операцій.

У вищеописаній пошуковій операції, коли кількість відповідних об'єктів велика і користувач розраховує побачити лише частину з них, запропонована індексна схема полегшує різноманітні способи допомогти користувачам класифікувати об'єкти, що співпадають. Зокрема, об'єкти в такій індексній схемі легко розрізнити за кількістю пов'язаних ними ключових слів. Наприклад, нехай K – це набір ключових слів. Запропонована індексна схема може легко знаходити об'єкти, які асоціюються саме з набором K ключових слів, об'єктами, пов'язаними з K плюс ще одним ключовим словом, K плюс ще двома ключовими словами тощо. Більше того, у межах кожної категорії, наприклад, K плюс ще одне ключове слово, об'єкти можуть відрізнятись додатковим ключовим словом, наприклад, K плюс певним ключовим словом σ_1, K плюс певним ключовим словом σ_2 тощо.

Ця цікава функція дозволяє застосункам верхнього рівня отримувати об'єкти у бажаному порядку. Наприклад, запит може віддавати перевагу спочатку більш конкретним об'єктам. У цьому випадку, коли видається запит на пошук із набором ключових слів K, індексна схема може повертати об'єкти, що містять цей набір ключових слів K, у порядку, надаючи перевагу тим, у кого більше додаткової кількості ключових слів. Для впровадження цього механізму ранжування не потрібні глобальні знання.

Розподілена хеш-таблиця. Розподілена хеш-таблиця (DHT) – це клас децентралізованої розподіленої системи, що утворює накладну мережу, яка за своєю функцією, схожа на хеш-таблицю: пари <ключ-значення> зберігаються в DHT, і будь-який вузол, що бере участь, може

ефективно отримати значення, пов'язане із заданим ключем. Ключі – це унікальні ідентифікатори, які відображають певні значення, які, у свою чергу, можуть бути будь-якими – від адрес та документів до довільних даних [4].

Накладна мережа може бути змодельована спрямованим графом $G=(V,E)$, де V – сукупність вузлів у мережі, а E – набір зв'язків між вузлами. Кожному вузлу u присвоюється бітова унікальна ідентифікація. Коли двозначність неможлива, лише u може бути використана для ідентифікації. Наявність ребра (u,v) в E означає, що вузол u знає прямий спосіб надіслати повідомлення вузлу v.

Набір об'єктів Ω поділяється між мережею. Кожен об'єкт $\sigma \in \Omega$ також має унікальний ідентифікатор і має набір реплік, поширених у мережі. Для кожного вузла u, який зберігає копію σ, використаємо (σ,u) для позначення посилання на репліку. Посилання (σ,u) зазвичай складається з IP/порту u та фізичної адреси σ у вузлі. Щоб отримати доступ до копії σ, слід отримати посилання на σ.

Пов'язаною з накладною мережею G є схема розподіленої локалізації та маршрутизації об'єктів (DOLR) для доступу до об'єктів у мережі. Схема DOLR включає відображення $L:\Omega \to 0,1,\ldots,2^a-1$ та один механізм маршрутизації. Відображення L детерміновано та рівномірно відображає кожен об'єкт $\sigma \in \Omega$ (за його ідентифікатором) у точно один вузол – представлений у вигляді бітового бінарного рядка – для обробки об'єкта. Механізм маршрутизації визначає для кожної пари вузлів u і v з V принаймні один (u,v) шлях у G.

Операції вставки, видалення та читання в схемі DOLR вимагають того, щоб був відомим ідентифікатор цільового об'єкта. У деяких застосуваннях може знадобитися можливість знаходити об'єкт за лише ключовими словами (атрибутами). Для надання послуги пошуку ключових слів у накладній мережі вважаємо, що кожен об'єкт $\sigma \in \Omega$ асоціюється з набором K_σ ключових слів. Для будь-якого об'єкта σ говоримо, що набір ключових слів K може описувати σ, якщо $K \subseteq K_\sigma$.

Для кожного набору K ключових слів визначаємо набір Ω_K об'єктів, де $\Omega_K = \{\sigma \,||\, \sigma \in \Omega, K \subseteq K_\sigma\}$. Тобто Ω_K – це сукупність об'єктів, яку можна описати за допомогою K. Розмір $||\Omega_K||$

називається ключовою частотою K.

Для надання сервісу пошуку за ключовими словами потрібно розробити розподілену схему індексу, в якій об'єкт може бути розташований, вказавши в запиті декілька ключових слів. У сервісі можна виділити дві функції:

1. Пін-пошук: з урахуванням набору ключових слів K служба повинна повернути набір $\{\sigma \,||\, K_\sigma = K\}$ об'єктів, які асоціюються саме з набором ключових слів K.
2. Пошук суперсету: з огляду на набір ключових слів K та деякий поріг t, сервіс повинен повернути набір $\min(t, ||\Omega_K||)$ об'єктів, які можуть бути описані за допомогою K.

На практиці пошук суперсету може бути розглянутий як сукупний, коли результати, повернуті послідовними пошуками з одним і тим самим набором ключових слів, повинні бути різними. Зазвичай це використовується у великих інформаційних системах, таких як Google, у яких користувачі можуть "переглядати" великі набори об'єктів крок за кроком.

Механізм пін-пошуку. Запропонована розподілена індексна схема побудована на логічній структурі – r-мірному просторі гіперкубів – через мережу DHT. Щоб представити цю схему індексів, спочатку вводимо гіперкуб, а потім взаємозв'язок між логічною структурою та базовою мережею. R-розмірний гіперкуб $H_r(V,E)$ має 2^r вузлів. Кожен вузол u в V представлений унікальним r-бітним двійковим рядком. Використаємо $u[i]$ для позначення i-го біта u (рахуючи справа). Для кожної пари вузлів (u,v) у V і кожного цілого числа i в $\{0,1,\ldots,r-1\}$, у E існує (непряме) ребро (u,v), якщо і тільки якщо u відрізняється від v лише в i-му біті. Говоримо, що ребро (u,v) перетинає i-й вимір, а u – сусід v у i-му вимірі, і навпаки.

Для кожного вузла $u \in V$ визначаємо набір $One(u)$ цілих чисел так: $One(u) = \{i \,||\, u[i] = 1, 0 \le i \le r-1\}$; тобто позиції, в яких u біти містять 1. Аналогічно визначаємо $Zero(u) = \{i \,||\, u[i] = 0, 0 \le i \le r-1\}$. Наприклад, якщо $v = 0b010100$, то $One(v) = \{2,4\}$ і $Zero(v) = \{0,1,3,5\}$.

Трансляція може бути здійснена дуже ефективно в гіперкубах за допомогою використання охоплюючих біноміальних дерев [1]. Охоплююче біноміальне дерево $\mathrm{SBT}(u)$ для гіперкуба H_r має глибину r, а вузол v на m-му рівні $\mathrm{SBT}(u)$ (де корінь u знаходиться на рівні 0) має відстань Хеммінга m від u. Відстань Хеммінга між будь-якими двома r-бітовими двійковими рядками u та v є $\mathrm{Hamming}(u,v) = \Sigma_{i=0}^{r-1}(u[i] \oplus v[i])$. Тобто в охоплюючому біноміальному дереві кожен вузол, який знаходиться на глибині i від кореня, має точно i бітів, що відрізняються від кореня за своїм бінарним поданням. Ця важлива властивість пізніше буде використана в нашій схемі пошуку ключових слів. Можемо аналогічно визначити охоплююче біноміальне дерево на $H_r(u)$, маскуючи біти, що виникають у положеннях в $\mathrm{One}(u)$ для кожного вузла в $H_r(u)$. У цій роботі використаємо охоплююче біноміальне дерево з коренем в u на $H_r(u)$. Назвемо це охоплюючим біноміальним деревом, створеним від u, і зазначимо його $\mathrm{SBT}_{H_r}(u)$.

Нехай W – сукупність усіх ключових слів, що розглядаються в системі. Нехай $h: W \to \{0,1,\ldots,r-1\}$ – рівномірна хеш-функція, яка відображає кожне ключове слово у W на ціле число в $\{0,1,\ldots,r-1\}$. Визначимо відображення $F_h: 2^W \to V$ таким чином: $F_h(K) = u$, якщо і тільки якщо $\mathrm{One}(u) = \{i \,||\, h(\sigma) = i, \sigma \in K\}$. Іншими словами, $F_h(K)$ – вузол з бінарним числом, біти якого задаються хеш-функцією h відповідно до ключових слів у K. Говоримо, що u відповідає за K, якщо $F_h(K) = u$. Таким чином, для кожного можливого набору ключових слів у системі існує вузол у гіперкубі, відповідальний за набір. Зауважимо, що вузол може відповідати за більш ніж один набір ключових слів, оскільки $F_h(K)$ може дорівнювати $F_h(K')$ для деяких K і K'. Позначимо набор ключових слів, за які відповідає вузол u, через R_u. Тобто $R_u = \{K \subseteq W \,||\, F_h(K) = u\}$.

Для побудови схеми індексу для кожного об’єкта σ, асоційованого

з набором ключових слів K_σ, дозволяємо вузлу $F_h(K_\sigma)$ у гіперкубі підтримувати запис $\langle K_\sigma, \sigma \rangle$ у своїй індексній таблиці. Говоримо, що σ індексується у вузлі, і використовуємо Ω_u для позначення набору об'єктів, які індексуються у u. Тобто $\Omega_u = \sigma \in \Omega \,||\, K_\sigma \in R_u$.

Враховуючи набір ключових слів K, можливо знайти копію об'єкта, пов'язаного з K, спочатку знаходячи вузол у H_r, відповідальний для K. Вузол визначається за $F_h(K)$. Після того як вузол буде знайдений, за допомогою його таблиці індексів можна отримати ідентифікатор об'єкта σ, який асоціюється з набором ключових слів K. Тож пін-пошук безпосередньо підтримується даною схемою.

Механізм пошуку суперсету. Операція пошуку суперсету, що складається з набору ключових слів K і деякого порогу t, повинна повернути набір об'єктів $\min(t, ||\Omega_K||)$, який може бути описаний за допомогою K. Простір пошуку може бути обмежений у субгіперкубі $H_r(F_h(K))$. Хоча будь-який вузол субгіперкуба може потенційно індексувати деякі об'єкти, які можна описати K, між ними є незначна різниця. Якщо вузол x знаходиться на відстані d від коренів у охоплюючому біноміальному дереві $SBT_{H_r}(F_h(K))$, то кожен об'єкт, індексований на x, який може бути описаний K, асоціюється з набором ключових слів, що містить щонайменше на d ключових слів більше, ніж K. Тому такий об'єкт, ймовірно, буде менш загальним (і, таким чином, більш конкретним для певного предмета), ніж об'єкти з точно встановленим ключовим словом K. Залежно від додатків, можна досліджувати охоплююче біноміальне дерево у ширину зверху-вниз або знизу-вгору. Перший повертає результати пошуку, надаючи перевагу більш загальним об'єктам, а другий – більш конкретним. Далі описано перший підхід, але друга альтернатива може бути зроблена лише з незначною модифікацією.

Нехай $v = F_h(K)$ – вузол, який відповідає за K. Вузол u, який ініціює запит на пошук суперсету, надсилає до v запит на ключове слово $Query(K, t, u, -, -)$, де K – це запитане ключове слово, t – поріг, а u – прямий контакт до вузла u, що збирає результати. Інші два аргументи не використовуються в початковому запиті, але будуть

використані пізніше під час операції. Коли v отримує запит, він використовує свою таблицю індексів, щоб знайти всі записи $\langle K', O\rangle$ з $K' \supseteq K$, а потім надсилає ідентифікатори об'єктів (до t ідентифікаторів) безпосередньо до u. Операція пошуку закінчується, якщо повернуто t ідентифікаторів об'єкта. В іншому випадку v записує залишкову кількість ідентифікаторів об'єктів, які потрібно зібрати, в лічильник c. Вузол v також ініціалізує чергу U пар $(x,d), 0 \le d \le r-1$, де x є прямим контактом до вузла x в $SBT_{H_r}(v)$, а d – індекс для обчислення дітей вузла x у $SBT_{H_r}(v)$. Черга U ініціалізується таким чином:

Для кожного i в $Zero(v)$, (y,i) додається до U, де y – сусід v і-му вимірі. Потім операція пошуку виконується за вказаними нижче кроками:

1. Якщо U не порожня, перша пара (w,d) видаляється з U, а v посилає w повідомлення $Query(K,c,u,d,v)$. Потім вузол v переходить до кроку 3, щоб чекати результату. Якщо U порожня, пошукова операція припиняється.

2. Для кожного вузла w, який отримує повідомлення $Query(K,c,u,d,v)$, w спочатку вивчає свою таблицю індексів, щоб знайти всі записи $\langle K', O\rangle$ з $K' \supseteq K$, а потім надсилає ідентифікатори об'єктів (до c ідентифікаторів) безпосередньо до u. Нехай c_1 – кількість повернених ідентифікаторів об'єкта. Операція пошуку може припинитися, якщо $c_1 \ge c$, і в цьому випадку w посилає v повідомлення Stop, щоб повідомити v про це. В іншому випадку w готує список L, що складається з таких пар: $\{(x,i) \,||\, i < d \wedge i \in Zero(w)$, а x – сусід у і-му вимірі$\}$. Тоді w посилає повідомлення $Cont(c_1, L)$ на v.

3. Вузол v завершує операцію пошуку після отримання повідомлення Stop від w. В іншому випадку він чекає, поки w відправить йому повідомлення $Cont(c_1, L)$. Потім v додає пари з L до U, встановлює c в $c - c_1$ і переходить до кроку 1 для продовження операції. Пошук суперсету може бути накопичувальним, щоб

послідовні пошукові запити переглядали великі відповідні набори кроків. У вищеописаній операції сукупний пошук суперсету може бути легко реалізований, дозволяючи кореневому вузлу $v = F_h(K)$ зберігати чергу U для наступних запитів, поки пошук не завершиться.

Безпека DHT. Через децентралізацію, толерантність до відмов та масштабованість DHT, вони за своєю суттю більш стійкі до атаки, ніж типова централізована система. Система DHT, яка ретельно розроблена для забезпечення візантійської відмовостійкості, може захищати від слабкості в безпеці, відомої як атака Sybil, яка впливає на всі існуючі конструкції DHT [9]. Петро Меймунков, один з оригінальних авторів DHT Kadelemia [2], запропонував спосіб обійти слабкість до нападу Sybil, включивши в систему системи відносини соціальної довіри. Нова система під кодовою назвою Tonika, або відома також своїм доменним іменем 5ttt, заснована на розробці алгоритму, відомого як Electric routing, у співавторстві з математиком Джонатаном Келнером [7]. Однак дослідження ефективних засобів захисту від нападів Sybil, як правило, вважається відкритим питанням, і щорічно на найвищих науково-дослідних конференціях з питань безпеки пропонується широкий спектр потенційних засобів захисту.

Висновки. Розроблено метод ранжування для пошуку об’єктів за ключовими словами у децентралізованій мережі. Представлений метод підтримує 2 види пошуку: пін-пошук та пошук суперсету, які можуть бути використанні для побудови пошукової інфраструктури різного виду застосунків, серед яких система для пошуку документів, обміну файлами та широкий спектр мультимедійних застосунків. На відміну від підходу з використанням розподіленого інвертованого індексу, запропонована схема індексів на основі гіперкубів використовує кластерний підхід до групування об’єктів на основі їх наборів ключових слів. Це дозволяє більш рівномірно розподілити навантаження між вузлами мережі при виконанні пошуку за загальними ключовими словами. Описаний метод добре масштабується на мережі великого масштабу. Крім того, оптимізації низького рівня, такі як кешування маршрутів та інформації про пошукові записи на сусідніх вузлах, можуть бути використані для подальшого покращення масштабування методу та зниження загального навантаження на вузли.

Бібліографічні посилання

1. Johnsson S. L., Ho C. T. Optimum broadcasting and personalized communication in hypercubes. *IEEE Trans. on Computers*. 1989. 38(9). C. 1249–1268.

2. Maymounkov P., Mazières D. Kademlia: A Peer-to-peer information system based on the XOR Metric. *IPTPS 2002: Peer-to-Peer Systems*. 2002. C. 53–65.

3. Reynolds P., Vahdat A. Efficient Peer-to-Peer Keyword Searching. *Middleware*. 2003. P. 21–40.

4. Stoica I., Morris R., Karger D., Kaashoek M.F., Balakrishnan H. Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for Internet applications. *Proceedings of ACM SIGCOMM'01*. 2001. P. 149–160.

5. Ratnasamy T., Francis P., Handley M., Karp R., Shenker S. A scalable content-addressable network. *Proceedings of ACM SIGCOMM'01*. 2001. P. 161–172.

6. Rowstron A., Druschel P. Storage management and caching in PAST, a large-scale, persistent peer-to-peer storage utility. *ACM Symposium on Operating Systems*. 2001. P. 188–201.

7. Kelner J., Maymounkov P. Electric routing and concurrent flow cutting. *Theoretical Computer Science*. 2011. Vol. 412. P. 4123–4135.

8. Liu L., Ryu K. D., Lee K. W. Supporting Efficient Keyword-based File Search in Peer-to-Peer File Sharing Systems. *IEEE Global Telecommunications Conference*. 2004. P. 1259–1265.

9. Young M., Kate A., Goldberg I., Karsten M. Practical Robust Communication in DHTs Tolerating a Byzantine Adversary. *ICDCS '10 Proceedings of the 2010 IEEE 30th International Conference on Distributed Computing Systems*. 2010. P. 263–272.

10. Jones K. S. Index term weighting. *Information Storage and Retrieval*. 1973. P. 619–633.

11. Napster. URL: http://www.napster.com/ (дата звернення: 04.11.2019).

12. Gnutella. URL: http://gnutella.wego.com/ (дата звернення: 04.11.2019).

13. Hong T. Freenet: A distributed anonymous information storage and retrieval system. *ICSI Workshop on Design Issues in Anonymity and Unobservability*. 2000. P. 46–66.

Надійшла до редколегії 15.11.2019.

УДК 004.415

О. О. Багно, Г. Й. Михальчук

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ НА ОСНОВІ КЛІЄНТ-СЕРВЕРНОЇ АРХІТЕКТУРИ

Розглянуто сучасні технології розробки мобільних застосунків на основі клієнт-серверної архітектури. Розроблено програмний продукт «IRoomDesigner» під операційну систему iOS для дизайну житлових приміщень.

Ключові слова: *мобільний застосунок, дизайн, житлове приміщення, мова програмування Swift, Firebase, клієнт-серверна архітектура.*

Рассмотрены современные технологии разработки мобильных приложений на основе клиент-серверной архитектуры. Разработан программный продукт «IRoomDesigner» под операционную систему iOS для дизайна жилых помещений.

Ключевые слова: *мобильное приложение, жилое помещение, язык программирования Swift, Firebase, клиент-серверная архитектура.*

In this paper, we described the modern technologies and using it step by step coped with software development for creating a unique interior design. Software development is based on functional requirements and development methodology – incremental model. In the process of the work a software «IRoomDesigner» was created for bringing ideas into life. The pattern MVC (Model – View – Controller) was used for building application's core that consists of 5 main components: View, Controllers, Pods, Models, Managers. Furthermore, talking about database, we have decided to choose a platform Firebase and used the main its components. For authorizing, saving data, updating information and sources, FirebaseAuth, FirebaseDataBase and FirebaseStorage were implemented. The next contemporary technology, which is described and used, is Framework AVFoundation. It intended to be used for control device cameras that can help to work with camera during the registration. Moreover, in order to make application more colorful, bright and remarkable the modern library LottieAnimation was used. This library allows to use an animation for our app. Besides that, the main thing, which is described, is client – server architecture and its significance for development modern application. Finally, in order to build a connection between client and

© Багно О.О., Михальчук Г.Й., 2019.

server components, we used the REST architecture. The result of work is mobile application that can be used for creating unique design decisions. One more function, which can be helpful in real life, is the opportunity to help professional designers and people who want to create their own designs. The software for creating unique design decisions is implemented in software environment XCode, developed software can be used solely on Apple devices such as iPhone and iPad.

Keywords: *mobile application, living quarters, programming language Swift, Firebase, client-server architecture.*

Постановка проблеми. Індустрія мобільних застосунків займає величезну частину електронного бізнесу в сучасних комп'ютерних мережах. В останні роки спостерігається істотне зростання ринку мобільних застосунків у всіх його областях. Це дозволяє зробити висновок, що розробка прикладних програм для мобільних пристроїв є актуальною та доцільною.

Сучасні програмні розробки надають можливість використовувати гаджети не тільки як засіб для комунікацій, але і для вирішення задач прикладного характеру. Це і лічильник калорій, і ліхтарик, і відтворення інтернет-магазину у мобільній формі, і засоби орієнтування на місцевості.

Однією з цікавих задач, з якою періодично стикається людина, є задача створення власного дизайну житлового приміщення. На сьогоднішньому ринку робота дизайнера достатньо високооплачувана і не кожен має бажання чи можливість звернутися за допомогою до нього. Отже, головною концепцією роботи є розробка зручного мобільного застосунку на основі клієнт-серверної архітектури, який би дозволяв самостійно розробляти дизайн будь-якого житлового приміщення.

Аналіз останніх розробок та досліджень. Проведемо огляд популярних програмних продуктів для вирішення дизайнерських задач. Серед застосунків розглянемо ті, які представлені для ПК, і ті, які розроблені для мобільних пристроїв.

Sweet Home 3D – це програма для дизайну інтер'єра, яка підійде не тільки професійним дизайнерам, але і звичайним користувачам [1]. Програму можна встановити на комп’ютер або використовувати онлайн у браузері. Серед недоліків можна виділити відсутність готових дизайнерських рішень, варіацій фурнітури, достатньо складний інтерфейс.

Room Arranger – це теж програма для ПК, яка дозволяє створювати проект офісу, будинку або окремої кімнати [2]. Особливістю є

створення ландшафтного дизайну. Серед недоліків зазначимо відсутність готових дизайнів, брак можливості налаштування інтерфейсу програми та наявність лише платної версії.

Дизайн інтер'єра – це мобільний застосунок, який являє собою «скарбницю» ідей, а не алгоритм створення власного інтер'єра [3]. Серед переваг можна виділити безкоштовність, наявність безлічі готових дизайнів та зрозумілий інтерфейс. Недоліки: відсутність сервісу для створення власного дизайну, лише англомовний інтерфейс.

Home Design 3D – зручний мобільний застосунок для створення дизайнів інтер'єра, особливістю якого є можливість представлення дизайнерських рішень як у двовимірному, так і у тривимірному просторі [4]. Переваги: інтерфейс та ціна. Недоліки: відсутність готових дизайнерських рішень та відсутність можливості зберегти створений дизайн.

На завершення огляду зазначимо, що інтерфейс мобільних застосунків є простим та зрозумілим, але застосунки для ПК дозволяють вирішувати більш складні дизайнерські задачі. Також зазначимо, що у застосунках, які надають можливість створювати власні дизайнерські рішення, не представлені готові дизайни житлових приміщень. Крім того, у більшості застосунків не передбачено можливість варіації елементів фурнітури.

Постановка завдання. Завдання роботи полягає у розробці мобільного застосунку для дизайну житлового приміщення, що має відповідати наведеним нижче вимогам.

1. Наявність каталогів готових дизайнерських рішень та елементів інтер'єра.
2. Забезпечення можливості обрання типу та розмірів приміщення.
3. Забезпечення можливості створення дизайну приміщення з використанням елементів каталогів та його збереження.
4. Забезпечення можливості реєстрації та входу до власного акаунта.
5. Наявність налаштувань теми та мови застосунку.

Застосунок має функціонувати на пристроях iPhone або iPad. Версія iOS не нижче 8.0.

Основний матеріал. Розробку програмного продукту здійснено у декілька етапів:

1. Створення бази даних та заповнення її інформацією про елементи інтер'єра та готові дизайнерські рішення.
2. Створення і тестування клієнт-серверного мобільного застосунку для дизайну приміщень.

3. Проведення практичної апробації мобільного застосунку у реальному часі та з реальними користувачами.

Розглянемо основні сучасні засоби та технології, які були обрані для розробки програмного забезпечення.

Swift – це мова програмування, яка застосовується для написання мобільних застосунків, застосунків для ПК та серверів. Мова Swift увібрала в себе найкращі ідеї сучасних мов програмування. Вона поєднує виведення типів і патерн-матчінг із сучасним простим синтаксисом, дозволяючи складним ідеям бути вираженим просто і коротко. При розробці використано останню версію Swift 4.0.3 [5].

Для роботи з базою даних обрано платформу Firebase [6]. Головною причиною вибору саме Firebase є наявність на платформі сервісу аутентифікації та бази даних Firebase Realtime на «хмарі». Сервіс аутентифікації дозволяє користувачу прив'язати свої облікові записи до застосунку, а відповідно – прив'язати будь-які свої дані. Цей сервіс підтримує усі стандартні функції аутентифікації. Кожному авторизованому користувачу надається унікальний ідентифікатор користувача Firebase, який використовується при інтеграції інших сервісів Firebase.

Робота з базою даних Firebase Realtime здійснюється у режимі реального часу без необхідності робити GET запити до серверу. Дані зберігаються у форматі JSON і синхронизуються з кожним підключеним клієнтом. Після того як було отримано дані з Firebase, вони будуть кешовані та відправляться у Realm.

База даних заповнюється такими даними, як стилі кімнат, елементи інтер'єра для кухні, ванної кімнати, вітальні та спальні, а також інформацією про користувача.

Нарешті, варто згадати і про Firebase Storage. Firebase Storage – це сервіс, який підтримує завантаження файлів як з проекту, так і в проект. Було вирішено використовувати цей сервіс у застосунку через надійність, зручність та безпеку. Усі відео- та фотоматеріали профілю користувача при завантаженні будуть зберігатися у Firebase Storage. Після збереження ці матеріали відправляються у Realm, де кешуються. Саме у кешованому вигляді фото- та відеоматеріали потрапляють у Realtime.

Realm – це крос-платформна мобільна база даних. Realm розроблена, аби бути простою у використанні, і вона має свій власний механізм персистентності для продуктивності та швидкості виконання. Найголовнішою причиною обрання Realm є шифрування даних. Це дозволяє всі дані зашифровувати та розшифровувати за допомогою

алгоритму AES-256 і перевіряти за допомогою такої технології як HMAC SHA-2. Ключ шифрування генерується кожного разу при отриманні екземпляра Realm [7].

Наступна технологія, а точніше, підхід до архітектури – REST (Representational State Transfer – передача репрезентативного стану). Це стиль проектування розподілених систем за допомогою обмежень. Центральною абстракцією в REST є ресурс [8].

У застосунку REST використовується для спілкування між клієнтом та сервером. Запит, який відправляє клієнт, перетворюється у JSON формат, після цього сервер може його обробляти.

AV Foundation – це фреймворк для зйомки, обробки та редагування аудіо- та відеозображень на пристроях Apple [9]. У застосунку цей фреймворк використано на етапі авторизації користувача: для заповнення профілю необхідно або обрати світлину з галереї на пристрої, або зробити власний знімок.

Розглянемо більш детально клієнт-серверну складову застосунку. Клієнт-серверну архітектуру можна означити як концепцію інформаційної мережі, в якій основна частина її ресурсів зосереджена в серверах, обслуговуючих своїх клієнтів.

Модель клієнт-серверної взаємодії визначається перш за все розподілом обов'язків між клієнтом та сервером. Логічно можна виокремити три рівня операцій:

- рівень представлення даних, який, по суті, являє собою інтерфейс користувача і відповідає за представлення даних користувачеві і введення від нього керуючих команд;
- прикладний рівень, який реалізує основну логіку застосунку і на якому здійснюється необхідна обробка інформації;
- рівень управління даними, який забезпечує зберігання даних та доступ до них.

Перейдемо до демонстрації застосунку. Почнемо з екрана, який з'являється при вході до застосунку. На екрані «All designs» представлено каталог ідей дизайну. Кожен варіант має світлину, категорію та автора. Скріншот цього екрана наведено на рис. 1.

Наступний екран – сторінка профілю, де відбувається або створення облікового запису, або вхід у кабінет користувача (рис. 2).

Вводячи свій логін та пароль та натиснувши кнопку «Sign in», користувач потрапляє до свого облікового запису (рис. 3).

Наступна сторінка – це створення власного дизайну. Перед початком роботи необхідно ввести назву проекту, а також обрати тип кімнати, для якої планується створити дизайн (рис. 4).

Після цього буде доступна сторінка з верхньою проекцією на кімнату. Сюди можна додавати елементи інтер'єра з нижньої панелі, перетягуючи елемент на сітку (рис. 5).

Зберігати дизайн можна поставивши галочку в боксі на рисунку 6. Дизайн буде збережено у Firebase.

З переходом до сторінки «Catalog» користувачу буде доступний перегляд всіх елементів інтер'єра (рис. 6).

Окрім того, будуть доступні характеристики елементів (рис. 7).

Останній екран – це екран з налаштуваннями (рис. 8). Якщо користувач авторизований, то кнопка «Exit» буде відображатися на екрані. На даному скріншоті вона відсутня.

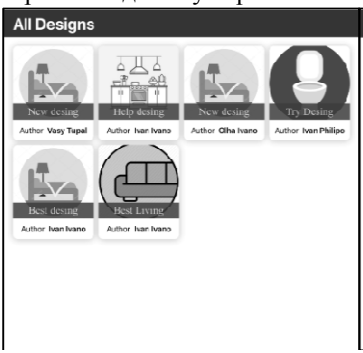


Рисунок 1 – Екран з каталогом готових дизайнерських рішень

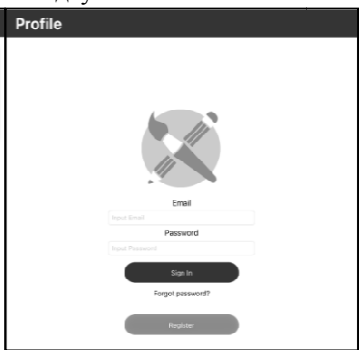


Рисунок 2 – Вхід до облікового запису



Рисунок 3 – Екран облікового запису користувача

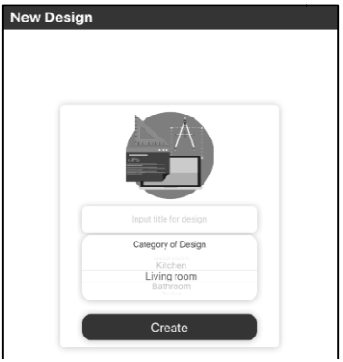


Рисунок 4 – Заповнення інформації про новий проект

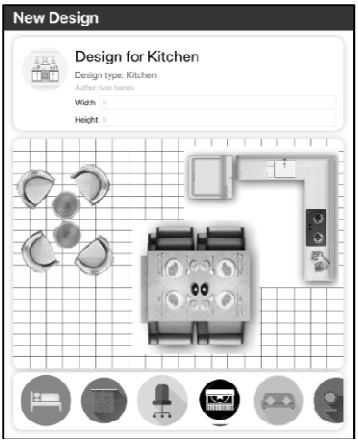


Рисунок 5 – Створення нового проекта

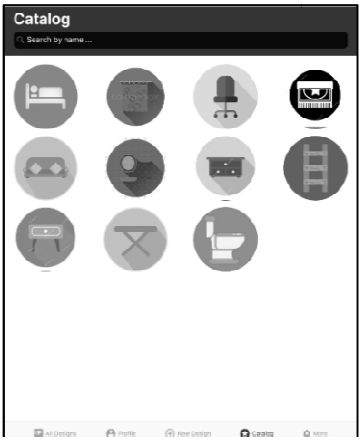


Рисунок 6 – Каталог елементів інтер'єра

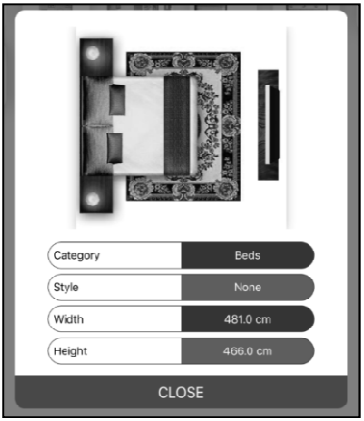


Рисунок 7 – Характеристика одного з елементів інтер'єра

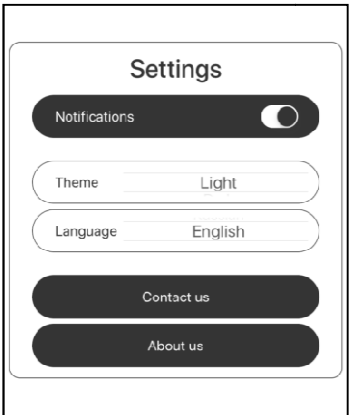


Рисунок 8 – Сторінка налаштувань

Висновки. Розглянуто сучасні технології розробки мобільних застосунків на основі клієнт-серверної архітектури. Досліджено ринок програмних продуктів, призначених для вирішення дизайнерських задач. Розроблено мобільний застосунок для дизайну житлових приміщень з використанням AV Foundation, Firebase, REST API. Програмний продукт може бути використаний як професійними дизайнерами, так і користувачами, що прагнуть створити власний дизайн інтер'єра.

У перспективі планується розробка інтелектуального алгоритму, що буде враховувати бажання користувача та пропонувати елементи декору, які могли б йому сподобатися, а також розробка 3D версії застосунку.

Бібліографічні посилання

1. Sweet Home 3D. URL: http://www.sweethome3d.com/ru/ (дата звернення: 01.11.2019).
2. Room Arranger. URL: http://roomarranger.com/ (дата звернення: 01.11.2019).
3. Дизайн інтер'єра. URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=interiordesignsideas.gellyapps (дата звернення: 01.11.2019).
4. Home Design 3D. URL: https://en.homedesign3d.net/ (дата звернення: 01.11.2019).
5. Усов В. Основы разработки приложений под iOS и macOS. Питер, 2018. 448 с.
6. Smyth N. Firebase Essentials – Android Edition. United Kingdom, 2017.
7. Realm. Create reactive mobile apps in a fraction of the time. URL: https://realm.io/ (дата звернення: 03.11.2019).
8. What is REST – Learn to create timeless REST. URL: https://restfulapi.net/ (дата звернення: 04.11.2019).
9. AVFoundation | Apple Developer Documentation URL: https://developer.apple.com/documentation/avfoundation (дата звернення: 04.11.2019).

Надійшла до редколегії 12.11.2019.

УДК 519.254

М. С. Павлов, С. В. Антоненко

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ПІДЗЕМНИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯМ КЕРОВАНОГО ЛОКАЛЬНОГО ПОШУКУ

Розглянуто обчислювальну схему оптимізації мережі моніторингу стану підземних вод з використанням керованого локального пошуку на основі методу інтерполяції Сібсона.

Ключові слова: *керований локальний пошук, крігінг, інтерполяція Сібсона, метод природної околиці, оптимізація мережі моніторингу.*

Рассмотрена вычислительная схема оптимизации сети мониторинга состояния подземных вод с использованием управляемого локального поиска на основе метода интерполяции Сибсона.

Ключевые слова: *управляемый локальный поиск, интерполяция Сибсона, метод естественных окрестностей, оптимизация сети мониторинга.*

Optimization of the existing long-term groundwater monitoring networks can reduce the maintenance cost. This process should have minimal negative impact on the network in terms of monitoring information. Depending on the number of wells, finding the group of sites where measurements could be estimated with the lowest interpolation error can be a combinatorial problem. Combinatorial optimization problem can be solved by Guided Local Search algorithm. In this paper we consider the computational scheme for optimizing existing groundwater level monitoring network located in Kryvyi Rih, Dnipropetrovsk region, Ukraine, using a natural neighbor based guided local search. To find the groups of the redundant sites Python application for the network design optimization was developed. The solution was found for the network with 46 monitoring wells. The number of wells to remove was set to 7. The number of iterations was predefined. For guided local search number of iterations was set to 20. Number of iterations for local search was set to 100. Natural Neighbor interpolation requires the computation of the Voronoi diagram with interpolation point and without interpolation point, but the concept behind it is pretty straightforward. It is a weighted average interpolation technique, where the points used to estimate the value of an attribute at location x are the natural neighbors of x. By means the ones which share the edge of Voronoi cell with x. Guided local search algorithm is trying to

© Павлов М. С., Антоненко С. В., 2019.

avoid certain components which were found in local optima to force exploration elsewhere, basically using the components which haven't been used much in high-quality solutions found before. Based on the results further development of the tool for the groundwater level monitoring network optimization is planned.

Keywords: *guided local search, natural neighbor interpolation, groundwater level monitoring network optimization.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Оптимізація довгострокових мереж моніторингу підземних вод з великою кількістю свердловин може скоротити витрати органів управління водними ресурсами. Щільність мережі та частота вимірювань безпосередньо впливають на витрати. Зменшення кількості свердловин має мінімально впливати на інформативність мережі. Залежно від кількості свердловин вичерпний пошук рішення може бути неприйнятний за часом. У такому разі задачу оптимізації мережі можна розглядати як задачу комбінаторної оптимізації. Евристичні процедури оптимізації можуть скоротити час на пошук прийнятного рішення. Питання розробки технологій з використанням метаевристичних алгоритмів є актуальним.

Аналіз останніх досліджень. Авторами роботи [1] було проведено просторовий аналіз рівня ґрунтових вод з використанням 31 свердловини, за результатами якого було знайдено точки спостереження, які можуть бути виключені з мережі, оскільки їх внесок у моделювання розподілу рівня води незначний. Процедура, описана в цій роботі, може бути використана не тільки для перевірки інтерполяційної моделі, але і для оцінки та оптимізації мережі спостереження. У роботі [2] на прикладі мережі з 32 свердловин було перевірено запропоновані моделі оптимізації вибору підмножини з 17 станцій з використанням алгоритму імітації відпалу та статистичної ентропії. Використання евристичного алгоритму мурашиної колонії в задачі оптимізації мережі моніторингу було запропоновано у роботі [3].

Мета роботи. Метою роботи є розробка нової обчислювальної технології оптимізації мережі моніторингу стану підземних вод з використанням керованого локального пошуку на основі методу інтерполяції Сібсона.

Основна частина. Сформулюємо основні теоретичні положення.

Алгоритм природної околиці, розроблений Р. Сібсоном [4], використовує принципи *діаграми Вороного*. Нехай для відомих

значень у точках $p \in X$ евклідового простору X побудована діаграма Вороного $VD(X)$ (рис. 1).

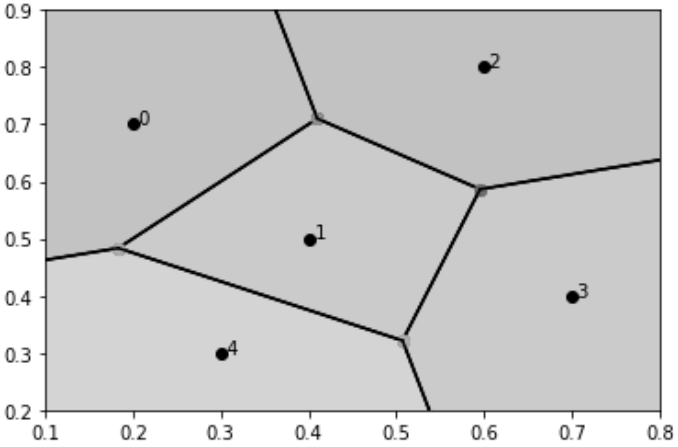


Рисунок 1 – Діаграма Вороного

Елементом діаграми V_{p_i} буде множина точок, відстань від яких менша або дорівнює відстані до точки p_i , ніж до будь-якої іншої точки p_j в X, $i \neq j$. Відрізки, які утворюють межі між елементами діаграми $V_p \in VD(X)$, є перпендикулярними бісекторами до відрізків, які з'єднують точки $p \in X$. Тобто межі на діаграмі Вороного являють собою всі точки на площині, які рівновіддалені від двох найближчих точок p_i, p_j. Природними сусідами точки $x \notin X$ будуть точки в X, елементи діаграми яких будуть змінені у разі додавання x до $VD(X)$. Таким чином створюється новий елемент діаграми V_x , який захоплює частку ваги w (площі) сусіднього елемента (V_{pi}), тобто $VD^+(X) = VD(X) \cup \{x\}$.

$$w_i(x) = \frac{S(V_{pi} \cap {V_x}^+)}{S({V_x}^+)} \ , \tag{1}$$

w_i – вага, присвоєна i-му елементу відносно x.

Таким чином, інтерпольоване значення функції f у точці x знаходиться за формулою:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n} w_i(x)\, z_i, \ , \ \sum_{i=1}^{n} (w_i) = 1, \tag{2}$$

де z_i – виміряне значення в i-ій локації;

w_i – вага, присвоєна z_i відносно x.

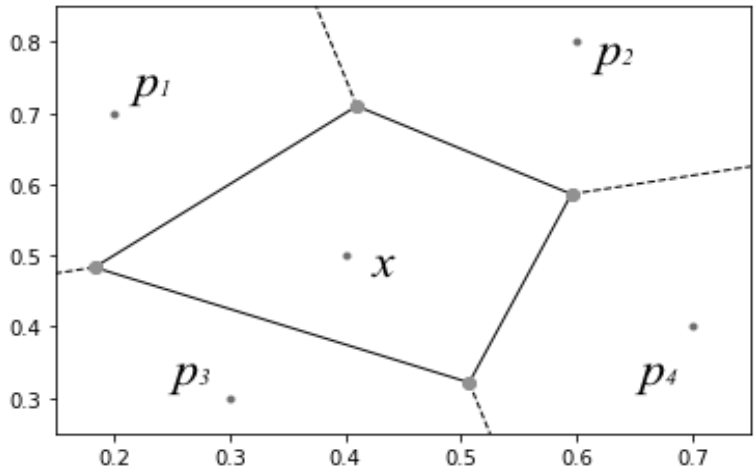


Рисунок 2 – Діаграма Вороного для точки x

Залежно від кількості свердловин, задачу оптимізації мережі можна розглядати як задачу комбінаторної оптимізації. *Керований локальний пошук* належить до класу алгоритмів пошуку із забороною (*табу*). Рішенням комбінаторної оптимізації є набір деяких компонент. У задачі оптимізації мережі моніторингу кожна точка спостереження є компонентою рішення у просторі можливих рішень. Кожне рішення можна представити у вигляді бінарного вектора, довжина якого дорівнює кількості точок моніторингу, де одиницями будуть позначені свердловини, кандидати на видалення з мережі, а всі інші точки – нулями. Алгоритм намагається запобігти повторному попаданню в локальні оптимуми шляхом нарахування штрафів компонентам, з яких ці локальні оптимуми складаються. Тобто метод примушує шукати нові рішення, а не вертатися знову до вже відомих. Функція вартості рішення обчислюється шляхом оцінки помилки інтерполяції заданого показника для кожної компоненти та підрахунком середьоквадратичної помилки. Нараховані штрафи у поєднанні з фактичною вартістю рішення складають скориговану вартість рішення.

На початку алгоритму генерується випадкове рішення. Штрафи поточних компонент зазвичай дорівнюють нулю, але можуть бути накладені додаткові умови. Метод сходження на вершину застосовується на кожній ітерації, тобто відбувається постійне переміщення в напрямку зменшення вартості рішення шляхом заміни

однієї компоненти на іншу з допустимих варіантів та перерахунку вартості. Якщо вартість нового рішення краща за найменшу попередньо встановлену, рішення зберігається. Якщо ж скоригована вартість нового рішення краща за найменшу попередньо встановлену скориговану вартість, нове рішення використовується на наступній ітерації сходження на вершину замість попереднього. Сходження завершується по закінченні встановленої кількості ітерацій, та компонентам рішення з найменшою скоригованою вартістю нараховуються штрафи. Штрафи нараховуються тільки тим компонентам, які мають найбільше відношення значення помилки інтерполяції у точці компонента до кількості нарахованих штрафів. Таким чином, перевага надається не тільки рішенням з мінімальною вартістю, але й рішенням, компоненти яких ще не використовувались у попередніх високоякісних рішеннях, що призводить до уникнення відомих локальних оптимумів. Алгоритм завершується по досягненні встановленої кількості ітерацій.

За допомогою можливостей бібліотек мови програмування Python розроблено програмний модуль до інформаційної системи, описаної в роботі [5], який дозволяє користувачу будувати діаграми Вороного до заданого набору точок та використовувати керований локальний пошук на основі інтерполяції Сібсона для оптимізації мережі моніторингу.

Для тестування було використано дані з мережі із 46 свердловин (рис. 3), розташованій поблизу хвостосховища у м. Кривий Ріг, Україна. Для оптимізації використовувались медіанні значення відстані до води для кожної свердловини. Набір даних включає: географічні координати (тобто довгота, широта) і значення рівня води відповідної свердловини. Дані моніторингу збиралися за календарний рік, спостереження проводились 6, 12, 18, 24, 30 числа кожного місяця.

Побудована діаграма Вороного для мережі моніторингу зображена на рис. 4.



Рисунок 3 – Розташування свердловин (помічені крапками)



Рисунок 4 – Діаграма Вороного

Основні характеристики вибірки з даних наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Базові характеристики вибірки

Кількість свердловин	Мінімальна відстань до води (м)	Максимальна відстань до води (м)	Середня відстань до води (м)
46	0,385	9,705	4,6

У табл. 2 наведено результати роботи алгоритму для пошуку 7 свердловин на видалення з мережі моніторингу із заданою кількістю ітерацій керованого локального пошуку та алгоритму сходження до вершини. У табл. 3 наведено фактичні та прогнозовані медіанні значення відстані до води для цих свердловин.

Таблиця 2

Результати роботи алгоритму для пошуку 7 свердловин на видалення

Кількість свердловин (на видалення)	Кількість ітерацій (керований локальний пошук)	Кількість ітерацій (сходження до вершини)	RMSE
7	20	100	0,078

Таблиця 3

Результати роботи алгоритму для пошуку 7 свердловин на видалення по свердловинах

№ свердловини	Значення (фактичне)	Значення (прогнозоване)	Помилка
1124	3,82	3,769	0,003
589	3,73	3,621	0,012
588	3,72	3,871	0,023
10	4,12	4,1	0,0004
7	4,12	4,177	0,003
3	4,415	4,392	0,001
9	4,305	4,333	0,001

Висновки та перспективи подальших досліджень. У даній роботі представлено нову обчислювальну технологію з використанням алгоритму керованого локального пошуку на основі методу інтерполяції Сібсона, яка дозволяє виконувати оптимізацію мереж гідрогеологічного моніторингу, та продемонстровано результати пошуку для 7 свердловин на видалення з мережі. Хоча евристичні

алгоритми пошуку не гарантують знаходження глобального оптимуму, вони дозволяють значно скоротити час на пошуки прийнятного рішення. На підставі отриманих результатів планується подальша розробка системи оптимізації мережі гідрогеологічного моніторингу.

Бібліографічні посилання

1. Theodossiou N., Latinopoulos P. Evaluation and optimization of groundwater observation networks using the kriging methodology. *Environmental Modelling and Software*. 2006. 21. P. 991–1000.

2. Nunes L.M., Cunha M.C., and Ribeiro L. Groundwater monitoring network optimization with redundancy reduction. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 2004. V. 130. No. 1. P. 33–43.

3. Li Yuanhai, Hilton A.B.C. Reducing Spatial Sampling in Long-Term Groundwater Monitoring Networks Using Ant Colony Optimization. *International Journal of Computational Intelligence Research.* 2005. V. 1, No. 1. P. 19–28.

4. Sibson R. A brief description of natural neighbour interpolation. *In V Barnett ed., Interpreting Multivariate Data*. Wiley, New York, USA. 1981. P. 21–36.

5. Павлов М. С., Антоненко С. В., Доровська І. О. Інформаційна технологія оптимізації мережі моніторингу стану підземних вод з використанням генетичного алгоритму. *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій*. Дніпро, 2018. Т. 22. С. 3–15.

Надійшла до редколегії 12.11.2019.

УДК 004.9: 519.237.8

O. G. Baybuz, M. G. Sydorova, A.Ye. Polonska, Y. O. Rudakova

Oles Honchar Dnipro National University

ONLINE-SYSTEM OF PLANTS IDENTIFICATION BY PHOTO IMAGES

В умовах постійної взаємодії із зовнішнім світом і живою природою в житті людини постає проблема швидкої та точної ідентифікації рослин, оскільки рослини відіграють значну роль не тільки у сільськогосподарській галузі, але й також у паливно-енергетичному комплексі, медицині, екології, інтер'єрі, вивченні навколишнього світу тощо. У цій роботі запропоновано інформаційну онлайн-систему ідентифікації рослин за їх фотознімками. Розробку програмного забезпечення здійснено у вигляді клієнт-серверної архітектури із застосуванням сучасних технологій (мови C#, TypeScript, HTML, CSS, фреймворки ASP.NET MVC, ASP.NET WebApi, Angular), потужних алгоритмів розпізнавання зображень та машинного навчання. Математичну основу склали алгоритми знаходження ключових точок, такі як SURF, SIFT та FREAK, модель BOVW (Bag-Of-Visual-Words) і метод опорних векторів. Система має простий, лаконічний та зрозумілий інтерфейс, адаптивну верстку, забезпечує зручну взаємодію з користувачем з будь-якого пристрою за наявності доступу до мережі Інтернет, можливості легкого розширення бібліотеки зображень. Здійснено апробацію розробленої програми на різних наборах даних (фотографії листя дерев та квітів, у тому числі зроблених на мобільний телефон, що є найбільш типовим сценарієм взаємодії користувача із системою) та проведено порівняльний аналіз зазначених алгоритмів (досліджувався вплив кількості даних, слів у моделі BOVW, зашумленості та строкатості фону, типу ядрової функції у методі головних компонент, інваріантність до повороту та масштабу тощо). Навіть на досить малих за обсягом наборах даних для навчання система демонструє непогану якість розпізнавання.

Ключові слова: *інформаційна технологія, розпізнавання зображень, машинне навчання, ідентифікація рослин за фотознімками, онлайн-система, SURF, SIFT, FREAK, BOVW.*

Разработана информационная онлайн-система идентификации растений по их фотоснимкам. Математическую основу составили алгоритмы нахождения ключевых точек, такие как SURF, SIFT и FREAK, модель BOVW и метод опорных векторов. Осуществлена апробация

© Baybuz O. G., Sydorova M. G., Polonska A. Ye., Rudakova Y. O., 2019.

разработанной программы и проведен сравнительный анализ алгоритмов.

Ключевые слова: *информационная технология, распознавание изображений, машинное обучение, идентификация растений по фотоснимкам, онлайн-система, SURF, SIFT, FREAK, BOVW.*

An online information system for identifying plants by their photographs has been developed. The mathematical basis was formed by algorithms for finding key points, such as SURF, SIFT and FREAK, the BOVW model and Support Vector Machine algorithm. The developed program was tested and a comparative analysis of the algorithms was carried out.

Keywords: *information technology, image recognition, machine learning, plant identification from photo images, online-system, SURF, SIFT, FREAK, BOVW.*

Introduction. A big part of a modern society's life belongs to the interaction with the outside world and nature. Plants play a large role not only in the agricultural sector, but also in the fuel and energy complex, medicine, ecology, interiors, environmental studies, and more. In such conditions, the problem of identifying a given plant, as well as the issue of creating a flexible and functional system with comfortable access to it is essential. An online plant identification system is a way to simplify the lives of scientists, travelers, farmers or even the average person. Anyone with a mobile device, tablet or computer with Internet access and the ability to take a photo of a flower or leaf can get the full information about the plant they see in front of them.

Literature review and problem statement. Analyzing existing plant recognition software for images, we can conclude that they do not always show good or at least close to correct results. Web applications are virtually unrepresented in this field.

The following are the closest analogues. "What Mushroom Is Growing In My Yard" [1] is one of Urban Mushrooms website services. Solves the problem of mushrooms identification and serves as an online encyclopedia. The main drawback is the insufficiently intelligent process of analysis: the user is only able to filter species in the environment of life, and then he has to choose the most similar images from the given list. It works only with mushrooms.

"Garden Answers Plant Identification" [2] is a mobile application that recognizes plants by photo. The app finds similar plants and lets the user choose from a list. As a result, it most often shows a list of plants of similar color. It works well with flowers, but does not give satisfactory results on the leaves of the plant. For the free version, functionality is limited.

«Cam Find» [3] is another mobile application that provides image

recognition mechanisms. It works not only with plants, so it gives inaccurate results regarding plants.

Thus, the development of an online system for plant recognition by photo images is an actual and important task in practice.

The purpose of this work is to create mathematical base and software for online system that allows to identify plants by their photo images, which has a clear interface, provides convenient interaction with the user, has the ability to expand the image library.

Materials and methods. When considering the task of identifying a leaf or a flower on an image, there are a number of issues that are important for successful resolution: scale, localization of the object on a specific part of the image, background and noise, projection, rotation and angle. Since all these factors can radically affect the classification result, finding the key points in the image is the most relevant method to identify a plant. The most popular key point search algorithms currently implemented are SURF, SIFT, and FREAK [4–6].

The key point finding algorithm results in a set of vectors or, in the case of binary descriptors, binary lines that describe the image. The length of these vectors for each of the images is different depending on the number of key points found, which is a problem for further application of machine learning methods for image classification. This problem is solved by the presenting of the image in the form of Bag-Of-Visual-Words (BOVW) [7], this model was implemented in work. After that, the Support Vector Machine algorithm is applied, which allows the identification of plants.

The software consists of two parts: server and client, developed on the basis of the following technologies:

- server part – language C#, frameworks ASP.NET MVC and ASP.NET WebApi;
- client part – languages TypeScript, HTML and CSS, framework Angular.

The advantage of this system is that the data can be dynamic. Photo sets, classes, class data can be modified or expanded without recompiling the software system. Next to the photo sets describing a particular class of plants a JSON file describing that class should be. This format not only add flexibility to the system, but also greatly facilitates its potential localization.

The system interface and examples of its work on identifying plants by photos of their leaves are shown in figures 1 and 2.

Figure 3 represents the results of key point detection by the SURF and FREAK algorithms. Photos of tree leaves were taken on a mobile phone.

This is an example of the most common scenario of user interaction with the system.

The developed software can also be applied to the recognition of flowers and other structural elements of plants. An example is shown in Figure 4.

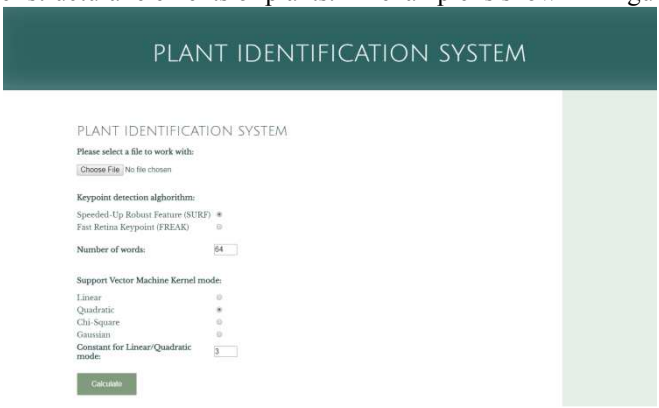
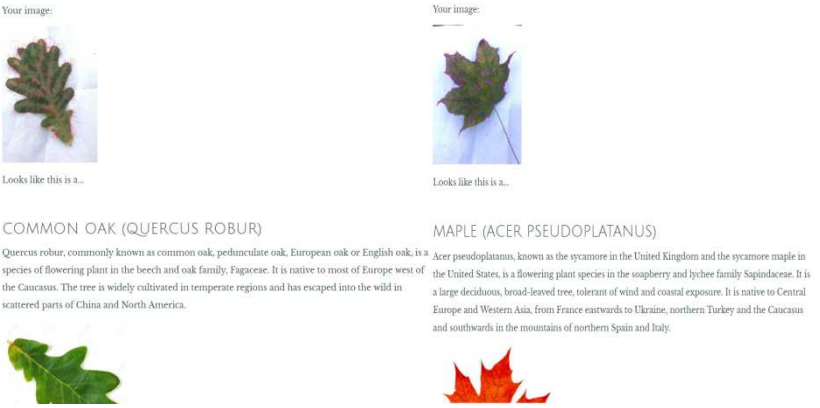
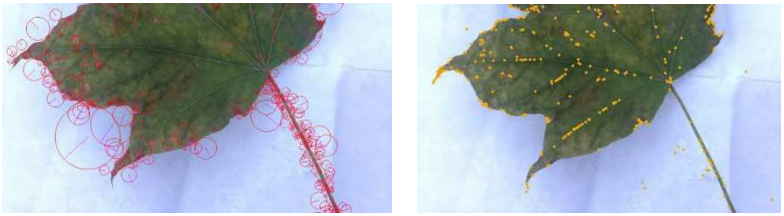


Figure 1 – The main page of the system



a *b*

Figure 2 – Examples of plant identification results:
a – with method SURF; b – with method FREAK



а *б*

Figure 3 – Results of key points identification:
a – with method SURF; b – with method FREAK

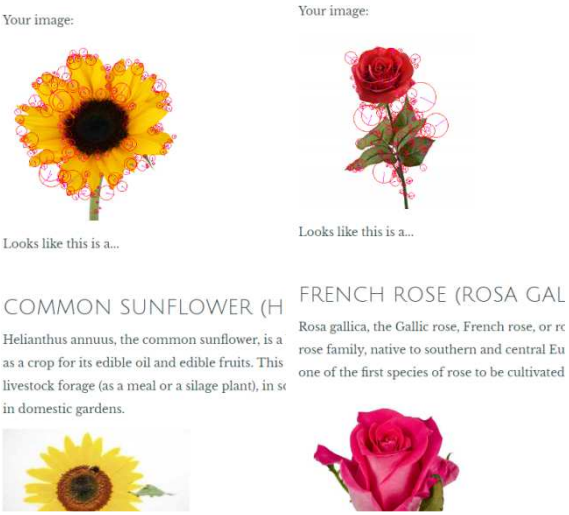


Figure 4 – Examples of flowers recognition

The results of the comparative analysis and research of the quality of the implemented algorithms in the problem of plant identification are given below. The data set collected for training the model consists of three classes of images: poplar leaves (26 pcs), maple (27 pcs) and oak (24 pcs). The performance of the system using the SURF method, the chi-square kernel function in the Support Vector Machine algorithm, and the number of words in Bag-Of-Visual-Words 36 with using cross validation to verify accuracy is 70% correct identification. That is, even with a sufficiently small training dataset, the system shows a satisfactory result. Even with a slight increase the number of images, the quality of recognition is increased. For example,

when the amount of data in the ratio: poplar leaves (29 pcs), maple (27 pcs), oak (38 pcs) the quality is already 73%. Important properties of the SURF algorithm in this task are invariance of rotation and scale, as well as better speed compared to the SIFT algorithm.

Let us now consider how the word count parameter in the BOVW model influences the result of identification. When using the SURF method, the average value of the classification quality with the number of words 18 is 56 %, increasing the number of words to 64, we observe an increase the quality to 82 %, with the further increase of words to 200 the quality does not increase, and even slightly worsens 81 %. Applying the FREAK method for the number of words 18, 36 and 64, respectively, we get the percentages of classification quality of 56 %, 61 %, 70 %. Because the FREAK method works much longer on large words than SURF, and the quality is approximately the same as for 64 words, so this configuration is not rational in terms of time resources.

Comparative analysis of the application of different nuclear functions in the Support Vector Machine algorithm shows that in task of plants identification the chi-quadratic function demonstrates the most stable and qualitative results.

Also, experiments show that the noise and motley background of the images have a tremendous impact on the quality of recognition. The user can get better results by using a plain white sheet of paper as a background. This is especially important for FREAK descriptor, which is more sensitive to noise.

Conclusions. An online information system for identifying plants by their photographs has been created. Software development was carried out using modern technologies and powerful algorithms for image recognition and machine learning. The system has a simple, concise and intuitive interface, adaptive layout, provides convenient interaction with the user from any device with Internet access, the possibility of expanding the image library. A number of computational experiments and a comparative analysis of the implemented algorithms in task of plant identification are conducted. Even with relatively small training datasets, the system demonstrates decent recognition quality.

Бібліографічні посилання

1. What mushroom is growing in my yard? URL: http://urbanmushrooms.com/index.php?id=63

2. Garden answers plant identification. URL: https://itunes.apple.com/us/app/garden-answers-plant-identification/id605855033?mt=8

3. Cam Find. URL: https://itunes.apple.com/us/app/camfind/id595857716?mt=8

4. Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Van Gool L. SURF: Speeded Up Robust Features. *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*. 2008. P. 346–359.

5. Panchal P., Panchal S., Shah S. A Comparison of SIFT and SURF. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*. 2013. P. 323–327.

6. N. Suresh Kumar, Arun Kumar Sangaiah, M. Arun, S. Anand Advanced Image Processing Techniques and Applications: IGI Global. 2017. 439 p.

7. Chanti D., Caplier A. Improving Bag-of-Visual-Words Towards Effective Facial Expressive Image Classification. *Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*. 2018. P. 145–152.

Надійшла до редколегії 13.11.2019.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Антоненко Світлана Валентинівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Алексашин Владислав Станіславович – студент факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Багно Ольга Олександрівна – студентка факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Батурінець Анастасія Геннадіївна – асистент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Божуха Лілія Миколаївна – канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Бузовський Євгеній Олександрович – аспірант кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Ємел'яненко Тетяна Георгіївна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Зайцева Тетяна Анатоліївна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Захарова Вікторія Вікторівна – студентка факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Ільканич Катерина Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри медичної інформатики Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького.

Клименко Світлана Володимирівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри радіоелектронної автоматики Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Луценко Олег Павлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Майхер Вікторія Юріївна – асистент кафедри програмного забезпечення інституту ком'пютерних наук і інформаційних технологій Національого університету «Львівська політехніка».

Мацуга Ольга Миколаївна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Мащенко Леонід Володимирович – старший викладач кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Михальчук Ганна Йосипівна – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Омельницький Гліб Артурович – студент факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Павлов Микита Сергійович – аспірант кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Полонська Анна Євгенівна – асистент кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Різничок Світлана Василівна – старший викладач кафедри медичної інформатики Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького.

Рудакова Єлізавета Олександрівна – студентка факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Сірик Світлана Федорівна – асистент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Сидорова Марина Геннадіївна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Сліпченко Ольга Олегівна – студентка фізико-технічного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Фридман Олександр Давидович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Шеремет Валерій Сергійович – студент факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

ЗМІСТ

Батурінець А. Г., Антоненко С. В. Огляд програмних засобів для аналізу та візуалізації гідрологічних даних 3

Божуха Л. М., Бузовський Є. О. Порівняльний аналіз алгоритмів реалізації задачі інверсної кінематики для скелетної анімації..... 15

Ємел'яненко Т. Г. Побудова прогнозів з урахуванням додаткових даних, що впливають на поведінку часового ряду..... 28

Зайцева Т. А., Сірик С. Ф., Фридман О. Д., Захарова В. В. Інформаційна технологія організації моніторингу впливу мотивованого вибору спеціальності студентом на успішність навчання в ЗВО 34

Ільканич К. І., Різничок С. В., Майхер В. Ю. Особливості реалізації веб-ресурсу фахового медичного періодичного видання 44

Сліпченко О. О., Клименко С. В. Аналіз сучасного стану інформаційних технологій оцінки психоемоційного стану людини 52

Луценко О. П., Сірик С. Ф., Мащенко Л. В., Омельницький Г. А. Структура інформаційної технології виявлення дефектів мовлення в мовному сигналі..... 59

Мацуга О. М., Шеремет В. С. Кластеризація даних з пропусками методом k-середніх 69

Алексашин В. С., Михальчук Г. Й. Метод ранжування об'єктів для пошуку за ключовими словами у децентралізованій мережі..... 78

Багно О. О., Михальчук Г. Й. Застосування сучасних інформаційних технологій для розробки мобільного застосунку на основі клієнт-серверної архітектури..... 90

Павлов М. С., Антоненко С. В. Інформаційна технологія оптимізації мережі моніторингу стану підземних вод з використанням керованого локального пошуку 98

Baybuz O. G., Sydorova M. G., Polonska A.Ye., Rudakova Y. O. Online-system of plants identification by photo images..... 106

Відомості про авторів 113

Наукове видання

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ТОМ 23

Збірник наукових праць

Українською, російською та англійською мовами

Підписано до друку 26.12.2019 р. Формат 60x84/16. Друк цифровий.
Ум. друк. арк. 6,74 . Тираж 100 прим. Зам. № 369.

Видавництво та друкарня ПП «Ліра» ЛТД.
49017, м. Дніпро, вул. Наукова, 5
Свідоцтво Державної реєстрації ДК 6042 від 26.02.2018