

ОНТОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАЗИ ЗНАНЬ ДЛЯ ПРОЦЕСУ РОЗПІЗНАВАННЯ ДЕРМАТОЛОГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ НА ЗОБРАЖЕННІ ЗАСОБАМИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджується проблема онтологічного моделювання бази знань для інтелектуальної підтримки процесу розпізнавання дерматологічних захворювань на зображеннях із використанням засобів нечіткої логіки. Актуальність теми зумовлена зростанням обсягів цифрових дерматологічних даних, необхідністю формалізації експертних знань та потребою у підвищенні інтерпретованості автоматизованих діагностичних рішень. Запропонований підхід поєднує онтологічне представлення предметної області дерматології, структурування ознак зображень шкіри та механізми нечіткого висновування для оброблення невизначеності під час класифікації патологічних станів. Розглянуто основні сутності онтології, їх властивості та зв'язки, а також логіку взаємодії між етапами попередньої обробки, сегментації, виділення ознак і формування діагностичного висновку. Показано, що застосування онтологічної моделі бази знань дає змогу підвищити узгодженість даних, інтегрувати знання з різних джерел та створити основу для розроблення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень у дерматології.

Ключові слова: онтологічне моделювання, база знань, нечітка логіка, дерматологічні захворювання, розпізнавання зображень, інтелектуальна система.

Abstract

The paper investigates the problem of ontology-based knowledge base modeling for intelligent support of dermatological disease recognition from images using fuzzy logic. The relevance of the topic is driven by the growth of digital dermatological data, the need to formalize expert knowledge, and the demand for more interpretable automated diagnostic decisions. The proposed approach combines an ontological representation of the dermatology domain, structured image-feature knowledge, and fuzzy inference mechanisms for handling uncertainty in classification. The main ontology entities, their properties and relations, as well as the interaction between preprocessing, segmentation, feature extraction, and diagnostic inference stages are considered. It is shown that ontology-based knowledge modeling improves data consistency, enables integration of heterogeneous knowledge sources, and forms a foundation for intelligent clinical decision support systems in dermatology.

Keywords: ontological modeling, knowledge base, fuzzy logic, dermatological diseases, image recognition, intelligent system..

Вступ

Сучасний розвиток інформаційних технологій у медицині супроводжується активним впровадженням систем комп'ютерного аналізу зображень, орієнтованих на підтримку клінічної діагностики. Однією з найбільш перспективних сфер такого застосування є дерматологія, оскільки значна частина діагностичної інформації про стан шкіри представлена саме у візуальній формі. Цифрові фотографії, дерматоскопічні зображення, результати клінічного спостереження та текстові описи симптомів формують різномірний масив даних, який може бути використаний для автоматизованого виявлення патологічних змін.

Разом із тим, процес розпізнавання дерматологічних захворювань характеризується високим рівнем невизначеності. Подібні хвороби можуть мати схожі візуальні прояви, а одна й та сама патологія в різних пацієнтів відрізняється за кольором, текстурою, формою, розміром і локалізацією ураження. Крім того, на інформативність зображення впливають умови освітлення, якість камери, особливості шкіри та суб'єктивний досвід лікаря. Саме тому традиційні підходи, засновані лише на жорстких правилах або формальній класифікації, не завжди забезпечують достатню гнучкість, пояснюваність і узгодженість результатів.

Ефективним напрямом розв'язання цієї проблеми є поєднання онтологічного моделювання та нечіткої логіки. Онтологія дозволяє формалізувати знання про предметну область, виокремити ключові сутності, їх атрибути та зв'язки, а також задати єдину структуру для зберігання й інтерпретації даних. Нечітка логіка, своєю чергою, забезпечує можливість працювати з неточними, неповними та лінгвістично описаними ознаками, такими як «помірне почервоніння», «нерівні краї», «висока неоднорідність текстури» або «значна ймовірність злоякісного процесу».

У контексті інтелектуального аналізу медичних зображень онтологічне моделювання бази знань є не лише засобом формального опису предметної області, але й основою для інтеграції алгоритмів оброблення зображень, правил нечіткого висновування, експертних критеріїв та даних із клінічних джерел. Такий підхід створює підґрунтя для побудови інтелектуальної системи, здатної не лише класифікувати зображення, а й пояснювати логіку свого висновку на рівні зв'язків між ознаками та діагностичними гіпотезами [1][2].

Постановка задачі

Традиційні методи автоматизованого аналізу зображень у дерматології переважно концентруються на окремих етапах опрацювання даних: фільтрації шуму, сегментації вогнища ураження, виділенні набору ознак або класифікації об'єкта. Проте відсутність єдиної формалізованої моделі знань, яка б поєднувала клінічні поняття, візуальні характеристики, зв'язки між симптомами та механізмами логічного висновування, суттєво обмежує можливості таких систем. Це ускладнює повторне використання знань, інтеграцію різних алгоритмічних модулів та пояснення отриманих результатів.

Особливої складності задачі надає той факт, що значна частина діагностично важливих ознак має нечіткий характер. Наприклад, межа між низьким і середнім рівнем пігментації, між слабо та виражено асиметричною формою, між однорідною та неоднорідною текстурою не є строго визначеною. У реальній практиці лікар оперує саме наближеними експертними судженнями, тому комп'ютерна система підтримки рішень повинна вміти працювати з такими знаннями.

У зв'язку з цим виникає необхідність розроблення онтологічної моделі бази знань для процесу розпізнавання дерматологічних захворювань на зображеннях, яка:

- формалізує основні поняття предметної області;
- відображає зв'язки між типами зображень, ознаками, дерматологічними станами та етапами оброблення;
- забезпечує основу для інтеграції нечітких правил прийняття рішень;
- підвищує інтерпретованість процесу класифікації;
- створює можливість для подальшої програмної реалізації інтелектуальної системи підтримки діагностики.

Метою дослідження є розробка онтологічної моделі бази знань для процесу розпізнавання дерматологічних захворювань на зображенні засобами нечіткої логіки.

Об'єктом дослідження є процес інтелектуального аналізу зображень шкіри при діагностиці дерматологічних захворювань.

Предметом дослідження є методи та моделі онтологічного представлення знань і нечіткого висновування у системах розпізнавання дерматологічних патологій[3].

Результати дослідження

У ході дослідження сформовано концептуальну модель бази знань, орієнтовану на підтримку процесу розпізнавання дерматологічних захворювань за зображеннями. Основна ідея полягає у поєднанні онтологічного опису предметної області з механізмами нечіткої логіки, що дозволяє структуровано представити знання про зображення, патологічні ознаки, діагностичні критерії та результати висновування.

Онтологічна модель охоплює кілька взаємопов'язаних рівнів. Перший рівень описує сутності, пов'язані з вхідними даними: Image, DermoscopicImage, ClinicalImage, SkinRegion, Lesion, PatientCase. На цьому рівні фіксуються джерело зображення, тип знімка, анатомічна локалізація, наявність області ураження та базові метадані випадку. Другий рівень репрезентує ознаки, які можуть бути отримані в процесі оброблення зображення: ColorFeature, TextureFeature, ShapeFeature, BorderFeature,

SymmetryFeature, DiameterFeature, PigmentationFeature. Третій рівень описує клінічні та діагностичні поняття: DermatologicalDisease, BenignLesion, MalignantLesion, Melanoma, Nevus, Psoriasis, Eczema, Dermatitis та інші класи залежно від глибини деталізації бази знань. Четвертий рівень призначений для подання механізмів міркування: FuzzyVariable, MembershipFunction, FuzzyRule, InferenceProcess, DiagnosticDecision, ConfidenceLevel.

Змістовна цінність такої онтології полягає в тому, що вона не обмежується простим переліком класів. Між класами визначаються об'єктні властивості, які відображають реальні семантичні зв'язки предметної області. Наприклад, властивість hasLesion зв'язує зображення з областю ураження, hasColorFeature – ураження з кольорними характеристиками, hasTextureFeature – з текстурними, suggestsDisease – набір ознак із потенційним діагнозом, evaluatedBy – діагностичний висновок із механізмом нечіткого висновування. Для формалізації числових або категоріальних параметрів застосовуються дата-властивості, зокрема rednessValue, asymmetryIndex, borderIrregularityScore, textureHeterogeneityScore, lesionDiameter, confidenceScore.

У запропонованій моделі особливу увагу приділено включенню нечітких знань у структуру бази. Для цього сформовано набір лінгвістичних змінних, які відповідають діагностично значущим характеристикам зображення. Наприклад, змінна «інтенсивність почервоніння» може мати терми «низька», «середня», «висока»; змінна «неоднорідність текстури» – «слабка», «помірна», «виражена»; змінна «нерівність меж» – «мала», «середня», «велика». Для кожного терма задаються функції належності, які дозволяють перейти від числового значення ознаки до ступеня її належності лінгвістичному опису.

Такий підхід має важливе методологічне значення. Замість жорсткого твердження про те, що ознака або належить певному класу, або ні, система може оперувати проміжними ступенями належності. Це особливо важливо для дерматологічних зображень, де межі між нормою, варіантом норми та патологією часто не є чіткими. Наприклад, одне й те саме утворення може характеризуватися як «помірно асиметричне» з належністю 0,6 до терма «середня асиметрія» та 0,3 до терма «висока асиметрія». У межах онтології такі відношення можуть бути подані як зв'язки між екземпляром ознаки, нечіткою змінною та відповідною функцією належності.

Для представлення процесу розпізнавання в онтологічній моделі також виділено етапи оброблення зображення. Клас Preprocessing включає процедури нормалізації, шумозаглушення, корекції освітлення, усунення артефактів і підвищення контрастності. Клас Segmentation охоплює методи виділення області ураження. Клас FeatureExtraction формалізує етап перетворення зображення на набір кількісних і якісних ознак. Клас FuzzyInference відповідає за використання бази правил, агрегування нечітких висновків та формування кінцевої оцінки. Завдяки такій структурі база знань відображає не лише статичні сутності, а й логіку проходження даних через послідовність етапів інтелектуального аналізу.

Як приклад, у базі знань може бути сформульоване правило такого типу: якщо асиметрія висока, межі нерівні, текстура неоднорідна, а пігментація виражено варіабельна, тоді ймовірність злоякісного новоутворення висока. Інше правило може пов'язувати слабко виражене почервоніння, дифузну локалізацію та помірну текстурну неоднорідність з імовірністю запального дерматозу. Формалізація таких правил у структурі онтології робить систему ближчою до експертного способу міркування лікаря [4].

Важливою перевагою онтологічного підходу є також можливість інтеграції різномірних даних. У реальному сценарії розпізнавання дерматологічного захворювання система може використовувати не тільки зображення, а й контекстні клінічні відомості: вік пацієнта, анамнез, скарги, динаміку змін, результати попередніх обстежень. Онтологія дозволяє пов'язати візуальні ознаки зі структурованими клінічними поняттями, а отже - покращити повноту бази знань і підвищити точність логічного висновування.

У процесі дослідження було розроблено узагальнену схему базового графа онтології, у якій центральними вузлами виступають класи Image, Lesion, Feature, FuzzyRule, Disease та DiagnosticDecision. Між ними встановлюються зв'язки типу containsLesion, describedByFeature, evaluatedUsingRule, indicatesDisease, resultsInDecision. На рівні індивідів можуть бути створені конкретні екземпляри, наприклад: Image_01, Lesion_01, BorderFeature_01, FuzzyRule_07, Melanoma, Decision_HighRisk. Таке подання дозволяє не лише перевіряти логіку системи, а й демонструвати причинно-наслідкові зв'язки між конкретним зображенням, виділеними ознаками та кінцевим висновком.

Окремого значення набуває інтерпретованість результатів. На відміну від деяких «чорних скриньок», онтологічна база знань із нечіткими правилами може пояснювати, чому система дійшла певного висновку. Наприклад, користувач або лікар може отримати повідомлення, що високий ризик меланому був сформований на основі комбінації вираженої асиметрії, нерівних меж, неоднорідної пігментації та значного діаметра утворення. Такий формат є важливим для медичних систем, де прийняття рішення потребує прозорості та можливості експертної верифікації.

Запропонована модель також має практичну цінність як основа для реалізації системи в інструментальних середовищах онтологічного проєктування, зокрема Protégé, із використанням мов OWL/RDF для опису класів, властивостей та екземплярів. Це дає змогу виконувати логічну перевірку моделі, розширювати її новими сутностями та поступово інтегрувати з програмними модулями аналізу зображень і модулями нечіткого висновування.

З точки зору архітектури інтелектуальної системи, онтологічна база знань може функціонувати як ядро семантичної координації. Модуль комп'ютерного зору передає в неї результати сегментації та виділення ознак, модуль нечіткої логіки використовує описані у ній змінні та правила, а модуль підтримки прийняття рішень отримує структурований, пояснюваний висновок. Таким чином, онтологія стає засобом узгодження різних компонентів системи та зменшує фрагментацію знань між окремими програмними блоками [5].

Отже, результати дослідження свідчать, що онтологічне моделювання бази знань для процесу розпізнавання дерматологічних захворювань на зображенні засобами нечіткої логіки є доцільним і методично обґрунтованим. Такий підхід забезпечує формалізацію предметної області, створює механізм інтеграції візуальних та клінічних знань, підтримує оброблення невизначеності та підвищує інтерпретованість діагностичних рішень.

Висновки

Проблема автоматизованого розпізнавання дерматологічних захворювань на зображеннях полягає не лише в технічній складності аналізу візуальних даних, а й у необхідності формалізованого подання медичних знань, які за своєю природою є частково невизначеними, неповними та експертно орієнтованими. Використання лише традиційних алгоритмів класифікації без структурованої бази знань ускладнює пояснення результатів, інтеграцію нових ознак і розширення функціональності системи.

У роботі показано, що онтологічне моделювання є ефективним засобом формалізації знань про дерматологічні зображення, їх ознаки, клінічні інтерпретації та процеси висновування. Побудована концептуальна модель охоплює сутності вхідних даних, етапи оброблення зображень, лінгвістичні змінні нечіткої логіки, діагностичні правила та результати класифікації. Це забезпечує узгоджене подання предметної області та створює підґрунтя для формування інтелектуальної системи підтримки діагностики.

Інтеграція нечіткої логіки в онтологічну базу знань дозволяє враховувати неточність і варіативність ознак дерматологічних захворювань, що особливо важливо при аналізі реальних медичних зображень. Завдяки цьому система може оперувати не лише числовими параметрами, а й лінгвістичними оцінками, наближеними до клінічного способу мислення фахівця.

Наступним етапом дослідження є програмна реалізація розробленої онтології, її наповнення конкретними екземплярами клінічних випадків, інтеграція з алгоритмами сегментації та виділення ознак, а також побудова повноцінного модуля нечіткого висновування для оцінювання ймовірності конкретних дерматологічних патологій. Подальше тестування на реальних наборах дерматоскопічних і клінічних зображень дозволить оцінити практичну ефективність запропонованого підходу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Du A.X. et al. Review of Machine Learning in Predicting Dermatological Outcomes[Електронний ресурс] / URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7303910/>
2. OWL 2 Web Ontology Language Document Overview [Електронний ресурс] / URL: <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>
3. Lingala M. et al. Fuzzy logic color detection: Blue areas in melanoma [Електронний ресурс] / URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4287461/>
4. A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems [Електронний ресурс] / URL: <https://protege.stanford.edu/>
5. Banerjee S. et al. Melanoma Diagnosis Using Deep Learning and Fuzzy Logic [Електронний ресурс] / URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7459879/>

Дідківський Андрій Анатолійович – аспірант кафедри комп’ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна

Didkivskiy Andrii Anatoliyovich – postgraduate student of the Department of Computer Sciences, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

Сілагін Олексій Віталійович – к.т.н., доцент кафедри комп’ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна

Silagin Olexiy Vitaliyovich – Ph.D., associate professor of the Department of Computer Sciences, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine