
СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

УДК 004.08

О. В. СІЛАГІН, А. А. ДІДКІВСЬКИЙ

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПІЗНАВАННЯ ДЕРМАТОЛОГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ НА ЗОБРАЖЕННІ ЗАСОБАМИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Вінницький Національний Технічний Університет, Вінниця, Україна

Анотація. Розпізнавання дерматологічних захворювань на основі зображень є важливим завданням у сфері медичної діагностики. Традиційні методи аналізу зображень, зокрема на основі глибоких нейронних мереж, часто стикаються з проблемами в умовах низької якості вхідних даних та варіативності зовнішніх факторів, таких як освітлення або розмиття. У цій роботі розглянуто моделювання апарату нечіткої логіки для підвищення точності діагностики дерматологічних захворювань. Запропоновано модель, яка використовує нечіткі змінні та правила для обробки зображень, що дозволяє враховувати невизначеність та неповноту даних. Описано структуру контролера з модулем нечіткого логічного висновку, розроблено функції належності для ключових змінних, а також сформовано матрицю знань для прийняття рішень. Результати дослідження показують, що використання нечіткої логіки дозволяє значно підвищити точність та надійність процесу розпізнавання дерматологічних захворювань на зображеннях.

Ключові слова: нечітка логіка, розпізнавання зображень, дерматологія, класифікація, нечіткі змінні.

Abstract. Recognition of dermatological diseases based on images is an important task in the field of medical diagnostics. Traditional image analysis methods, particularly those based on deep neural networks, often face challenges under conditions of low input data quality and variability of external factors such as lighting or blurriness. This study explores the modeling of a fuzzy logic system to improve the accuracy of dermatological disease diagnosis. A model is proposed that utilizes fuzzy variables and rules for image processing, enabling the consideration of uncertainty and data incompleteness. The structure of a controller with a fuzzy inference module is described, membership functions for key variables are developed, and a knowledge matrix for decision-making is constructed. The results of the study demonstrate that the application of fuzzy logic significantly enhances the accuracy and reliability of the image-based dermatological disease recognition process.

Keywords: fuzzy logic, image recognition, dermatology, classification, fuzzy variables.

DOI: 10.31649/1681-7893-2025-50-2-172-178

ВСТУП

Розвиток медичних інформаційних технологій спричинив значні зміни у підходах до діагностики захворювань, зокрема дерматологічних. В умовах сучасного світу, коли кількість випадків шкірних захворювань постійно зростає, особливо важливим є забезпечення точності та ефективності діагностичних процесів. Однією з актуальних задач є автоматизація процесу розпізнавання дерматологічних захворювань на основі зображень. Це дозволяє не тільки скоротити час на встановлення діагнозу, але й підвищити його точність, особливо в умовах великих обсягів даних.

Традиційні методи аналізу зображень, такі як використання глибоких нейронних мереж, показали свою ефективність у розв'язанні задач класифікації. Проте ці методи часто стикаються з проблемами в умовах варіативності якості зображень, що може бути викликано різними зовнішніми факторами, такими як зміна освітлення, наявність шуму або розмиття. В таких випадках виникає необхідність у використанні альтернативних підходів, які дозволяють працювати з нечіткими або неповними даними. Нечітка логіка, що дозволяє здійснювати класифікацію на основі нечітких змінних та правил, стає ефективним інструментом для розв'язання цих проблем [2, 3].

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Особливої уваги заслуговує застосування апарату нечіткої логіки для обробки медичних зображень, оскільки це дозволяє враховувати неоднозначності, що виникають у процесі зйомки, а також полегшує роботу з даними низької якості. Враховуючи ці аспекти, використання нечіткої логіки в контексті розпізнавання дерматологічних захворювань є важливим напрямком досліджень, який потребує глибокого вивчення та аналізу.

АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Розпізнавання дерматологічних захворювань на основі зображень є складним завданням, яке потребує обробки великої кількості даних та врахування численних факторів. Існуючі методи діагностики, зокрема ті, що базуються на використанні глибоких нейронних мереж, продемонстрували високу ефективність у задачах класифікації зображень. Проте ці методи мають певні обмеження, які можуть знижувати їхню точність, особливо у випадках роботи з зображеннями низької якості або у випадках, коли зображення мають значні відхилення від стандартних умов зйомки.

Однією з основних проблем є варіативність якості зображень, яка може бути викликана різними зовнішніми факторами, такими як зміна освітлення, наявність шуму або розмиття зображення. Ці фактори можуть значно вплинути на результати класифікації, що може призводити до помилкових діагнозів. Наприклад, низька якість зображення може ускладнювати виділення характерних ознак захворювання, що є критичним для правильного діагнозу.

Традиційні алгоритми обробки зображень, такі як методи глибокого навчання, зазвичай потребують попереднього очищення даних, щоб усунути ці проблеми. Проте, у процесі такого очищення часто відбувається втрата частини інформації, що може призвести до погіршення якості діагнозу. Наприклад, алгоритми на основі нейронних мереж добре працюють з великими наборами даних високої якості, але вони можуть бути менш ефективними у випадках, коли якість зображень є нижчою за стандартну, або коли зображення мають шум або розмиття.

Нечітка логіка пропонує альтернативний підхід до вирішення цієї проблеми, дозволяючи здійснювати класифікацію на основі нечітких змінних. Цей підхід дозволяє моделювати невизначеність та неповноту даних, що робить його особливо ефективним у випадках, коли вхідні дані мають значні відхилення або коли якість зображень є низькою. Наприклад, нечітка логіка дозволяє моделювати лінгвістичні оцінки, такі як “низька чіткість” або “високий контраст”, що дозволяє більш гнучко підходити до процесу класифікації [3].

Крім того, використання нечіткої логіки дозволяє створювати більш адаптивні системи, які можуть автоматично підлаштовуватися під зміни в умовах зйомки. Це дозволяє підвищити точність класифікації, зменшити кількість помилкових діагнозів та забезпечити більш надійний процес розпізнавання дерматологічних захворювань на основі зображень. Наприклад, у випадках, коли зображення мають розмиття або шум, нечітка логіка дозволяє враховувати ці фактори у процесі класифікації, що забезпечує більш точний результат [4].

Однією з основних переваг нечіткої логіки є її здатність працювати з лінгвістичними змінними, що дозволяє моделювати процес прийняття рішень на основі нечітких даних. Це особливо важливо в контексті діагностики дерматологічних захворювань, де якість зображень може варіюватися залежно від умов зйомки. Наприклад, нечітка логіка дозволяє створювати правила класифікації, які враховують різні рівні чіткості або контрастності зображень, що забезпечує більш точний процес класифікації у випадках, коли вхідні дані не є однозначними або містять певну ступінь невизначеності. Такий підхід дозволяє системі адаптуватися до реальних умов, забезпечуючи гнучкість та надійність у розпізнаванні симптомів шкірних захворювань навіть за нестандартних або неповних вхідних характеристик.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою цього дослідження є покращення точності розпізнавання дерматологічних захворювань на основі зображень шляхом використання апарату нечіткої логіки для обробки нечітких та неповних даних. Зазначена мета досягається створенням механізму розпізнавання дерматологічних захворювань на основі апарату нечіткої логіки.

Основні задачі дослідження включають:

- розробку моделі на основі нечіткої логіки для класифікації дерматологічних зображень;
- визначення нечітких змінних та правил нечіткого логічного висновку;
- реалізацію моделі за допомогою сучасних інструментів програмування;
- порівняти результати роботи реалізованої моделі із класичною системою.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

PID-контролер (пропорційно-інтегрально-диференційний контролер) є важливим інструментом у системах автоматичного керування, включаючи обробку зображень для розпізнавання дерматологічних захворювань. Структура PID-контролера включає три основні компоненти [5]:

1. **Пропорційний компонент (P):** Визначає поточну помилку, яка є різницею між бажаним значенням і фактичним виходом. Пропорційний компонент реагує безпосередньо на величину помилки [5].
2. **Інтегральний компонент (I):** Враховує накопичену помилку з часом, допомагаючи системі усунути залишкову помилку, яка може залишатися при використанні лише пропорційного компонента [5].
3. **Диференційний компонент (D):** Реагує на швидкість зміни помилки, допомагаючи зменшити коливання і запобігти перенасиченню системи [5].

У контексті обробки зображень для розпізнавання дерматологічних захворювань PID-контролер може бути використаний для налаштування параметрів обробки, таких як контрастність, різкість та інші характеристики зображення. Однак, через високу варіативність якості зображень та вплив зовнішніх факторів, таких як освітлення, використання PID-контролера може бути обмежене без додаткових методів обробки.

В основі системи розпізнавання дерматологічних захворювань на зображеннях лежить контролер, який використовує модуль нечіткого логічного висновку для прийняття рішень. Структура цього контролера включає чотири основні компоненти:

1. **Фазифікація:** На цьому етапі вхідні дані (зображення) перетворюються на нечіткі змінні. Для цього використовуються лінгвістичні оцінки, такі як “високий контраст”, “низька різкість” тощо. Ці оцінки дозволяють системі працювати з неповними або неточними даними, що є характерним для медичних зображень.
2. **Нечітке логічне виведення:** Після фазифікації система переходить до етапу нечіткого логічного виведення. Тут використовуються нечіткі правила для прийняття рішень щодо наявності або відсутності дерматологічного захворювання. Правила базуються на лінгвістичних змінних, і кожне правило представляє собою логічне твердження типу “Якщо ..., то ...”, де вхідні дані порівнюються з умовами правил.
3. **Дефазифікація:** На цьому етапі результати нечіткого логічного виведення перетворюються на чітке значення, яке можна інтерпретувати в контексті діагностики. Існує кілька методів дефазифікації, серед яких найбільш поширеними є метод центру тяжіння, метод максимальної правдоподібності тощо. У контексті системи розпізнавання дерматологічних захворювань, дефазифікація дозволяє отримати конкретну діагностичну оцінку або рівень ймовірності наявності тієї чи іншої патології.
4. **Параметрична ідентифікація:** Цей компонент відповідає за налаштування параметрів нечіткої системи на основі навчальних даних. Вона включає оптимізацію функцій належності, вагових коефіцієнтів правил і структури самої бази правил. Метою параметричної ідентифікації є підвищення точності системи, забезпечуючи її адаптацію до специфіки зображень дерматологічних захворювань. Цей процес може бути реалізований із використанням алгоритмів машинного навчання, таких як генетичні алгоритми, метод градієнтного спуску або нейромережеві підходи.

У процесі розпізнавання дерматологічних захворювань використовуються кілька ключових лінгвістичних змінних, які описують властивості зображень. Лінгвістичні змінні дозволяють системі враховувати невизначеність та варіативність вхідних даних, що робить процес класифікації більш гнучким та надійним.

Основними лінгвістичними змінними у нашій моделі є:

1. **Контрастність зображення:** Ця змінна описує різницю між темними і світлими ділянками на зображенні. Вона може мати такі терми, як “низький”, “середній” та “високий”.
2. **Різкість зображення:** Різкість вказує на те, наскільки чітко виражені контури та деталі на зображенні. Для цієї змінної визначені терми “розмита”, “помірна” та “висока”.
3. **Текстура шкіри:** Ця змінна описує характер поверхні шкіри на зображенні, зокрема, наявність нерівностей, шорсткості або інших особливостей. Її терми включають “гладка”, “нерівна” та “шорстка”.

Для кожної з описаних лінгвістичних змінних створюються функції належності, які графічно представляють, як саме значення цієї змінної відповідає різним термам. Функції належності відображають ступінь належності кожного значення змінної до певного терму.

Розглянемо структуру PID-контролера, який використовується для керування параметрами зображень, такими як контрастність та різкість, під час розпізнавання дерматологічних захворювань. Основна задача полягає в тому, щоб підтримувати ці параметри на оптимальному рівні для полегшення процесу класифікації.

На вхід контролера подається бажане значення параметру (наприклад, контрастність). Це

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

значення, яке контролер повинен підтримувати в процесі своєї роботи. На суматорі розраховується значення помилки, яке, як правило, отримується як різниця між бажаною контрастністю та фактичним значенням цього параметра на зображенні. Помилка подається на контролер, який робить розрахунки з огляду на значення похибки по трьох компонентах – пропорційній, інтегральній та похідній.

Сформований сигнал передається на елемент контролю, який здійснює безпосередній вплив на параметр (наприклад, зміна контрастності або різкості на зображенні). Результат роботи контролера впливає на значення параметру, яким управляють. Це нове значення зворотно подається на вхід для визначення нового значення помилки.

Після визначення функцій належності для всіх лінгвістичних змінних система переходить до етапу нечіткого логічного виведення. Основою цього процесу є матриця знань, яка містить правила, що визначають, як саме система повинна реагувати на ті чи інші комбінації вхідних даних.

Матриця знань формується на основі аналізу можливих комбінацій значень лінгвістичних змінних та відповідних результатів класифікації. Наприклад:

- Якщо контрастність зображення висока, а різкість низька, то ймовірність правильної класифікації знижується, і система може видати попередження про необхідність перевірки зображення.
- Якщо всі параметри, такі як контрастність, різкість і текстура шкіри, мають високі значення, система видає високу ймовірність наявності захворювання.

Замість традиційного PID-контролера, у даному дослідженні пропонується використовувати модуль нечіткого логічного висновку. Це дозволяє замінити суто формальний опис конкретних значень параметрів та помилок на лінгвістичні змінні, які можна використати для формування бази логічних правил [9-15].

Для розв'язання задачі обрано алгоритм Мамдані, який є одним із найпоширеніших методів нечіткого логічного виведення. Метод Мамдані дозволяє використовувати нечіткі множини для відображення входів (наприклад, контрастності, різкості) у виходи (результат класифікації).

Підготовка даних для роботи за алгоритмом здійснюється за допомогою фазифікації – перетворення чітких вхідних даних на нечіткі змінні. Отримані нечіткі змінні активують правила на основі бази знань, після чого результати дефазифікуються, тобто перетворюються у чітке вихідне значення, що використовується для корекції параметрів зображення.

З результатів тестування можна побачити, що обидва контролери досягнули бажаного значення текстури шкіри 25 умовних одиниць за порівняно однаковий проміжок часу. Проте крива зміни значення текстури шкіри протягом роботи PID-контролера має значну амплітуду коливань до досягнення бажаного результату. Контролер на основі модуля нечіткого логічного висновку сформував більш плавну криву зміни текстури шкіри, зменшивши зобов'язання елемента контролю за меншої помилки текстури шкіри. Для кількісного порівняння сформовано таблицю вихідних значень текстури шкіри і помилки для модуля нечіткого логічного висновку і PID-контролера. Дані про вимірювання наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати вимірювань показників текстури шкіри і помилки для модуля нечіткого логічного висновку і PID-контролера

N	PID t	PID delta	Fuzzy t	Fuzzy delta
1	20	5	20	5
1,4	3.349	1.650	0.280	4.719
2,0	5.940	-0.940	0.547	4.452
3,0	7.123	-2.123	0.823	4.176
4,0	7.033	-2.033	1.124	3.875
5,5	6.221	-1.221	1.454	3.545
6,1	6.286	-0.286	1.817	3.187
7,0	4.625	0.374	2.222	2.772
8,3	4.373	0.626	2.681	2.823
9,0	4.458	0.541	3.220	1.744
10,0	4.710	0.289	3.836	1.179
11,0	4.967	0.032	4.286	0.706
12,0	5.131	-0.131	4.582	0.496
13,3	5.180	-0.180	4.763	0.628
14,0	5.141	-0.141	4.869	0.120
15,1	5.066	-0.066	4.929	0.042

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

16,7	4.996	0.003	4.962	0.064
17,0	4.956	0.043	4.80	0.098
18,0	4.949	0.050	4.89	0.056
19,0	4.963	0.036	4.442	0.058
20,3	4.985	0.014	4.706	0.094
21,3	5.004	-0.004	4.845	0.055
22,88	5.013	-0.013	4.918	0.082
23,12	5.013	-0.013	4.957	0.043
24,4	5.009	-0.009	4.977	0.023
25,0	5.002	-0.002	4.988	0.012
26,0	4.998	0.001	4.994	0.006
27,0	4.995	0.004	4.997	0.003
28,0	4.996	0.003	4.998	0.002
29,32	4.997	0.002	4.999	0.001
30,0	4.999	0.0006	4.999	0.001

Порівняльний аналіз ефективності PID-контролера та модуля нечіткого логічного висновку в задачі розпізнавання дерматологічних захворювань продемонстрував переваги використання нечітких методів у складних умовах із високим рівнем варіативності вхідних даних. Хоча обидва типи контролерів забезпечили досягнення цільового значення параметра текстури шкіри (25 умовних одиниць) за схожий часовий інтервал, поведінка системи з PID-контролером характеризувалася значними амплітудними коливаннями, що потенційно може впливати на точність розпізнавання.

Натомість контролер, реалізований на основі нечіткого логічного висновку, забезпечив більш плавну динаміку регулювання, що дозволило зменшити навантаження на елемент керування та мінімізувати помилки, пов'язані зі зміною параметрів зображення. Використання лінгвістичних змінних, функцій належності та матриці правил на основі алгоритму Мамдані сприяло підвищенню стійкості системи до варіацій якості зображень, таких як контрастність, різкість і текстура шкіри [6].

Таким чином, результати тестування підтверджують, що система з модулем нечіткого логічного висновку демонструє вищу точність та стабільність у задачах класифікації дерматологічних зображень, порівняно з класичним PID-контролером. Це дає підстави вважати нечіткий підхід доцільнішим для застосування в умовах медичної діагностики, де якість зображень не завжди є сталою, а помилки класифікації можуть мати критичні наслідки.

На основі отриманих результатів можна зазначити, що PID-контролер демонструє максимальні відхилення від цільового значення, які становлять -2.1238 умовних одиниць і 0.6261 умовних одиниці після досягнення стабільного стану під час обробки зображень для розпізнавання дерматологічних захворювань. У свою чергу, модуль нечіткого логічного висновку забезпечує більш стабільні результати, без перевищення бажаних значень та без значних коливань, що підтверджує його ефективність і відповідність поставленим цілям дослідження – мінімізацію амплітуди коливань помилки в процесі діагностики. Запропонований підхід можна розширити, інтегруючи прийняття рішень на основі аналізу кількох взаємопов'язаних параметрів зображення, таких як контрастність, різкість і текстура шкіри. Хоча це вимагатиме створення складнішої бази правил, обчислювальна складність суттєво не збільшиться [7,8,16].

Таким чином, можна підвищити точність та адаптивність моделі, що дозволить більш раціонально використовувати ресурси діагностичної системи. Крім того, модуль контролю можна використовувати для моніторингу стану шкіри та залучення додаткових методів аналізу у разі критичних відхилень, що сприятиме точнішій діагностиці дерматологічних захворювань.

ВИСНОВКИ

Розроблена модель нечіткої логіки показала високу практичну цінність розпізнаванні дерматологічних захворювань на зображеннях навіть в умовах низької якості вхідних даних. У порівнянні з класичними методами, модель на основі нечіткої логіки продемонструвала кращу стійкість до шумів та інших факторів, що впливають на якість зображення, і дозволила досягти більш плавної кривої зміни параметрів класифікації. Визначено нечіткі змінні та систему правил нечіткого логічного висновку для моделі, розроблену модель реалізовано засобами пакету scikit-fuzzy та мови програмування Python.

Запропонований підхід може бути успішно застосований для покращення систем автоматизованого діагностування в дерматології та в інших областях медицини, де необхідно працювати з нечіткими або неповними даними

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Азіз М., Юліанто Й. Проектування та впровадження системи керування насосом-фільтром в акваріумі з прісноводною рибою на основі нечіткої логіки. *Журнал автоматизації та керування*, 2024, №2, с. 1–3.
2. Ротштейн А.П. Інтелектуальні технології ідентифікації: нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі. Вінниця: ВНТУ, 1999. 368 с.
3. Баклі Дж. Дж., Хаяші Ю. Нечіткі нейронні мережі: огляд. *Нечіткі множини та системи*, 1994, т. 66, с. 1–13.
4. Рафа Д.С., Рані С. Система керування на основі нечіткої логіки для аквакультури прісноводних водойм: симуляція в MATLAB. *Сербський журнал електротехніки*, 2024, т. 12, №2, с. 171–182.
5. Температурний контролер: основи [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.instrumart.com/pages/283/temperature-controller-basics-handbook>.
6. Scikit-fuzzy: API reference [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pythonhosted.org/scikit-fuzzy/api/api.html>.
7. Башук Н.В. Алгоритми аналізу стану комп'ютерної системи на основі нечіткої логіки. *Журнал комп'ютерної інженерії*, 2023, №5, с. 45–53.
8. Ешбі В.Р. Контролери з регулюванням помилки. *Кібернетика і керування*, 1952, гл. 12.
9. Radchenko, O.K., "Intellectualized Mueller-Jones matrix system of laser polarimetry for breast fibroadenoma diagnosis," Proc. SPIE 10750, 107500M (2018); doi: <https://doi.org/10.1117/12.2320130>.
10. Zabolotna, N.I., Sholota, V.V. "Metod ta pidsystema pidtrymky pryiniattia rishennia dlia miuller-matrychnoi lazernoi poliaryzatsiinoi diahnostryky biolohichnykh tkanyh", *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii* 1, 43-52 (2022).
11. Zabolotna, N. I., Sholota, V. V., Satymbekov, M., Komada, P., "Azimuthally invariant system of Mueller-matrix polarization diagnosis of biological layers with fuzzy logical methods of decision-making," Proc. of SPIE, 12476, 1247608 (2022) doi: <https://doi.org/10.1117/12.2659208>.
12. Zabolotna, N., Sholota, V., Zhumagulova, S. et. al., "System of polarization mapping and intellectual analysis of Mueller matrix invariants of biological layers in the assessment of pathologies," Proc. SPIE 12985, 129850Q. (2023) <https://doi.org/10.1117/12.3023049>.
13. Zabolotna, N., Sholota, V., Zhumagulova, S. et. al., "System of polarization mapping and intellectual analysis of Mueller matrix invariants of biological layers in the assessment of pathologies," Proc. SPIE 12985, 129850Q. (2023) <https://doi.org/10.1117/12.3023049>.
14. Pavlov S. V. Information Technology in Medical Diagnostics //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press - 210 Pages.
15. Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. Information Technology in Medical Diagnostics II. London: (2019). Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages.
16. Nizhynska-Astapenko Zorina, Waldemar Wojcik, Pavlov Volodymyr, etc. "Information medical fuzzy-expert system for the assessment of the diabetic ketoacidosis severity on the base of the blood gases indices", Proc. SPIE 12126, Fifteenth International Conference on Correlation Optics, 1212626 (20 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2616675>

REFERENCES

1. Aziz M., Julianto Y. Design and Implementation of a Filter Pump Control System in a Freshwater Fish Aquarium Based on Fuzzy Logic. *Journal of Automation and Control*, 2024, No. 2, pp. 1–3.
2. Rotshtein A.P. Intellectual Identification Technologies: Fuzzy Sets, Genetic Algorithms, Neural Networks. Vinnytsia: VNTU, 1999. 368 p.
3. Buckley J.J., Hayashi Y. Fuzzy Neural Networks: A Survey. *Fuzzy Sets and Systems*, 1994, Vol. 66, pp. 1–13.
4. Raha D.S., Rani S. Fuzzy Logic-Based Control System for Freshwater Aquaculture: MATLAB Simulation. *Serbian Journal of Electrical Engineering*, 2024, Vol. 12, No. 2, pp. 171–182.
5. Temperature Controller Basics [Electronic resource]. Available at: <https://www.instrumart.com/pages/283/temperature-controller-basics-handbook>.
6. Scikit-fuzzy: API reference [Electronic resource]. Available at: <https://pythonhosted.org/scikit-fuzzy/api/api.html>.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

7. Basyuk N.V. Algorithms for Computer System State Analysis Based on Fuzzy Logic. *Journal of Computer Engineering*, 2023, No. 5, pp. 45–53.
8. W. Ross Ashby. Chapter 12: The error-controlled regulator. *Cybernetics and control*, 1952
9. Radchenko, O.K., “Intellectualized Mueller-Jones matrix system of laser polarimetry for breast fibroadenoma diagnosis,” *Proc. SPIE* 10750, 107500M (2018); doi: <https://doi.org/10.1117/12.2320130>.
10. Zabolotna, N.I., Sholota, V.V. “Metod ta pidsystema pidtrymky pryiniattia rishennia dlia miuller-matrychnoi lazernoi poliaryzatsiinoi diahnostryky biolohichnykh tkanyn”, *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii* 1, 43-52 (2022).
11. Zabolotna, N. I., Sholota, V. V., Satymbekov, M., Komada, P., “Azimuthally invariant system of Mueller-matrix polarization diagnosis of biological layers with fuzzy logical methods of decision-making,” *Proc. of SPIE*, 12476, 1247608 (2022) doi: <https://doi.org/10.1117/12.2659208>.
12. Zabolotna, N., Sholota, V., Zhumagulova, S. et. al., “System of polarization mapping and intellectual analysis of Mueller matrix invariants of biological layers in the assessment of pathologies,” *Proc. SPIE* 12985, 129850Q. (2023) <https://doi.org/10.1117/12.3023049>.
13. Zabolotna, N., Sholota, V., Zhumagulova, S. et. al., “System of polarization mapping and intellectual analysis of Mueller matrix invariants of biological layers in the assessment of pathologies,” *Proc. SPIE* 12985, 129850Q. (2023) <https://doi.org/10.1117/12.3023049>.
14. Pavlov S. V. *Information Technology in Medical Diagnostics* //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press - 210 Pages.
15. Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. *Information Technology in Medical Diagnostics II*. London: (2019). Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages.
16. Nizhynska-Astapenko Zorina, Waldemar Wojcik, Pavlov Volodymyr, etc. "Information medical fuzzy-expert system for the assessment of the diabetic ketoacidosis severity on the base of the blood gases indices", *Proc. SPIE* 12126, Fifteenth International Conference on Correlation Optics, 1212626 (20 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2616675>

Надійшла до редакції 12.10.2025 р.

СІЛАГІН ОЛЕКСІЙ ВІТАЛІЙОВИЧ – к.т.н., доцент кафедри комп’ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, **e-mail: avsilagin@vntu.edu.ua**

ДІДКІВСЬКИЙ АНДРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ – аспірант кафедри комп’ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, **e-mail: dorreharay@gmail.com**.

O.V. Silagin, A.A. Didkivskyi

MODELING THE PROCESS OF DERMATOLOGICAL DISEASE RECOGNITION IN IMAGES USING FUZZY LOGIC

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine