

Інформаційні технології в медицині та біології

УДК 681.518:004.93.1

С.О. Вербовий

Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ГІБРИДНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОПРАЦЮВАННЯ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

У статті розроблена інформаційна модель гібридної інтелектуальної інформаційної системи (ГІС). Розроблено структурно-функційну схему ГІС. Здійснено моделювання роботи ГІС на основі мереж Петрі в середовищі Pige. Побудовано графи досяжності станів системи для випадків перетворення зображення в інший формат або використання згорткової нейронної мережі.

Ключові слова: гібридна інтелектуальна система, інформаційна модель, біомедичні зображення, мережі Петрі.

Вступ

За даними канцер реєстру [1] смертність жінок від раку молочної залози посідає перше місце. Тому проблема діагностування злоякісних новоутворень на ранніх стадіях є актуальною. Рання діагностика потребує точної і надійної методики постановки діагнозу.

Діагностування патологічних процесів в онкології базується на аналізі біомедичних зображень: цитологічних і гістологічних.

Цитологічні зображення – це зображення окремих клітин, а гістологічні зображення – це зображення груп клітин (тканин) [9].

Для діагностування використовують системи автоматизованої мікроскопії (САМ) і комплекси автоматизованої мікроскопії. Основою таких систем є програмне забезпечення. Ці системи можуть будуватися локально або з використанням глобальної мережі Інтернет, з елементами телемедицини [2].

На сьогодні популярним напрямом розвитку САМ є інтелектуалізація та гібридизація. Згідно ДСТУ 2481-94 інтелектуальна інформаційна технологія – це прийоми, способи та методи виконання функцій збирання, зберігання, оброблення, передавання та використання знань [3].

Гібридна інтелектуальна система – це система, в якій для вирішення задачі використано більше, ніж один метод імітації інтелектуальної діяльності людини. Отже, під гібридною інтелектуальною системою розуміють сукупність нечітких систем, штучних нейронних мереж, генетичних алгоритмів, експертних систем і т.д. [4].

Для вирішення задач діагностування досить широкого застосування набули експертні системи, принцип роботи яких заснований на відтворенні знань експертів у певній галузі. Проте внесення експертних знань в базу є досить складним процесом, що робить актуальним необхідність використання методів автоматичного формування баз знань діагностичних систем.

При створенні діагностичних експертних систем багато дослідників для формування баз знань пропонують застосування нечітких нейронних мереж [5]. Однак виникає задача вибору алгоритму навчання. На даний час розвивається тенденція використання гібридного підходу для вирішення різних практичних задач. Наприклад, для навчання нейронних мереж використовують генетичні алгоритми. Експериментальні дослідження наведені у роботах показують, що застосування гібридного підходу показують кращий результат, швидкість і точність вирішення поставлених задач. [6–7].

Основним завданням створення інформаційної моделі ГІС опрацювання біомедичних зображень є опис істотних параметрів та змінних величин, входів та виходів кожного модуля, зв'язок між модулями системи. Інформаційна модель дозволяє шляхом подачі вхідних сигналів моделювати можливі стани та здійснити перевірку роботи системи.

Постановка задачі

Метою статті є розробка інформаційної моделі ГІС. Для досягнення даної мети необхідно розв'язати такі задачі: 1) спроектувати структурно-функційну схему ГІС; 2) розробити модель мереж

Петрі для структурно-функційної схеми ГПС; 3) здійснити моделювання роботи структурно-функційної схеми ГПС в середовищі Pire.

Структурно-функційна схема гібридної інтелектуальної інформаційної системи

Розроблена ГПС опрацювання біомедичних зображень (рис. 1) працює на основі вхідних цитологічних та гістологічних зображень молочної залози [8].

На першому етапі за допомогою світлового мікроскопа та цифрової камери отримується вхідне цитологічне або гістологічне зображення у форматі BMP, JPG, TIFF та ін. Отримане зображення шифрується та зберігається в директорії пацієнта. Дані про

пацієнта також шифруються. Отримане зображення завантажується на віддалений FTP сервер.

Наступним етапом є попередня обробка зображення. На даному етапі відбувається виділення вхідних параметрів зображення (середній рівень яскравості, середні значення каналів червоного, зеленого, синього).

Ці значення зберігаються в базі даних (БД) у вигляді назви або ідентифікатора (ID) зображення, значень яскравості RGB. В залежності від вхідних параметрів із бази правил вибираються параметри фільтрації та коригування яскравості. Після цього виконується фільтрація та коригування яскравості, морфологічні операції (dilate, erode) і отримується вихідне зображення у форматах jpeg, png, bmp.

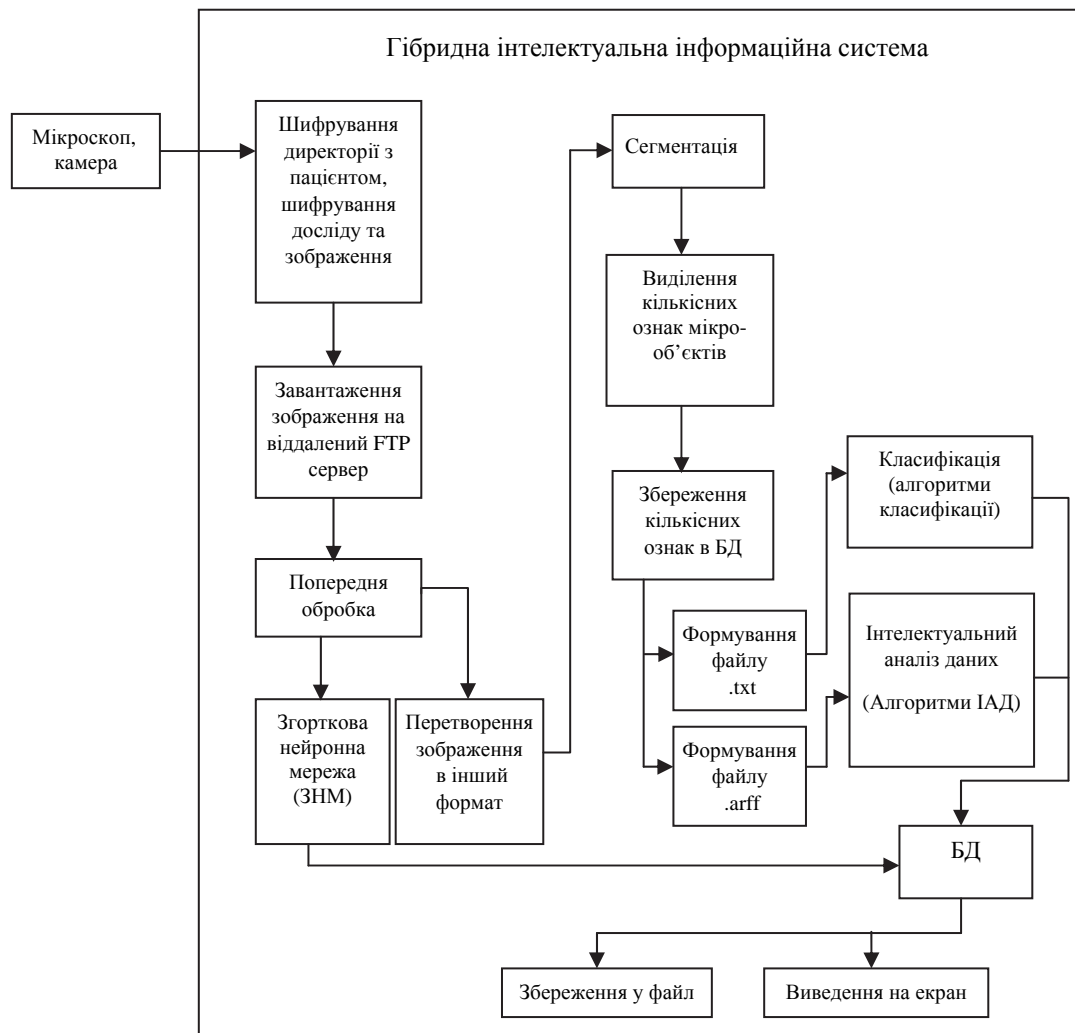


Рис. 1. Структурно-функційна схема гібридної інтелектуальної інформаційної системи

Після закінчення етапу попередньої обробки зображення у форматі jpeg, png, bmp безпосередньо подаються на модуль згорткової нейронної мережі (ЗНМ) [9]. Результатом роботи ЗНМ є відсоток належності зображення до певного класу патологічного стану. Вихідні результати зберігаються в БД або у текстовому файлі. В іншому випадку вихідне зобра-

ження перетворюється в інший формат. Це може бути бінарне зображення або зображення в градаціях сірого.

Перетворене зображення сегментується.

На наступному етапі проводиться виділення кількісних ознак мікрооб'єктів на зображенні. Отримані результати зберігаються в БД. Після цього

генеруються файли двох типів, текстовий файл для класифікації та кластеризації даних (формується інформація для мікрооб'єктів усіх зображень в досліді з БД) та файл у форматі .arff для проведення інтелектуального аналізу даних.

Файли формату .txt подаються на модуль класифікації. Наприклад, файл .txt має вигляд:

назва зображення (або ID), площа, периметр, кут нахилу до основної осі і тд...

...

назва зображення (або ID), площа, периметр, кут нахилу до основної осі і тд...

Після обробки результат виводиться на екран та зберігається у .txt файлі.

Модуль класифікації отримує на вхід файли формату .arff.

На даному етапі проводиться класифікація, кластеризація та пошук асоціативних правил.

Результати роботи модуля інтелектуального аналізу даних зберігаються в БД, у текстовому файлі або виводяться на екран.

Моделювання роботи ГПС

Моделювання роботи ГПС опрацювання біомедичних зображень проводилось на основі мереж Петрі в середовищі Pire. В загальному випадку, модель на основі мереж Петрі описується так:

$N = \{S, T, F, M_0\}$, де: $P = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ – множина позицій (станів); $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ – множина переходів; F – множина дуг, яка включає дві підмножини вхідних та вихідних дуг по відношенню до переходу; M_0 – множина, яка задає початкове маркування мережі Петрі [10].

Стан мережі Петрі визначається сукупністю маркерів кожного окремого вузла. На рис. 2 представлена структурна модель ГПС на основі мереж Петрі.

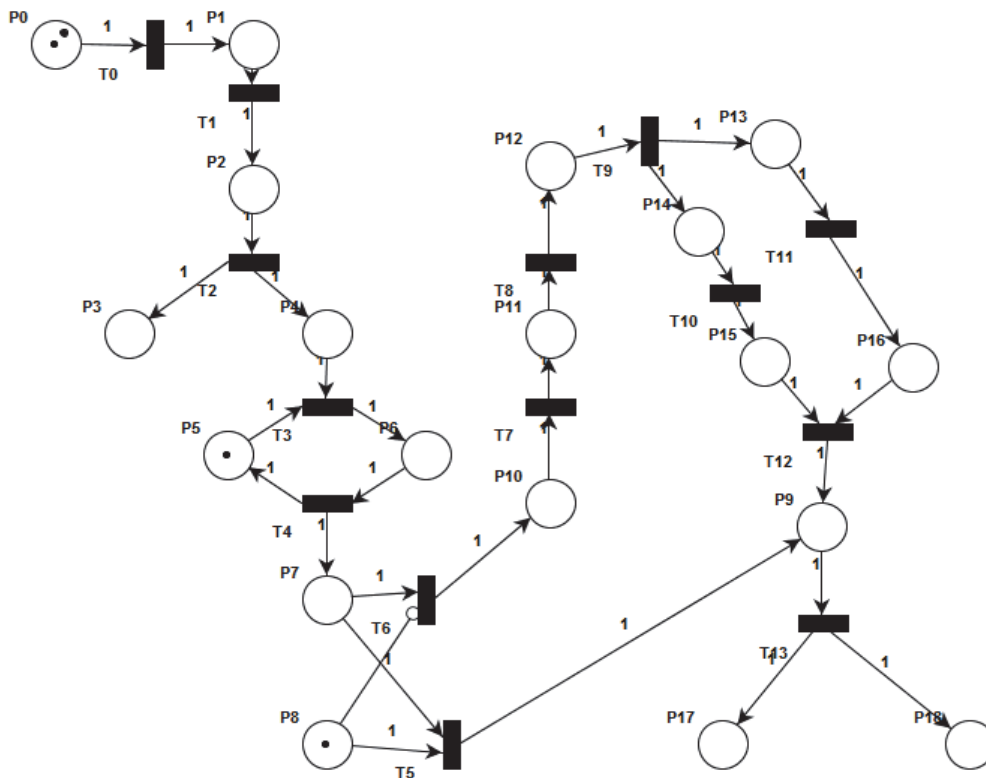


Рис. 2. Структурна модель ГПС опрацювання біомедичних зображень на основі мереж Петрі

Призначення позицій та переходів побудованої моделі наведені у табл. 1–2.

Спрацювання переходів мережі описуються графом досяжності, у якого кожній вершині відповідає визначене маркування, а кожній дузі – перехід, який мережа Петрі опрацьовує при даному маркуванні. Графи досяжності станів системи для випадку повного циклу опрацювання двох зображень отриманих за допомогою мікроскопа та камери наведено на рис. 3–4. Граф на рис. 3 відображає доступні стани системи при виборі користувачем перетво-

рення зображення в інший формат, граф на рис. 4 відображає стани при виборі використання ЗНМ. За вибір оператора відповідає позиція P8, а також інгібіторна дуга, що виходить з неї.

Таблиця 1

Призначення позицій мережі Петрі

Позиція	Призначення
P ₀	Множина подій (спрацювання камери/мікроскопа)
P ₁	Отримані зображення з камери/мікроскопа

Закінчення табл. 1

P ₂	Зашифровані дані
P ₃	Збережені локально зображення
P ₄	Передані на віддалений сервер зображення
P ₅	Обчислювальний ресурс процесора вільний
P ₆	Обчислювальний ресурс процесора зайнятий
P ₇	Опрацьовані зображення
P ₈	Вибір користувача (присутність або відсутність маркера означає вибір користувача)
P ₉	Дані у базі даних
P ₁₀	Перетворені в інший формат зображення
P ₁₁	Зображення після процесу сегментації
P ₁₂	Кількісні ознаки збережені у БД
P ₁₃	Сформований файл txt
P ₁₄	Сформований файл arff
P ₁₅	Проаналізовані файли arff
P ₁₆	Класифіковані файли txt
P ₁₇	Дані збережено у файл
P ₁₈	Дані виведено на екран

Таблиця 2

Призначення переходів мережі Петрі

Перехід	Призначення
T ₀	Отримання зображення від камери/мікроскопа
T ₁	Шифрування даних
T ₂	Збереження/передача даних на віддалений сервер
T ₃	Дані на обробку сервером
T ₄	Оброблені сервером дані
T ₅	Використання згорткової нейронної мережі
T ₆	Перетворення зображення в інший формат
T ₇	Процес сегментації
T ₈	Виділення/збереження кількісних ознак мікрооб'єктів
T ₉	Формування txt/arff файлів
T ₁₀	Інтелектуальний аналіз даних
T ₁₁	Класифікація
T ₁₂	Дані у БД
T ₁₃	Збереження/виведення даних на екран

В результаті моделювання побудовано графі досяжності всіх станів системи (рис. 3–4) для конкретних випадків.

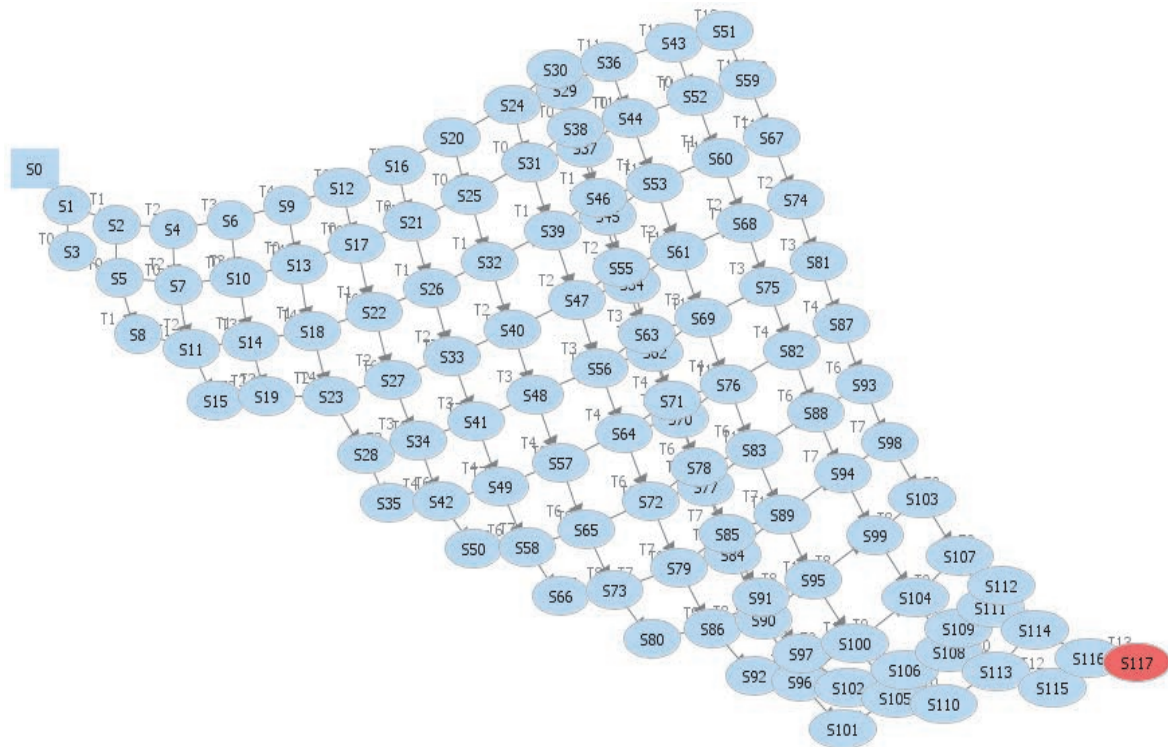


Рис. 3. Граф досяжності станів системи для випадку вибору перетворення зображення в інший формат

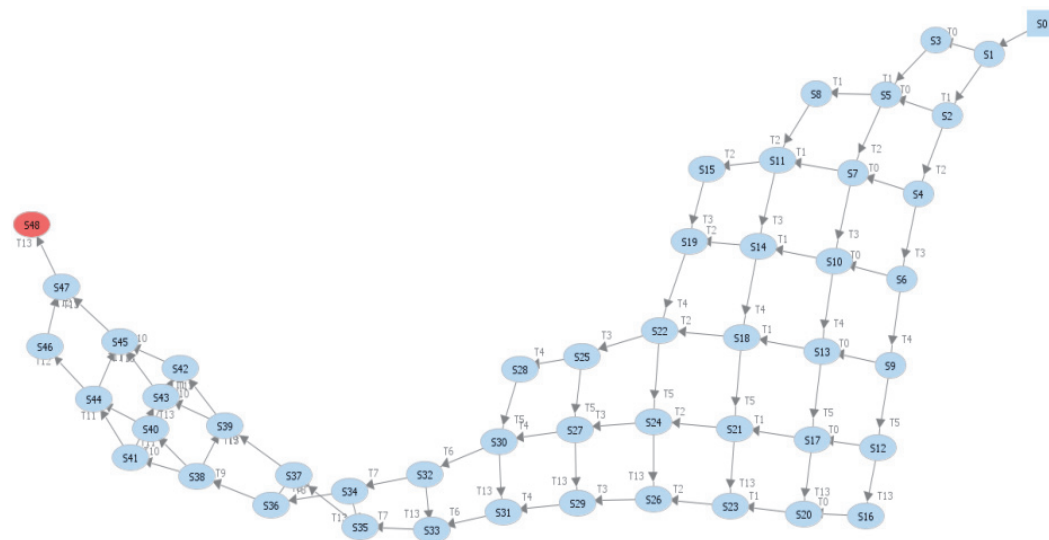


Рис. 4. Граф досяжності станів системи для випадку вибору використання згорткової нейронної мережі

Висновки

Розроблена інформаційна модель ГПС опрацювання біомедичних зображень дає можливість відслідкувати рух даних в системі від отримання зображення з мікроскопа до виводу результатів на екран. Розроблена інформаційна модель на етапі проектування розподіляє функції та потоки даних між модулями ГПС.

Проведений аналіз показав, що в мережі Петрі відсутні мертві переходи та розмітки, тобто вона є живою: при функціонуванні модельованого об'єкту

спрацьовує будь-який перехід, стани системи є досяжними, а тупики відсутні.

Подяка

Дана робота розроблена в рамках держбюджетного проекту «Гібридна інтелектуальна інформаційна технологія діагностування передракових станів молочної залози на основі аналізу зображень». Реєстраційний номер 1016U002500.

Список літератури

1. Бюлетень національного канцер-реєстру України № 17, Київ, 2016.
2. Дубчак Л.О. Телемедицина: сучасний стан та перспективи розвитку / Л.О.Дубчак // Системи обробки інформації. – Х.: ХНУПС, 2017. – Вип. 1(147). – С. 144-146.
3. ДСТУ 2481-94. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення.
4. Колесников А.В. Гибридные интеллектуальные системы: Теория и технология разработки. / А.В. Колесников. – СПб: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 711 с.
5. Klawonn F. Generation Rules from Data by Fuzzy and Neuro-Fuzzy Methods / F. Klawonn, D. Nauck, R. Kruse // Proc. of the Third German GI-Workshop "Fuzzy-Neuro-Systeme'95", Darmstadt, Germany, 15-17 November, 1995.
6. Arotaritei D. Genetic Algorithm for Fuzzy Neural Networks using Locally Crossover / D. Arotaritei // International Journal of Computers Communications & Control. – 2011. – Vol. 6, no. 1. – P. 8-20.
7. Banakar Ahmad. Wavelet Neuro-Fuzzy Model With Hybrid Learning Algorithm Of Gradient Descent And Genetic Algorithm / Banakar Ahmad, Mohammad Fazle Azeem // International Journal of Wavelets Multiresolution And Information Processing. – 2011. – Vol. 9, no. 2. – P. 333-359.
8. Березький О.М. Розроблення реляційної бази даних інтелектуальної системи автоматизованої мікроскопії / О.М. Березький, О.Й. Пісун, С.О. Вербовий, Т.В. Дацко // Науковий вісник національного лісотехнічного університету України: збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України, 2017. – Вип. 27(5). – С. 125-129.
9. Berezsky Oleh. Computer diagnostic tools based on biomedical image analysis / Oleh Berezsky, Oleh Pitsun, Serhiy Verbovyu, Tamara Datsko, Andriy Bodnar // Proceedings of the 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2017, 21-25 February, Polyana-Svalyava. – P. 388-391.
10. Вербовий С.О. Інформаційна модель системи опрацювання біомедичних зображень / С.О. Вербовий // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції. – Херсон: Видавництво ПП Вишемирський В.С., 2017. – С. 43-45.

References

1. (2016) „Bulletin of national cancer registry of Ukraine” [Byuletен' natsional'noho kantser-reyestru Ukrayiny], vol. 17, Kiev.

2. Dubchak, L.O. (2017), "Telemedytsyna: suchasnyy stan ta perspektyvy rozvytku" [Telemedicine: current state and perspectives of development], *Information Processing Systems*, No. 1(147), pp. 144-146.
3. DSTU 2481-94. „Інтелектуал'ні інформативні технології. Термины та визначення” [Intelligent Information Technologies. Terms and definitions].
4. Kolesnykov, A.V. (2001), "Гибридные интеллектуальные системы: Теория и технология разработки" [Hybrid intelligent systems: Theory and technology of development], Yzd-vo SPbHTU, St. Petersburg, 711 p.
5. Klawonn, F., Nauck, D. and Kruse, R. (1995), Generation Rules from Data by Fuzzy and Neuro-Fuzzy Methods, *Proc. of the Third German GI-Workshop "Fuzzy-Neuro-Systeme '95"*, Darmstadt, Germany.
6. Arotaritei, D. (2011), Genetic Algorithm for Fuzzy Neural Networks using Locally Crossover, *International Journal of Computers Communications & Control*, Vol. 6, No. 1. pp. 8-20.
7. Banakar Ahmad and Mohammad Fazle Azeem (2011), Wavelet Neuro-Fuzzy, Model With Hybrid Learning Algorithm Of Gradient Descent And Genetic Algorithm, *International Journal of Wavelets Multiresolution And Information Processing*, Vol. 9, No. 2. pp. 333-359.
8. Berez'kyu, O.M., Pitsun, O.Y., Verbovyi, S.O. and Datsko, T.V. (2017), "Rozroblennya relyatsiynoyi bazy danykh intelektual'noyi systemy avtomatyzovanoyi mikroskopiyi" [Development of the Relational Database of the Intelligent System of Automated Microscopy], *Naukovyy visnyk natsional'noho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy: Zbirnyk naukovykh tekhnichnykh prats'*, No. 27(5), L'viv, pp. 125-129.
9. Berezsky, O., Pitsun, O., Verbovyi, S., Datsko, T. and Bodnar, A. (2017), Computer diagnostic tools based on biomedical image analysis, *Proceedings of the 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*, Polyana-Svalyava, pp. 388-391.
10. Verbovyi, S.O. (2017), "Інформативна модель системи обробки біомедичних зображень" [Information model of biomedical image processing system], *Інтелектуал'ні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріалы міжнародної наукової конференції*, Kherson, pp. 43-45.

Надійшла до редколегії 2.10.2017

Схвалена до друку 16.11.2017

Відомості про автора:

Вербовий Сергій Олегович

Аспірант викладач кафедри Тернопільського національного економічного університету, Тернопіль, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8009-7508>
e-mail: vso@tneu.edu.ua

Information about the author:

Verbovyi Serhiy

Postgraduate Student Lecturer of the Department of the Ternopil National University of Economics, Ternopil, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8009-7508>
e-mail: vso@tneu.edu.ua

**ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ГИБРИДНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ОБРАБОТКИ БИМЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

С.О. Вербовый

В статье разработана информационная модель гибридной интеллектуальной информационной системы (ГИИС). Разработана структурно-функциональная схема ГИИС. Осуществлено моделирование работы ГИИС на основе сетей Петри в среде Pipe. Построены графы достигаемости состояний системы для случаев преобразования изображения в другой формат или использования сверточной нейронной сети.

Ключевые слова: гибридная интеллектуальная система, информационная модель, биомедицинские изображения, сети Петри.

**INFORMATION MODEL OF THE HYBRID INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM
FOR PROCESSING BIOMEDICAL IMAGES**

S. Verbovyi

The article focuses on relevance of the diagnosis of malignant neoplasms in the early stages. Modern diagnostic systems require accurate and rapid processing of cytological and histological images. Currently, intellectual information technologies are widespread. The idea of hybridization in artificial intelligence led to the emergence of hybrid intelligence information technologies. One of the types of information technology support is information models. The subject of the study is the process of processing histological and cytological images. The purpose of the article is information processes and models in automated microscopy systems. The aim is to develop informational model of hybrid intelligence information system (GIS) for presenting information flows in the system, modeling the states and checking the system. The methodology of simulation of systems based on Petri Networks is used in this work. The structural and functional scheme of GIS is developed. The simulation of the GIS on the basis of Petri Networks in the Pipe environment is conducted. Constructed graphs of the system for cases of converting an image to another format or using a convolutional neural network. The developed information model of GIS for the processing of biomedical images enables to trace the movement of data in the system from obtaining an image from a microscope to outputting results on the screen. This model at the design stage distributes functions and data streams between GIS modules. An information model can be used to construct software tools for the processing of biomedical images.

Keywords: hybrid intelligence system, information model, biomedical images, Petri network.