УДК 004.891.3

Добровська Людмила Миколаївна
кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри біомедичної кібернетики
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Добровская Людмила Николаевна
кандидат педагогических наук,
доцент кафедры биомедицинской кибернетики
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Dobrovska Liudmyla
Candidate of Pedagogical Sciences,
Associate Professor of the Department of Biomedical Cybernetics
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Гаврильченко Любомир Олегович
студент
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Гаврильченко Любомир Олегович
студент
Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Havrylchenko Liubomyr
Student of the
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

СИСТЕМА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ КЛАСИФІКАЦІЇ КТ ЗНІМКІВ НА НАЯВНІСТЬ РАКУ ЛЕГЕНЬ

СИСТЕМА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА КЛАССИФИКАЦИИ КТ СНИМКОВ НА НАЛИЧИЕ РАКА ЛЕГКИХ

SYSTEM OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE CLASSIFICATION OF CT IMAGES FOR THE PRESENCE OF LUNG CANCER

Анотація. *В статті розглянуто побудову системи класифікації знімків комп'ютерної томографії на основі нейронних мереж Xception та U-Net. Програмний продукт може знайти застосування в скринінгових програмах з великою кількістю учасників.*

Ключові слова: *нейронна мережа, рак легень, класифікація зображень, скринінг.*

Аннотация. *В статье рассмотрено построение системы классификации снимков компьютерной томографии на основе нейронных сетей Xception и U-Net. Программный продукт может найти применение в скрининговых программах с большим количеством участников.*

Ключевые слова: *нейронная сеть, рак легких, классификация изображений, скрининг.*

Summary. *The article considers the construction of a computed tomography image classification system based on the Xception and U-Net neural networks. The software product can be used in screening programs with a large number of participants.*

Key words: *neural network, lung cancer, image classification, screening.*

Постановка проблеми. Рак є причиною приблизно 30% передчасної смерті людей у віці 30–69 років. Найчастіше діагностується рак легенів (11,6% усіх випадків), рак грудей (11,6%) та колоректальні онкологічні захворювання (10,2%) [1].

Виживання хворих на рак легень залишається глобально низьким (5-ти річний рівень виживання складає лише 10–20% у більшості регіонів світу). Етап діагностики є основним фактором, що визначає прогноз виживання: «5-річне виживання коливається від 50–70% для діагностики на I стадії та 1–5% для діагностики при IV стадії, оскільки хірургічна резекція на ранній стадії все ще залишається найбільш ефективним лікуванням. Однак менше 20% пацієнтів діагностується на I стадії, а більшість з них діагностується на стадії III або IV» [2].

За даними Міністерства охорони здоров'я України «Україна знаходиться серед держав з високим рівнем захворюваності на рак. Щорічно близько 65 тисяч осіб помирають від раку, а 140 тисяч дізнаються про свою хворобу. Щороку в Україні фіксується близько 13 тис. нових випадків раку легень» [3].

Враховуючи поширеність та агресивність в сенсі смертності захворювання на рак легень, ВООЗ рекомендує проводити регулярні скринінгові дослідження для людей з групи ризику для раннього виявлення захворювання [2].

Однак в роботах [4–7] показано, що при повторній перевірці візуальної оцінки КТ знімків рентгенологами виявляють до 40% раніше пропущених випадків раку.

Актуальним завданням нашого дослідження є створення системи штучного інтелекту класифікації КТ знімків на наявність раку легень з метою прискорення обробки КТ знімків та зменшення кількості помилок. Одним з перспективних напрямків розв'язання цієї задачі є застосування штучних нейронних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Впродовж останніх років даній тематиці присвячено велику кількість робіт. Частково розробники перейшли до впровадження інтелектуальних систем в медичну практику. Найкращі результати на сьогодні демонструють система Google [8], система care.ai [9] та Botkin.AI [10], побудовані на основі 3D згорткових нейронних мереж.

Формулювання цілей статті: розробити систему штучного інтелекту класифікації КТ знімків на наявність раку легень на основі 2D згорткових нейронних мереж.

Характеристика клінічного матеріалу. Для дослідження використано базу даних знімків КТ MoscowRadiology-CTLungCa-500 v.1.1, «Теговані результати комп'ютерної томографії легень» [11], яка містить дані 538 пацієнтів. Дані про пацієнта — це папка, що містить від 600 до 1000 зображень розмірністю 512×512. Для кожного пацієнта групою з 6 лікарів виконано візуальну оцінку наявності та локації легеневих вузлів.

Виклад основного матеріалу. Метою створення системи є збільшення кількості виявлення новоутворень на КТ знімках. Система не замінить собою лікаря, а має стати його помічником, прискорити роботу за рахунок зменшення часу на обробку набору КТ знімків пацієнта (рис. 1).

Остаточне рішення про прийняття чи відхилення запропонованих системою підозрілих знімків залишається за лікарем-експертом.

На першому етапі проведено аналіз і порівняння існуючих архітектур нейронних мереж [12–14] і обрано нейронну мережу Xception (рис. 2) в якості модуля класифікації.

Виконано навчання і отримано наступні результати (табл. 1).

Таблиця 1

Результати навчання нейронної мережі Xception

Вибірки	Точність, %
Навчальна	93.30%
Тестова	84.25%
Екзаменаційна	85.82%

В якості модуля сегментації обрано нейронну мережу U-Net [15], архітектура якої зображена на рис. 3. Вона складається з двох частин, стискання та розтягування.

Рис. 1. Схема включення програмного застосунку в скринінг КТ знімків

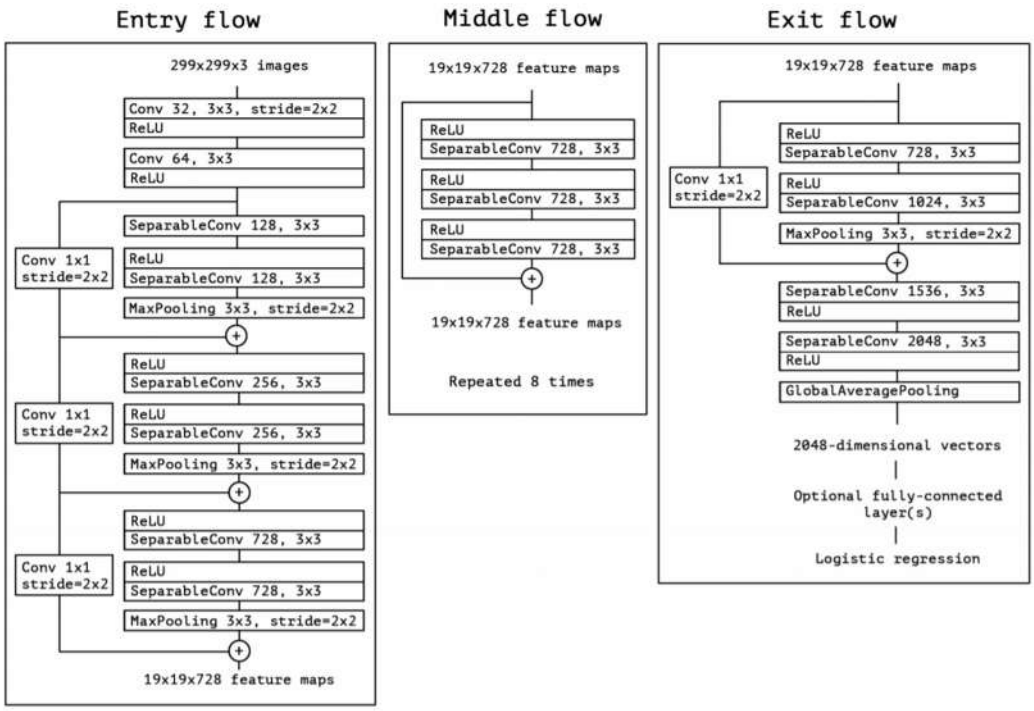

Рис. 2. Архітектура нейронної мережі Xception [14]

Стискання зменшує просторову роздільну здатність зображення, а розтягування — збільшує, при цьому об'єднуючи з даними з попередніх шарів зображення. Стискання має типову архітектуру згорткової нейронної мережі. Воно складається зі двох згорток 3×3, які повторюються, за котрими йде функція активації ReLU, шар агрегації 2×2 з кроком 2 для зниження роздільної здатності. На кожному етапі стискання подвоюється кількість властивостей.

Кожен крок при розтягуванні складається з підвищення дискретизації мапи властивостей, а також

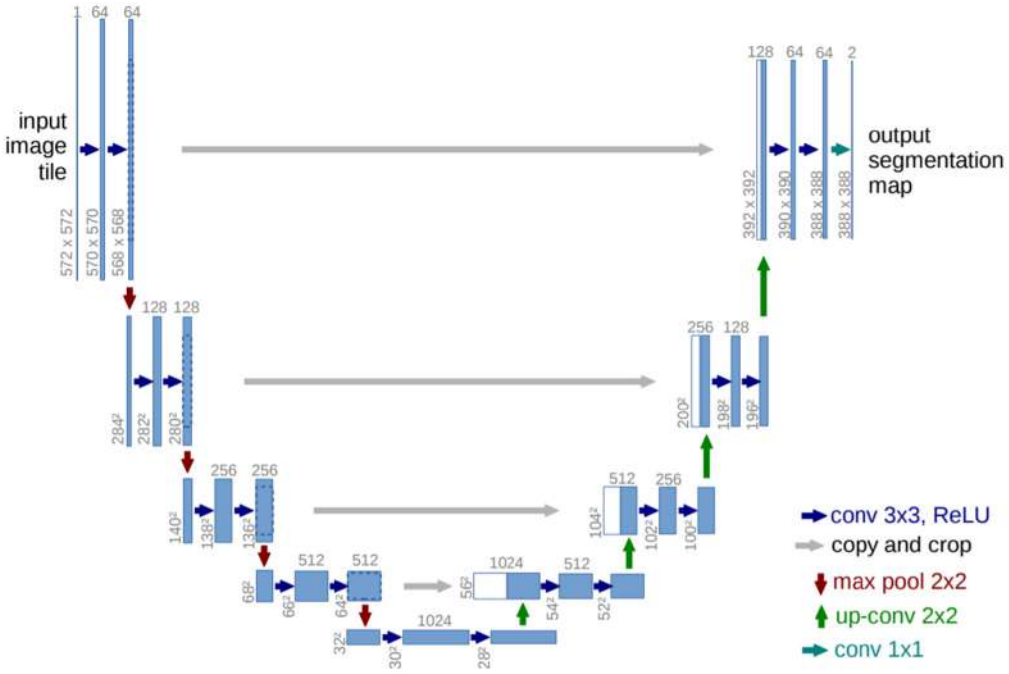

Рис. 3. Архітектура U-net. Приклад зображення з розділовою здатністю 32x32 пікселя — найменший. Кожен синій квадрат відповідає багатоканальній мапі властивостей. Кількість каналів приведено в верхній частині квадрату. Розмір x-у наведено в нижній-лівій частині квадрату. Білі квадрати представляють собою копії мапи властивостей. Стрілки означають операції [15]

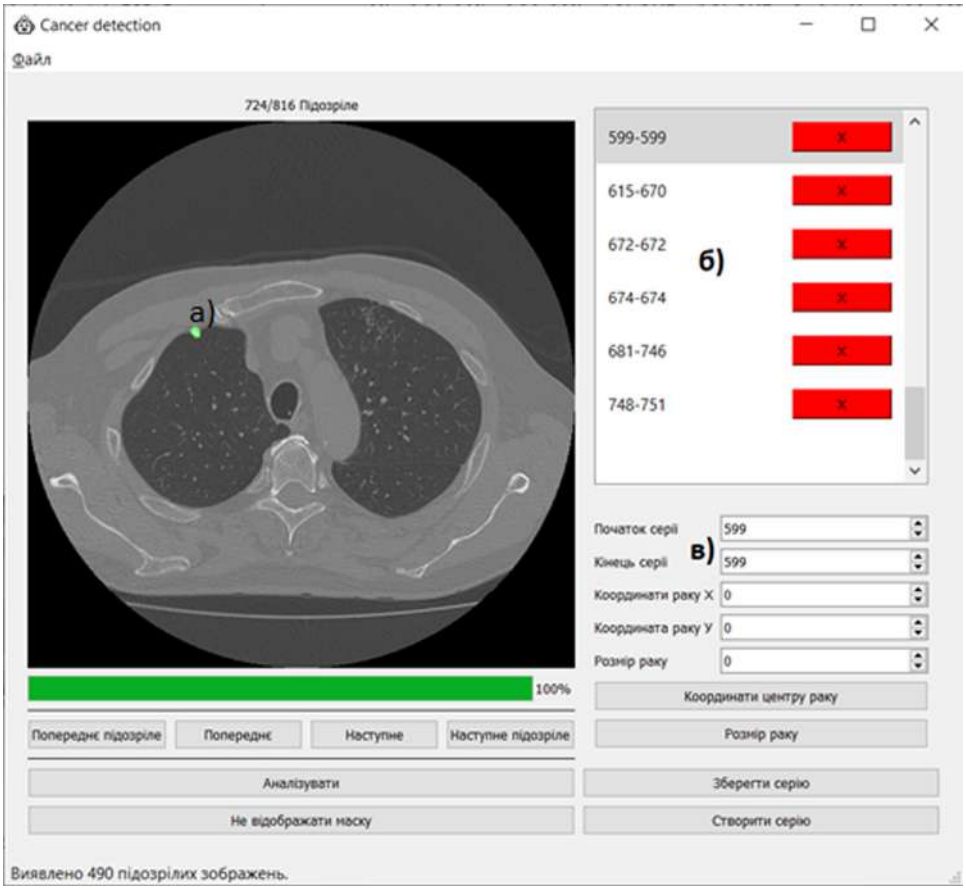

Рис. 4. Графічний інтерфейс: а) — область інтересу; б) — списки серій підозрілих зображень; в) — ручне налаштування параметрів серії

оберненої згортки 2×2, котра зменшує кількість каналів властивостей, об'єднання з відповідним чином обрізаної мапи властивостей з стискання, та двох згорток 3×3 з функцією активації ReLU. Обрізання необхідно робити через те, що втрачаються граничні пікселі при кожній згортці. На останньому кроці згортка 1×1 використовується для співставлення кожного 64 компонентного вектору властивостей з бажаною кількістю класів. Всього мережа містить 23 згорткових шари.

В якості міри точності було використано коефіцієнт Дайса.

$$DSC(V1,V2) = 2\frac{|V1 \cap V2|}{|V1| + |V2|} \quad (1)$$

Рис. 5. Область інтересу: а) з маскою; б) без маски

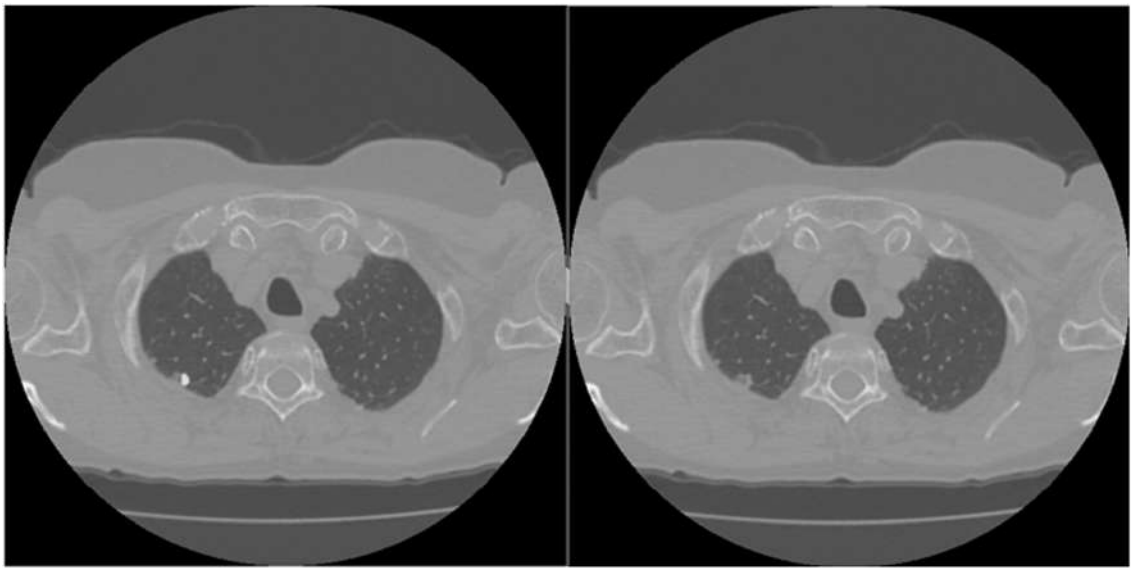

Рис. 6. Приклад хибного спрацювання системи

де, $|V1|$ — площа області інтересу на навчальній масці, $|V2|$ — площа області інтересу на масці, побудованій нейронною мережею, $|V1 \cap V2|$ — площа перетину $V1$ та $V2$.

В результаті навчання нейронної мережі U-Net отримано модель, середнє значення коефіцієнта Дайса якої становить 83%.

На основі навчених моделей створено програмний застосунок для обробки набору КТ знімків пацієнта. Оскільки в більшості випадків ракова пухлина спостерігається на серії послідовних знімків, програмний застосунок розбиває всі підозрілі знімки на відповідні серії. Графічний інтерфейс користувача програмного застосунку наведено на рис. 4.

Інтерфейс програмного застосунку розроблено з врахуванням основних функцій DICOM переглядачів.

- Забезпечено зчитування даних в вигляді файлу чи папки;
- Забезпечено послідовний перегляд знімків папки;
- Передбачено зберігання результатів в окремий файл.
- Лікар-рентгенолог має можливість виставити центр підозрілої області та визначити її діаметр;

В програмному застосунку передбачена можливість переглянути знімок з маскою та без неї (рис. 5).

Після обробки наявних наборів КТ знімків встановлено:

1. В 59 наборах КТ знімків з підтвердженою експертами наявністю захворювання на рак легень система виявила всі серії, однак не всі знімки, що входили до серії були помічені як підозрілі.

2. В наборах КТ знімків здорових людей модуль класифікації Xception виявляв до 20% підозрілих знімків, на яких модуль сегментації U-Net сегментував лише 2%. Ці області візуально підозрілі на наявність раку легень і потребують уваги рентгенолога (рис. 6).

Висновки з даного дослідження. В даній роботі запропоновано систему штучного інтелекту для виявлення КТ знімків, що містять області, підозрілі на рак. Програмний продукт може знайти застосування в скринінгових програмах з великою кількістю учасників.

Література

1. World Health Organization World Cancer Report «Cancer research for cancer prevention» 2020. URL: https://www.iccp-portal.org/sites/default/files/ resources/9789240001299-eng.pdf

2. International Agency for Research on Cancer «World Cancer Report Cancer research for cancer prevention» 2020. URL: https://www.iarc.fr/cards_page/ world-cancer-report/

3. Які заходи вживає Україна для попередження та раннього виявлення онкозахворювань. URL: https://moz.gov.ua/article/news/jaki-zahodi-vzhivae-ukraina-dlja-poperedzhennja-ta-rannogo-vijavlennja-onkozahvorjuvan

4. Li F., Sone S., Abe H. Lung cancer missed at low-dose helical CT screening in a general population: comparison of clinical, histopathologic, and imaging findings. Radiology. 2002; 225:673-683.

5. Armato S.G., Li F., Giger M.L. Lung caner: performance of automated lung nodule detection applied to cancers missed in a CT screening program. Radiology. 2002; 225:685-692.

6. Kobayashi T., Xu X.W., MacMahon H., Metz C.E., Doi K. Effect of a computer-aided diagnosis scheme on radiologists' performance in detection of lung nodules on radiographs. Radiology. 1996; 199:843-848.

7. Kakinuma R., Ohmatsu H., Kaneko M. Detection failures in spiral CT screening for lung cancer: analysis of CT findings. Radiology. 1999 Jul; 212(1):61-6.

8. Ardila D., Kiraly A. P., Bharadwaj S. et al. End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography. Nat Med 25, 2019. PP. 954–961.

9. Yitu unveils new AI cancer detection tool, hailing such products 'great creations in human history'. URL: https://www.yitutech.com/node/681

10. BOTKIN.AI Искусственный интеллект с медицинскими знаниями. URL: https://botkin.ai/wp-content/uploads/2019/12/Botkin_AI_Brochure_dec_ 2019_rus_WEB.pdf

11. Тегированные результаты компьютерных томографий легких: а.с. 2018620500 Рос. Федерация / С. П. Морозов, Н. С. Кульберг, В. А. Гомболевский с соавт.; заявитель и правообладатель: ГБУЗ «НПЦМР ДЗМ». № 2018620148; заявл. 06.02.2018; опубл. 28.03.2018, Бюл. № 4. 1 с.

12. Huang G., Liu Z., Van L. Der Maaten and Weinberger K. Q. Densely Connected Convolutional Networks // 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Honolulu, HI, 2017. PP. 2261–2269.

13. Szegedy C., Vanhoucke V., Ioffe S. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision // 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, 2016. PP. 2818–2826.

14. Chollet F. Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions // 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Honolulu, HI, 2017. PP. 1800–1807.

15. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. (2015) U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In: Navab N., Hornegger J., Wells W., Frangi A. (eds) Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention — MICCAI 2015. MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol 9351. Springer, Cham.