Вісник Національного технічного університету "ХПІ", 2024, № 1–2 (11–12)
ISSN 2079-0031 (Print) ISSN 2411-0558 (Online)

УДК 004.8 **DOI: 10.20998/2411-0558.2024.01.12**

В. О. ВЛАСЕНКО, аспірант, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

ЗАСТОСУВАННЯ СІАМСЬКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПОРІВНЯННЯ АЕРОФОТОЗНІМКІВ ІЗ КАРТАМИ МІСЦЕВОСТІ

У роботі представлено методологію розробки та навчання сіамської нейронної мережі для порівняння аерофотознімків із картами місцевості. Запропонований підхід спрямований на виявлення стійких інформативних ознак у зображеннях, що дозволяє підвищити точність та автоматизацію процесу зіставлення. Представлений метод використовує дві ідентичні мережі, які тренуються паралельно, що забезпечує зменшення розриву у характеристиках між порівнюваними зображеннями. Сіамська нейронна мережа ефективно обробляє зображення різної якості та з різним ступенем деталізації, що робить її ідеальною для порівняння аерофотознімків з картами місцевості. Розроблений інструмент дозволяє оперативно аналізувати та порівнювати аерофотознімки з картами місцевості з високою ефективністю та точністю, що сприяє розширенню області застосування у геоінформаційних дослідженнях та інженерних додатках. Іл.: 3. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: сіамські нейронні мережі; комп'ютерний зір; дрони; глибоке навчання; порівняння зображень.

Постановка проблеми. Сучасні технології безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та використання разом із ними високоточних карт місцевості надають багатогранне джерело даних для різноманітних додатків, від геопросторового аналізу до планування містобудування. Однак ефективне та точне зіставлення аерофотознімків з відповідними картами місцевості залишається викликом через складність сцен, зміни в умовах освітлення та рельєфу. У цьому контексті, використання сіамських нейронних мереж (СНМ) представляє перспективний метод для автоматизованого та точного порівняння зображень, забезпечуючи високий ступінь узагальнення та стійкість до варіацій.

Традиційні методи порівняння аерофотознімків та карт місцевості зазвичай вимагають значних часових витрат і втручання людини, особливо у випадках неоднорідних або змінних ландшафтів. Використання комп'ютерного зору та машинного навчання, зокрема згорткових

© В. О. Власенко, 2024

нейронних мереж (ЗНМ), спростило цей процес, однак певні обмеження, такі як потреба в обширних навчальних даних та високих обчислювальних ресурсах, все ще залишаються. СНМ пропонують унікальне рішення завдяки своїй здатності ефективно порівнювати та визначати ступінь схожості між двома зображеннями, що досягається за рахунок використання двох ідентичних мереж, які тренуються паралельно для зменшення розриву у характеристиках між порівнюваними зображеннями.

Важливість використання саме сіамських нейронних мереж полягає в їх здатності до глибокого навчання на базі невеликої кількості даних, що є особливо корисним у ситуаціях з обмеженими або дорогими для збору даними. Крім того, СНМ здатні ефективно обробляти зображення різної якості та з різним ступенем деталізації, що робить їх ідеальними для порівняння аерофотознімків, отриманих з дронів, з картами місцевості.

Аналіз останніх досліджень. Сіамські нейронні мережі вже знайшли застосування у багатьох сферах, включаючи біометричну ідентифікацію [1, 2], відстеження об’єктів на відео [3] та верифікацію автентичності зображень [4, 5]. У контексті порівняння аерофотознімків і карт місцевості, СНМ можуть допомогти у визначенні змін у ландшафті, виявленні новозбудованих або зниклих об’єктів та оцінці точності існуючих картографічних даних. Наприклад, дослідження фахівців [6] підкреслює ефективність сіамських нейронних мереж для візуального відстеження об’єктів за допомогою БПЛА у розумних транспортних системах, акцентуючи на балансі точності, надійності та швидкості, які СНМ забезпечують у цій галузі.

Використання глибоких нейронних мереж з інтегрованими модулями уваги для автоматизації процесу картографування зсувів [7] також демонструє значні покращення. Зокрема, вони зосереджуються на виявленні зсувів, спричинених інтенсивними опадами в гірських регіонах, показуючи здатність глибоких нейронних мереж з модулями уваги ефективніше відрізняти зсуви від інших об’єктів у зображенні.

Крім того, новий метод виявлення змін, заснований на глибокій сіамській конволюційній мережі для оптичних аерофотознімків [8], показує високу ефективність, порівнянну чи навіть кращу за сучасні методи. Використовуючи вагову контрастну втрату, дослідники тренують сіамську конволюційну мережу для виділення абстрактних і стійких особливостей безпосередньо з пар зображень, що дозволяє ефективно виявляти зміни між зображеннями.

Дослідження виявлення змін для дистанційного зондування землі на основі капсульних мереж показує, що ці мережі дозволяють досягати результатів, порівняних з традиційними згортковими нейронними мережами, але з використанням меншої кількості тренувальних даних. Псевдо-сіамська капсульна мережа [9] враховує ротаційну інваріантність та просторову ієрархію між характеристиками для виявлення змін у аерофотознімках, забезпечуючи високу точність і ефективність.

Також, концепція сіамської глобальної навчальної (Siam-GL) платформи, що використовує глибоке навчання для семантичного виявлення змін [10], показує значні переваги. Цей підхід базується на архітектурі сіамської мережі зі спільними параметрами, що дозволяє ефективно вилучати репрезентативні характеристики з пар бітемпоральних зображень, забезпечуючи точність і узагальнення результатів.

Загалом, наукові дослідження вказують на потенціал сіамських нейронних мереж у розв'язанні складних задач обробки зображень [11], що може бути особливо корисним у порівнянні аерофотознімків і карт місцевості. Вони демонструють здатність цих мереж до адаптації для різноманітних застосувань, включаючи виявлення змін у місцевості, картографування зсувів та інші завдання дистанційного зондування. Дослідження в області сіамських нейронних мереж продовжують розширювати можливості їх застосування. Напрямки розвитку включають інтеграцію з технологіями штучного інтелекту для розробки більш потужних і гнучких моделей, які можуть адаптуватися до нових завдань з мінімальною попередньою підготовкою, а також покращення процесів визначення і відстеження динамічних змін у місцевості в реальному часі.

Мета роботи. У даній роботі представляється методологія та результати, спрямовані на розробку та тренуваня сіамської нейронної мережі для порівняння аерофотознімків із картами місцевості, з особливою увагою до виявлення стійких та інформативних ознак. Мета дослідження полягає в покращенні точності та автоматизації процесу зіставлення, а також у розширенні області застосування таких систем у геоінформаційних дослідженнях та інженерних додатках. Фінальним результатом є створення інноваційного інструменту, який буде здатний оперативно аналізувати та порівнювати аерофотознімки з картами місцевості з високою точністю та ефективністю.

Основна частина. Основною задачею є створення моделі, яка здатна автоматично та точно визначати схожість між парами зображень аерофотознімків та карт місцевості. Необхідно виявити стійкі та інформативні ознаки у зображеннях, що дозволить підвищити точність та автоматизацію процесу зіставлення.

Дані для навчання складаються з аерофотознімків та карт місцевості. Пари зображень (рис. 1) формуються таким чином, щоб містити як позитивні (зображення одного класу), так і негативні (зображення різних класів) приклади, що необхідно для навчання сіамської мережі розрізняти схожі та несхожі зображення.

Рис. 1. Приклади позитивних (1, 2) та негативних (3, 4) пар зображень

Архітектура сіамської нейронної мережі починається з побудови мережі для витягання ознак. Ця мережа отримує вхідне зображення та перетворює його на вектор ознак. Основні етапи роботи цієї мережі включають кілька блоків згорткових шарів з напівлінійною функцією активації ReLU, шарами субдискретизації за максимальним значенням (Max Pooling) і Dropout для запобігання перенавчанню. Після цього застосовується глобальна субдискретизація за середнім (Average Pooling), що зменшує розміри до одного значення на канал, а також повнозв’язний шар для формування вихідного вектора ознак заданої розмірності (embeddingDim). Сіамська нейронна мережа використовує дві однакові мережі для навчання ознак (описані вище) для обробки двох вхідних зображень. Ці дві мережі є ідентичними і мають спільні ваги. Вихід кожної

ISSN 2079-0031 (Print) ISSN 2411-0558 (Online)

з цих мереж є вектором ознак для відповідного зображення. Після виділення ознак з двох зображень, сіамська мережа обчислює евклідову відстань між отриманими векторами ознак. Це робиться за допомогою шару Lambda, який обчислює корінь суми квадратів різниць між відповідними елементами двох векторів. Результат є скалярним значенням, яке представляє відстань між двома вхідними зображеннями в просторі ознак:

$$d(f(x), g(y)) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (f_i(x) - g_i(y))^2}, \quad (1)$$

де $f_i(x)$ та $g_i(y)$ – відповідні компоненти векторів ознак для двох зображень x та y.

Завершальна модель компілюється з використанням функції втрат "бінарна крос-ентропія", яка визначається як:

$$Loss = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} [y_i \log(\hat{y}) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)], \quad (2)$$

де N – кількість зразків, y_i – справжня мітка (0 або 1), а $\hat{y}_i$ – передбачена ймовірність.

Ця функція підходить для задачі бінарної класифікації (визначення, чи є два зображення схожими чи ні). Також, для компіляції моделі використовується оптимізатор "Adam" і метрика точності "accuracy".

Для оцінки ефективності розробленої сіамської нейронної мережі було проведено низку експериментів з використанням різних наборів даних.

В якості вхідних даних виступає набір з 10 відповідних зображень аерофотознімків з картами місцевості. При такому наборі (20 пар зображень) можливо досягти максимальної точності у 62%, навчання моделі можна побачити на рис. 2a. Якщо до вхідного набору даних додати аугментовані зображення, тобто створити додаткові зображення на основі одного вихідного зображення за допомогою різних випадкових перетворень, можна отримати максимальну точність вже у 63% (рис. 2b).

ISSN 2079-0031 (Print) ISSN 2411-0558 (Online)

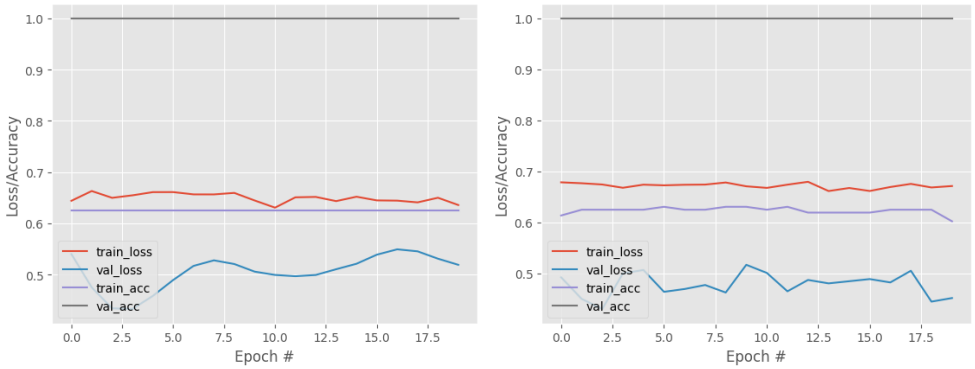

Рис. 2. Навчання моделі на вхідних даних (a) та з аугментацією (b)

Для досягнення кращого результату, пропонується проводити попередню обробку зображень, таку як перетворення у відтінки сірого, видалення шумів, виділення країв або адаптивна бінаризація. Також, зображення масштабуються до заданого розміру і діляться на менші частини для створення набору даних. Таким чином, можливо отримати велику кількість пар для навчання моделі, що покращує загальний результат.

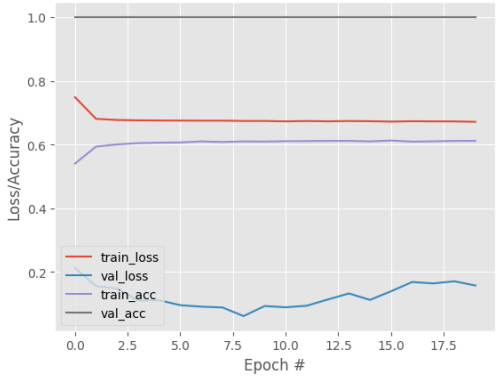

Рис. 3. Навчання моделі на вхідних даних з аугментацією та перетворенню зображень

Висновки і перспективи подальших досліджень. Використання сіамських нейронних мереж для порівняння аерофотознімків місцевості, отриманих з дронів, з картами місцевості відкриває нові перспективи для автоматизації та підвищення точності картографічних досліджень. Це дозволяє не тільки спростити процес верифікації та оновлення карт, але й забезпечує можливість для оперативного реагування на зміни в місцевості, що має велике значення для екології, містобудування та безпеки.

Проведені експерименти показали, що розроблена сіамська нейронна мережа досягає певних результатів у задачі порівняння аерофотознімків з картами місцевості. Подальші дослідження будуть спрямовані на доопрацювання моделі для покращення результатів.

Список літератури:

1. Zhang C. Siamese neural network based gait recognition for human identification / C. Zhang, W. Liu, H. Ma, H. Fu. // 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2016. – P. 2832–2836.

2. Li Z. A novel fingerprint recognition method based on a Siamese neural network / Z. Li, Wang Y., Yang Z., Tian X., [et al.] // Journal of Intelligent Systems, 2022. – Vol. 31. – P. 690–705.

3. An N. Multitarget Tracking Using Siamese Neural Networks / N. An, W. Qi Yan // ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl., 2021. – Vol. 17, No. 2s. – P. 75:1– 75:16.

4. Arısoy M. V. Signature verification using siamese neural network one-shot learning / M. V. Arısoy // International Journal of Engineering and Innovative Research, 2021. – Vol. 3, No. 3. – P. 248–260.

5. Sharma N. Siamese Convolutional Neural Network-Based Twin Structure Model for Independent Offline Signature Verification / N. Sharma, S. Gupta, H. G. Mohamed, [et al.] // Sustainability, 2022. – Vol. 14, No. 18. – P. 11484.

6. Fu C. Siamese object tracking for unmanned aerial vehicle: a review and comprehensive analysis / C. Fu, K. Lu, G. Zheng, [et al.] // Artif Intell Rev, 2023. – Vol. 56, No. 1. – P. 1417–1477.

7. Amankwah S.O.Y. Landslide detection from bitemporal satellite imagery using attention-based deep neural networks / S.O.Y. Amankwah, G. Wang, K. Gnyawali, [et al.] // Landslides, 2022. – Vol. 19, No. 10. – P. 2459–2471.

8. Zhan Y. Change Detection Based on Deep Siamese Convolutional Network for Optical Aerial Images / Y. Zhan, K. Fu, M. Yan, X. Sun, [et al.] // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2017. – Vol. 14, No. 10. – P. 1845–1849.

9. Xu Q. Pseudo-Siamese Capsule Network for Aerial Remote Sensing Images Change Detection / Q. Xu, K. Chen, X. Sun, Y. Zhang, [et al.] // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2022. – Vol. 19. – P. 1–5.

10. Zhu Q. Land-Use/Land-Cover change detection based on a Siamese global learning framework for high spatial resolution remote sensing imagery / Q. Zhu, X. Guo, W. Deng, S. Shi, Q. Guan, [et al.] // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2022. – Vol. 184. – P. 63–78.

11. Chicco D. Siamese Neural Networks: An Overview / D. Chicco // In: Cartwright, H. (eds) Artificial Neural Networks. Methods in Molecular Biology, 2021. – Vol. 2190. – P. 73–94.

References:

1. Zhang, C., Liu, W., Ma, H., Fu, H., (2016). Siamese neural network based gait recognition for human identification, in: 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). pp. 2832–2836. https://doi.org/10.1109/ICASSP.2016.7472194.

2. Li, Z., Wang, Y., Yang, Z., Tian, X., Zhai, L., Wu, X., Yu, J., Gu, S., Huang, L., Zhang, Y., (2022). A novel fingerprint recognition method based on a Siamese neural network. Journal of Intelligent Systems 31, 690–705. https://doi.org/10.1515/jisys-2022-0055.
3. An, N., Qi Yan, W., (2021). Multitarget Tracking Using Siamese Neural Networks. ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl. 17, 75:1-75:16. https://doi.org/10.1145/3441656.
4. Arısoy, M.V., (2021). Signature verification using siamese neural network one-shot learning. IJEIR 3, 248–260. https://doi.org/10.47933/ijeir.972796.
5. Sharma, N., Gupta, S., Mohamed, H.G., Anand, D., Mazón, J.L.V., Gupta, D., Goyal, N., (2022). Siamese Convolutional Neural Network-Based Twin Structure Model for Independent Offline Signature Verification. Sustainability 14, 11484. https://doi.org/10.3390/su141811484.
6. Fu, C., Lu, K., Zheng, G., Junjie, Y., Ziang, C., Bowen, L., Geng, L., (2023). Siamese object tracking for unmanned aerial vehicle: a review and comprehensive analysis. Artif Intell Rev 56 (Suppl 1), 1417–1477. https://doi.org/10.1007/s10462-023-10558-5.
7. Amankwah, S.O.Y., Wang, G., Gnyawali, K., Hagan, D.F.T., Sarfo, I., Zhen, D., Nooni, I.K., Ullah, W., Duan, Z., (2022). Landslide detection from bitemporal satellite imagery using attention-based deep neural networks. Landslides 19, 2459–2471. https://doi.org/10.1007/s10346-022-01915-6.
8. Zhan, Y., Fu, K., Yan, M., Sun, X., Wang, H., Qiu, X., (2017). Change Detection Based on Deep Siamese Convolutional Network for Optical Aerial Images. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 14, 1845–1849. https://doi.org/10.1109/LGRS.2017.2738149.
9. Xu, Q., Chen, K., Sun, X., Zhang, Y., Li, H., Xu, G., (2022). Pseudo-Siamese Capsule Network for Aerial Remote Sensing Images Change Detection. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 19, 1–5. https://doi.org/10.1109/LGRS.2020.3022512.
10. Zhu, Q., Guo, X., Deng, W., Shi, S., Guan, Q., Zhong, Y., Zhang, L., Li, D., (2022). Land-Use/Land-Cover change detection based on a Siamese global learning framework for high spatial resolution remote sensing imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 184, 63–78. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.12.005.
11. Chicco, D., (2021). Siamese Neural Networks: An Overview, in: Cartwright, H. (Ed.), Artificial Neural Networks. pp. 73–94. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0826-5_3.

Поступила (received) 30.05.2024

Статтю представив канд. техн. наук, доц. каф. геометричного моделювання та комп'ютерної графіки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Дашкевич Андрій Олександрович

Vlasenko Vitalii.
National Technical University "KhPI",
Str. Kyrpychova, 2, Kharkiv, Ukraine, 61002
Tel.: +38 (066) 271-54-72, e-mail: vlasenko.vitaliy99@gmail.com
ORCID ID: 0009-0008-6951-8496

УДК 004.8

Застосування сіамських нейронних мереж для порівняння аерофотознімків із картами місцевості / Власенко В.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2024. – № 1 – 2 (11 – 12). – С. 153 – 161.

У роботі представлено методологію розробки та навчання сіамської нейронної мережі для порівняння аерофотознімків із картами місцевості. Запропонований підхід спрямований на виявлення стійких та інформативних ознак у зображеннях, що дозволяє підвищити точність та автоматизацію процесу зіставлення. Представлений метод використовує дві ідентичні мережі, які тренуються паралельно, що забезпечує зменшення розриву у характеристиках між порівнюваними зображеннями. Сіамська нейронна мережа ефективно обробляє зображення різної якості та з різним ступенем деталізації, що робить її ідеальною для порівняння аерофотознімків з картами місцевості. Розроблений інструмент дозволяє оперативно аналізувати та порівнювати аерофотознімки з картами місцевості з високою ефективністю та точністю, що сприяє розширенню області застосування у геоінформаційних дослідженнях та інженерних додатках. Іл.: 3. Бібліогр.: 11.

Ключові слова: сіамські нейронні мережі; комп'ютерний зір; дрони; глибоке навчання; порівняння зображень.

UDC 004.8

Application of Siamese neural networks to compare aerial photographs with terrain maps / Vlasenko V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2024. – № 1 – 2 (11 – 12). – С. 153 – 161.

The work presents the methodology for the development and training of the Siamese neural network for comparing aerial photographs with terrain maps. The proposed approach is aimed at identifying stable and informative features in images, which allows to increase the accuracy and automation of the matching process. The presented method uses two identical networks that are trained in parallel, which ensures a reduction in the gap in characteristics between the compared images. The Siamese neural network efficiently handles images of varying quality and detail, making it ideal for comparing aerial photographs with terrain maps. The developed tool allows for quick analysis and comparison of aerial photographs with terrain maps with high efficiency and accuracy, which contributes to the expansion of the field of application in geoinformation research and engineering applications. Figs.: 3. Refs.: 11.

Keywords: Siamese neural networks; computer vision; drones; deep learning; image comparison.