

УДК 004.932

DOI: 10.20998/2411-0558.2023.01.06

А. О. ДАШКЕВИЧ, канд. техн. наук, доц., Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків.

ГЕОМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ПОСЛІДОВНОСТЯХ ЗОБРАЖЕНЬ

В результаті роботи розроблено підхід до швидкої ідентифікації динамічних об'єктів, що описуються як точки в метричних просторах, процес ідентифікації відбувається на основі припущення про близькість точок, що відповідають різним станам одного об'єкта у заданому метричному просторі. Представлений підхід базується на порівнянні відстаней між точками, що описують стан об'єкту. Результати роботи реалізовано в вигляді програмного забезпечення для ідентифікації динамічних об'єктів на послідовностях цифрових зображень та візуалізації таких експериментів. Проведено тестування підходу на синтетичних даних та на реальних даних для ідентифікації об'єктів, знайдених на відео. Іл.: 4. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: ідентифікація динамічних об'єктів; метричний простір; близькість точок.

Постановка проблеми. Обробка цифрових зображень та відео набула великого значення у практичних задачах сучасності. Однією із подібних задач є аналіз послідовностей зображень для пошуку на них рухомих об'єктів. В задачах пошуку об'єктів суттєвий прогрес показали штучні нейронні мережі, такі як YOLO [1] або R-CNN [2]. Важливого значення у способах отримання та аналізу зображень набувають практичні застосування безпілотних літальних апаратів, наприклад, для аналізу земної поверхні [3] та будівельних конструкцій [4, 5], моніторингу ферм та електричних мереж [6, 7]. В таких задачах виникає необхідність визначення та ідентифікації конкретних об'єктів, які можуть знаходитись в процесі руху.

Аналіз останніх досліджень. В сучасних дослідженнях приділяється багато уваги до вдосконалення алгоритмів пошуку та відслідковування об'єктів на відео [8, 9], зокрема, покращенню якості пошуку об'єктів із використанням штучних нейронних мереж [10]. В роботах [11, 12] розглядаються методи на основі теорії графів та Байєсівських мереж для розв'язання задачі відслідковування множин об'єктів. Наведені методи дозволяють досягти кращих результатів, але потребують значних додаткових обчислювальних витрат на пошук розв'язків, що може бути непридатним у задачах ідентифікації в реальному

часі, тому можливим напрямком досліджень є пошук більш швидких способів ідентифікації об'єктів.

Мета роботи. Розробка підходу та програмного забезпечення для швидкої ідентифікації динамічних об'єктів, стан яких заданий як точки у багатовимірних метричних просторах.

Основна частина. Сформулюємо задачу ідентифікації об'єктів: для точкової множини у багатовимірному просторі $P = \{p_1, \dots, p_M\}^d$, яка задана точками $p_i = (x_1, \dots, x_d)$, що унікальним чином характеризують вхідні об'єкти, та заданих послідовних моментах часу t та $t+1$, визначити таку відповідність між двома станами множини P^t та P^{t+1} , що:

$$p_i \in P^t \equiv p_j \in P^{t+1}. \quad (1)$$

Якщо на вхідному просторі задана деяка метрика d , тоді умова (1) може бути переформульована як:

$$d(p_i, p_j) \leq d_{\min}, \quad (2)$$

де d_{\min} – деяка порогова відстань.

Таким чином, умова (2) базується на припущенні, що однакові об'єкти, або їх стани у послідовні моменти часу знаходяться близько в метричному просторі, що надає можливість визначати такі об'єкти або їх стани. В якості метрики може бути використана будь-яка функція, що задовольняє умовам:

$$\begin{aligned} d(p, q) &\geq 0, \\ d(p, q) &= 0 \mid p = q, \\ d(p, q) &\geq d(p, w) + d(w, q). \end{aligned} \quad (3)$$

Розглянемо приклад ідентифікації об'єктів на синтетичному прикладі, для якого було згенеровано двовимірну точкову множину, для кожної точки якої було задано випадковий вектор зміщення, приклад двох ітерацій руху наведено на рис. 1, кожна точка позначена унікальним кольором. Протягом симуляції знаходимо пари точок, для яких виконується умова (2) за наступною схемою:

1) задаємо нульове значення лічильнику помилки e для кожної точки на кроці $t+1$ та складаємо усі попарні комбінації точки з точками кроку t ;

2) серед усіх потенційних пар знаходимо пару із мінімальною відстанню між точками та їх індекси у вхідних масивах, які також унікальним чином поставлені у відповідність кожній точці;

3) якщо індекси точок в парі із мінімальною відстанню однакові, то переходимо до наступної точки з множини кроку $t + 1$, якщо ні, то збільшуємо лічильник помилки для поточної точки на одиницю $e = e + 1$;

4) визначаємо загальну помилку для усіх точок між ітераціями $t+1$ та t :

$$E = \frac{e}{N_p}, \quad (4)$$

де N_p – загальна кількість точок. На рис. 2 показано залежність середніх значень помилки за виразом (4) для різних значень d_{min} . На рис. 3 наведено залежність поточного значення e від d_{min} .

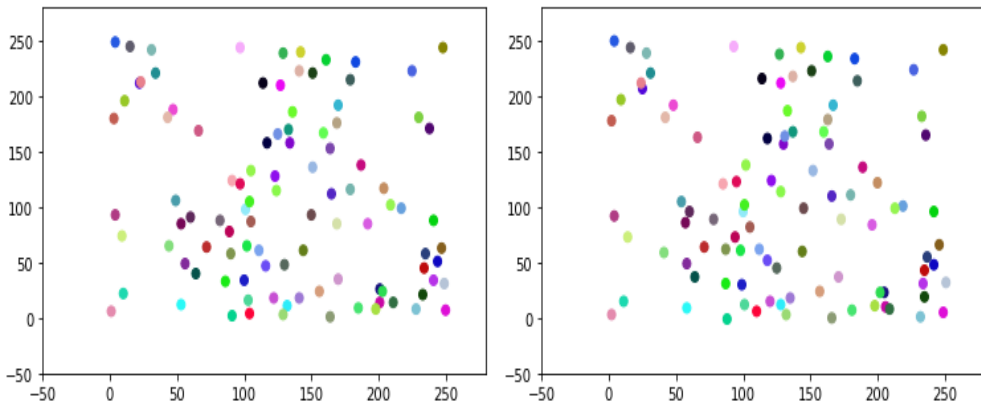


Рис. 1. Приклад тестової точкової множини

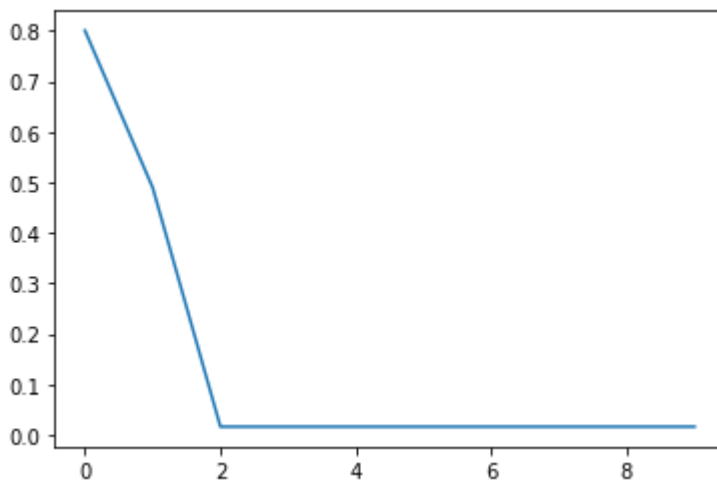


Рис. 2. Середні значення помилки в залежності від d_{min}

Продемонструємо застосування підходу до задачі ідентифікації знайдених об'єктів на відео, пошук об'єктів здійснювався засобами

штучної нейронної мережі YOLO, також може бути використана ШНМ R-CNN, або будь-який подібний детектор об'єктів.

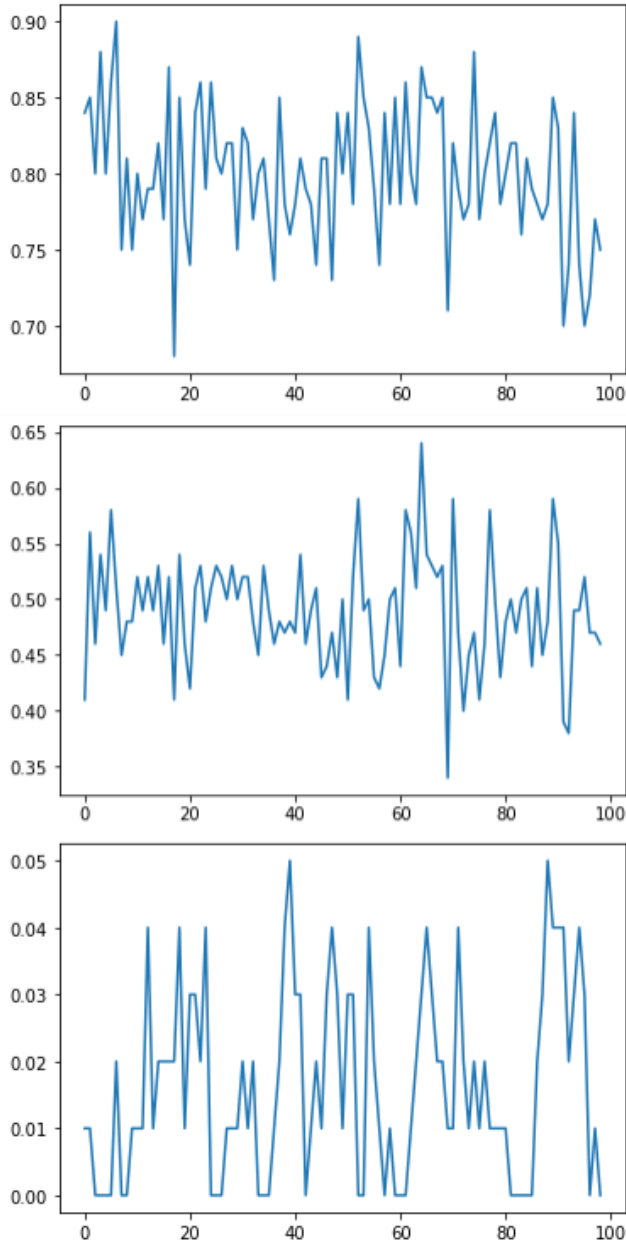


Рис. 3. Залежність поточної помилки e для $d_{min} = \{1, 2, 3\}$

Детектори об'єктів здійснюють пошук об'єктів на зображеннях через знаходження відповідних обмежуючих прямокутників (рис. 4), недоліком таких систем є те, що вони не ідентифікують знайдені об'єкти. В роботі

пропонується застосувати вищенаведений підхід до ідентифікації унікальних об'єктів на послідовності зображень, в якості точкових множин виступатимуть множини знайдених обмежувальних прямокутників B^t та B^{t+1} для попереднього та поточного кадру, відповідно. Кожен елемент $b_i \in B$ являє набір значень в тривимірному просторі $\{x, y, w/h\}$ – {координати центру, співвідношення сторін}.

В результаті тестування було проведено експерименти на послідовності з 50 розпізнаних зображень, оцінювання відбувалось за модифікованою умовою (4):

$$E = \frac{N_I}{N_F}, \quad (4)$$

де N_I та N_F – кількість невірно ідентифікованих об'єктів та кількість кадрів, на якій об'єкт було знайдено, відповідно.

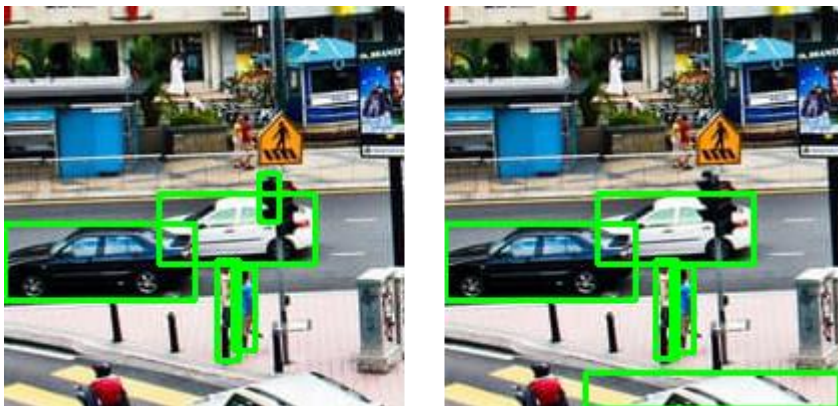


Рис. 4. Результат пошуку об'єктів на послідовності кадрів

Висновки і перспективи подальших досліджень. В результаті роботи розроблено підхід до ідентифікації динамічних об'єктів, що описуються як точки в метричних просторах, процес ідентифікації відбувається на основі припущення про близькість точок, що відповідають різним станам одного об'єкта у заданому метричному просторі. Результатом виконання роботи є створення обчислювального програмного забезпечення для ідентифікації динамічних об'єктів на послідовностях цифрових зображень та візуалізації таких експериментів. Подальші дослідження будуть спрямовані на автоматизацію підбору параметрів системи.

Список літератури:

1. Wang C.-Y. Scaled-yolov4: scaling cross stage partial network / C.Y. Wang, A. Bochkovskiy, H.-Y.M. Liao. – 2021. – 13029–13038 p.

2. Girshick R. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation / R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, J. Malik. – USA : IEEE Computer Society, 2014. – 580–587 p. – ISBN 978-1-4799-5118-5.
3. Kleinschroth F. Drone imagery to create a common understanding of landscapes / F. Kleinschroth, K. Banda, H. Zimba, [et al.] // *Landscape and Urban Planning*. – 2022. – Vol. 228. – P. 104571.
4. Asnafi M. A review on potential applications of unmanned aerial vehicle for construction industry / M. Asnafi, S. Dastgheibifard // *Sustainable Structures and Materials, An International Journal*. – 2018. – Vol. 1, No. 2. – P. 44–53.
5. Mandirola M. Use of uas for damage inspection and assessment of bridge infrastructures / M. Mandirola, C. Casarotti, S. Peloso, [et al.] // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. – 2022. – Vol. 72. – P. 102824.
6. Hafeez A. Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: a review / A. Hafeez, M.A. Husain, S P. Singh, [et al.] // *Information Processing in Agriculture*. – 2023. – Vol. 10, No. 2. – P. 192–203.
7. Schofield O. B. Autonomous power line detection and tracking system using uavs / O. B. Schofield, N. Iversen, E. Ebeid // *Microprocessors and Microsystems*. – 2022. – Vol. 94. – P. 104609.
8. Liu C. Robust object detection with inaccurate bounding boxes / C. Liu, K. Wang, H. Lu, [et al.] // *Computer Vision – ECCV 2022* / S. Avidan, G. Brostow, M. Cissé, [et al.]. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2022. – P. 53–69.
9. Mandel T. Detection confidence driven multi-object tracking to recover reliable tracks from unreliable detections / T. Mandel, M. Jimenez, E. Risley, [et al.] // *Pattern Recognition*. — 2023. — Vol. 135. — P. 109107.
10. Yuan J. Identification method of typical defects in transmission lines based on yolov5 object detection algorithm / J. Yuan, X. Zheng, L. Peng, [et al.] // *Energy Reports*. – 2023. – Vol. 9. – P. 323–332.
11. Han S. ORT: occlusion-robust for multi-object tracking / S. Han, H. Wang, E. Yu, Z. Hu // *Fundamental Research*. – 2023. – P. S2667325823000328.
12. Saada M. A multi-object tracker using dynamic bayesian networks and a residual neural network based similarity estimator / M. Saada, C. Kouppas, B. Li, Q. Meng // *Computer Vision and Image Understanding*. – 2022. – Vol. 225. – P. 103569.

References:

1. Wang, C.-Y., Bochkovskiy, A., Liao, H.-Y.M. (2021),. Scaled-YOLOv4: Scaling Cross Stage Partial Network, in: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. pp. 13029–13038.
2. Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., Malik, J. (2014), Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation, in: *Proceedings of the 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR '14. IEEE Computer Society, USA*, pp. 580–587. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2014.81>.
3. Kleinschroth, F., Banda, K., Zimba, H., Dondeyne, S., Nyambe, I., Spratley, S., Winton, R.S. (2022), *Drone imagery to create a common understanding of landscapes. Landscape and Urban Planning* 228, 104571. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104571>.
4. Asnafi, M., Dastgheibifard, S. (2018), A Review on Potential Applications of Unmanned Aerial Vehicle for Construction Industry. *Sustainable Structures and Materials, An International Journal* 1, 44–53. <https://doi.org/10.26392/SSM.2018.01.02.044>.

5. Mandirola, M., Casarotti, C., Peloso, S., Lanese, I., Brunesi, E., Senaldi, I. (2022), Use of UAS for damage inspection and assessment of bridge infrastructures. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 72, 102824. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102824>.
6. Hafeez, A., Husain, M.A., Singh, S.P., Chauhan, Anurag, Khan, Mohd.T., Kumar, N., Chauhan, Abhishek, Soni, S.K. (2023), Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review. *Information Processing in Agriculture* 10, 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2022.02.002>.
7. Schofield, O.B., Iversen, N., Ebeid, E. (2022), Autonomous power line detection and tracking system using UAVs. *Microprocessors and Microsystems* 94, 104609. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2022.104609>.
8. Liu, C., Wang, K., Lu, H., Cao, Z., Zhang, Z. (2022), Robust Object Detection with Inaccurate Bounding Boxes, in: Avidan, S., Brostow, G., Cissé, M., Farinella, G.M., Hassner, T. (Eds.), *Computer Vision – ECCV 2022, Lecture Notes in Computer Science. Springer Nature Switzerland, Cham*, pp. 53–69. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20080-9_4.
9. Mandel, T., Jimenez, M., Risley, E., Nammoto, T., Williams, R., Panoff, M., Ballesteros, M., Suarez, B. (2023), Detection confidence driven multi-object tracking to recover reliable tracks from unreliable detections. *Pattern Recognition* 135, 109107. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2022.109107>.
10. Yuan, J., Zheng, X., Peng, L., Qu, K., Luo, H., Wei, L., Jin, J., Tan, F. (2023), Identification method of typical defects in transmission lines based on YOLOv5 object detection algorithm. *Energy Reports* 9, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.04.078>.
11. Han, S., Wang, H., Yu, E., Hu, Z. (2023), ORT: Occlusion-robust for multi-object tracking. *Fundamental Research* S2667325823000328. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2023.02.003>.
12. Saada, M., Kouppas, C., Li, B., Meng, Q. (2022), A multi-object tracker using dynamic Bayesian networks and a residual neural network based similarity estimator. *Computer Vision and Image Understanding* 225, 103569. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2022.103569>.

Поступила (received) 30.06.2023

Статтю представив д-р. техн. наук, проф., зав. каф. геометричного моделювання та комп'ютерної графіки Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Шоман Ольга Вікторівна

Dashkevych Andrii, Cand. Tech, Sci.
National Technical University "KhPI",
Str. Kyrpychova, 2, Kharkiv, Ukraine, 61002
Tel.: +38 (095) 388-04-56, e-mail: dashkewich.a@gmail.com
ORCID ID:0000-0002-9963-0998

УДК 004.932

Геометрична ідентифікація динамічних об'єктів на послідовностях зображень / Дашкевич А.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2023. – № 1–2 (9–10). – С. 72 – 80.

В результаті роботи розроблено підхід до швидкої ідентифікації динамічних об'єктів, що описуються як точки в метричних просторах, процес ідентифікації відбувається на основі припущення про близькість точок, що відповідають різним станам одного об'єкта у заданому метричному просторі. Представлений підхід базується на порівнянні відстаней між точками, що описують стан об'єкту. Результати роботи реалізовано в вигляді програмного забезпечення для ідентифікації динамічних об'єктів на послідовностях цифрових зображень та візуалізації таких експериментів. Проведено тестування підходу на синтетичних даних та на реальних даних для ідентифікації об'єктів знайдених на відео. Іл.: 4. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: ідентифікація динамічних об'єктів; метричний простір; близькість точок.

UDC 004.932

Geometric identification of dynamic objects on image sequences / Dashkevych A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2023. – № 1–2 (9–10). – С. 46 – 54.

As a result of the work, an approach to fast identification of dynamic objects described as points in metric spaces has been developed, the identification process is based on the assumption of the proximity of points corresponding to different states of the same object in a given metric space. The presented approach is based on the comparison of distances between points describing the state of the object. The results of the work are implemented in the form of software for the identification of dynamic objects on sequences of digital images and visualization of such experiments. The approach was tested on synthetic data and on real data for the identification of objects found in the video. Figs.: 4. Refs.: 12 titles.

Keywords: dynamic objects identification; metric space; proximity of points.