

ВУСАТИЙ НІКИТА

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0005-1518-7087>e-mail: mixggua@gmail.com

ПАСІЧНИК ОЛЕКСАНДР

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8760-4688>e-mail: o.a.pasichnyk@gmail.com

МАНЗЮК ЕДУАРД

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7310-2126>e-mail: eduard.em.km@gmail.com

СКРИПНИК ТЕТЯНА

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8531-5348>e-mail: tskripnik1970@gmail.com

СПОСІБ ОЦІНКИ ЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ЗА АНАЛІЗОМ ЗОБРАЖЕНЬ З КРУГОВИМ ГРАДІЄНТОМ КОЛЬОРУ У ЗАДАЧІ ВИМІРЮВАННЯ В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Нинішній етап розвитку людства можна характеризувати як неймовірно великий обсяг інформації у цифровій індустрії. Спостерігаючи за цим, сміливо можна сказати, цифрова індустрія - повністю замінила та автоматизувало життя і життєдіяльність. Як було зазначено, сьогодні все більш поширюється тенденція до повного проникнення інтелектуальних інформаційних технологій у всі сфери людської діяльності, що часто супроводжується використанням різних цифрових технічних пристроїв. Однією зі стійких тенденцій останнього часу є значне поширення використання засобів для отримання зображення навіть у повсякденному житті. У той же час, зростає потреба в визначенні наявності або відсутності зміщення об'єктів спостереження. Ці обставини створюють можливості для розв'язання цієї задачі шляхом порівняння послідовних зображень, що дозволяє не тільки якісно оцінювати наявність зміщення, але й вимірювати його величину. Такий підхід надає можливість вирішувати задачі вимірювання в технічних системах. Ключовим питанням, яке обумовлює потенційну точність в задачі вимірювання, є максимально точне вимірювання положення об'єкту спостереження на тлі інших. Загалом спостерігач має справу із градієнтною зміною кольорів в умовах як природного так й штучного освітлення, й завдання визначення положення об'єкту спостереження фактично полягає в аналізі зображень з круговим градієнтом кольору.

Ключові слова: спосіб зміщення, аналіз зображень, метод *k-means*.

VUSATYI NIKITA, PASICHNYK OLEKSANDR, MANZIUK EDUARD, SKRYPNYK TETIANA
Khmelnitskyi National University

A METHOD FOR ESTIMATING THE DISPLACEMENT OF OBJECTS BY ANALYZING IMAGES WITH A CIRCULAR COLOR GRADIENT IN THE PROBLEM OF MEASUREMENT IN TECHNICAL SYSTEMS

The current stage of human development can be characterized as an incredibly large amount of information in the digital industry. Observing this, we can safely say that the digital industry has completely replaced and automated life and activities. As noted above, today there is a growing trend towards the full penetration of intelligent information technologies into all spheres of human activity, often accompanied by the use of various digital technical devices. One of the recent stable trends is the widespread use of imaging devices even in everyday life. At the same time, there is a growing need to determine the presence or absence of displacement of objects of observation. These circumstances create opportunities for solving this problem by comparing successive images, which allows not only to qualitatively assess the presence of displacement, but also to measure its magnitude. This approach makes it possible to solve measurement problems in technical systems. The key issue that determines the potential accuracy in a measurement task is the most accurate measurement of the position of the object of observation against the background of others. In general, the observer deals with a gradient change in color under both natural and artificial lighting conditions, and the task of determining the position of the object of observation is actually to analyze images with a circular color gradient.

Keywords: displacement method, image analysis, *k-means* method.

Постановка проблеми

Серед різноманітних видів інформації, що повсякденно використовуються людиною у своїй науковій, виробничій та побутовій діяльності, першочергове значення має вимірювальна інформація, яка містить кількісну оцінку результатів наукових досліджень і спостережень, стан виробництва та технологічні процеси, характеристики продукції, фактори зовнішнього середовища, фізіологічні та психоемоційні стани тощо [1–5].

Загальносвітова тенденція вдосконалення обладнання та технологій полягає у покращенні майже кожного продукту. Фактором, який об'єктивно впливає на підвищення їх якості, надійності та довговічності, є дослідження відповідних властивостей, параметрів і характеристик матеріалів, деталей, вузлів, агрегатів і систем з деталізованим рівнем інформації щодо їх збереження та накопичення, їх структурування, систематизація, класифікація тощо.

Вченим і дослідникам завжди доводилося з'ясовувати максимально повну і точну інформацію про процеси і явища, що відбуваються під час кожного експерименту. Проблема підвищення інформативності спостережень і достовірності отриманих експериментальних даних може бути вирішена за рахунок збільшення обсягу отриманих даних, зокрема за рахунок скорочення часу між дискретними вимірюваннями, збереження безперервного вимірювання параметрів процесу без зупинки і без розбирання, використання відповідних методів реєстрації, які не спотворюють спостережувані закономірності, використання різноманітних методів візуалізації, використання найновіших методів і технік вимірювання, які базуються на принципово інших фізичних процесах чи явищах.

Одним з перспективних підходів до вирішення цих завдань і проблем є впровадження різноманітних систем автоматичної реєстрації параметрів процесу.

Методи візуалізації та документування, які використовують фотографію, популярні в наукових дослідженнях протягом майже двох століть. Широке використання фотографії пояснюється здатністю документувати процеси та явища як якісно, так і кількісно. Широке розповсюдження засобів отримання цифрових зображень об'єктивно обумовлює розширення кола вирішуваних задач з їх використанням. Покращення якості та достовірності отримуваних результатів є можливим за умови використання методів та алгоритмів штучного інтелекту та інтелектуального аналізу даних [6–14].

Аналіз останніх джерел

Розглянуті сучасні технології оцінки поля зміщення та сегментація зображень за допомогою блокового зіставлення, підсиленого нейронною мережею [15]. Розрахунки, присвячені оцінці зміщення в ультразвукових зображеннях з використанням псевдофази [16].

Метою роботи є розробка способу оцінки зміщення об'єктів за аналізом зображень з круговим градієнтом кольору у задачі вимірювання в технічних системах.

Виклад основного матеріалу

Загальносвітова тенденція вдосконалення обладнання та технологій полягає у покращенні майже кожного продукту. Фактором, який об'єктивно впливає на підвищення їх якості, надійності та довговічності, є дослідження відповідних властивостей, параметрів і характеристик матеріалів, деталей, вузлів, агрегатів і систем з деталізованим рівнем інформації щодо їх збереження та накопичення, їх структурування, систематизація, класифікація тощо.

Вченим і дослідникам завжди доводилося з'ясовувати максимально повну і точну інформацію про процеси і явища, що відбуваються під час кожного експерименту. Проблема підвищення інформативності спостережень і достовірності отриманих експериментальних даних може бути вирішена за рахунок збільшення обсягу отриманих даних, зокрема за рахунок скорочення часу між дискретними вимірюваннями, збереження безперервного вимірювання параметрів процесу без зупинки і без розбирання, використання відповідних методів реєстрації, які не спотворюють спостережувані закономірності, використання різноманітних методів візуалізації, використання найновіших методів і технік вимірювання, які базуються на принципово інших фізичних процесах чи явищах [17].

Одним з перспективних підходів до вирішення цих завдань і проблем є впровадження різноманітних систем автоматичної реєстрації параметрів процесу.

Методи візуалізації та документування, які використовують фотографію, популярні в наукових дослідженнях протягом майже двох століть. Широке використання фотографії пояснюється здатністю документувати процеси та явища як якісно, так і кількісно [18].

Особливості фотографічних методів фіксації інформації в результаті досліджень і спостережень мають значну перевагу і тому вони так широко використовуються в багатьох сферах життя людини [19].

Однією з найпопулярніших тенденцій сучасного вимірювання є значна роль інформаційних технологій. Одним з життєздатних рішень проблеми вимірювання за допомогою цього підходу є непрямі методи, які базуються на обробці зображень.

Наприклад, науково-технічна мета підвищення ефективності методів вимірювання може бути реалізована шляхом оптико-електронного позиціонування та пасивних стереоскопічних вимірювань дальності завдяки розробці та впровадженню перешкодостійких методів обробки оптичного потоку.

У проекті параметри переміщень об'єктів розраховуються за алгоритмічною обробкою їх зображень, зокрема запропоновано два способи визначення розмірів геометричної природи - шляхом виділення контурів, що переходять у символічний опис зображення, або шляхом сегментації зображення за рівнем яскравості та визначенням координат точки на контурі об'єкта. У результаті прогресування цих зображень дозволяє ідентифікувати лінійні та кутові рухи [20].

Інша важлива сфера, яка потребує, з одного боку, результатів вимірювань, а з іншого - первинної інформації, а саме зображень, представлена в системах технічного зору.

У підсумку в статті описані галузі техніки і науки, які активно використовують різні системи технічного зору. У статті викладено основні підходи до використання таких систем, запропоновано нову формулу для розрахунку відстані між об'єктами та наведено її аналіз [21].

Реалізація вимірювальних систем, які передбачають використання зображень, потребує використання певних алгоритмів цифрової обробки зображень і комп'ютерного зору.

У результаті проект містить дослідницькі матеріали щодо створення структурних методів розпізнавання спостережуваних об'єктів на відповідних зображеннях у контексті геометричних перетворень

за наявності інтерференції. У цій статті описано сучасні підходи до створення структурного опису зображення, створення структур і асоціацій ознак, обчислення мір подібності між описами, використання методів обробки зображень для прискорення процесу або підвищення його точності при вирішенні практичних завдань, які включають аналіз зображення.

Дослідження сучасних наукових публікацій на тему вимірювання лінійних переміщень за допомогою аналізу зображень підтверджує можливість розробки багатьох методів вимірювання, зазначений підхід є ефективним і має високу ступінь застосовності.

Алгоритм кластеризації k-means (k-means clustering) – це техніка машинного навчання, яка використовується для кластеризації подібних об'єктів у класи на основі їхніх властивостей і характеристик. В алгоритмі k-середніх кожен кластер представлений своїм центроїдом, який є точкою, яка є середнім значенням об'єктів у кластері.

Мета кластеризації k-середніх полягає в тому, щоб розділити набір даних на підмножини (кластери), кожна з яких містить об'єкти, схожі один на одного, і об'єкти, які не схожі один на одного. Кластеризація k-середніх використовується в різних галузях, включаючи медицину, біологію, маркетинг тощо.

При використанні методу k-середніх для реалізації способу оцінки зміщення об'єктів за аналізом зображень кластером є окремий об'єкт спостереження на цьому зображенні. Застосування кластеризації дозволяє визначити положення та, в подальшому, зміщення одразу кількох об'єктів спостереження з не синхронізованим рухом.

Головною метою кластеризації k-середніх це пошук кластерів у заданих вхідних параметрах. Існує кілька способів цього досягти. Можна використовувати метод через випробування, та отримувати безліч помилок і саме на цих помилках вчитися, вказавши значення K, наприклад, як 5, 6 або 7. І по мірі просування постійно змінювати відповідний параметр до того моменту, поки не буде отримано найкращий результат, а саме, найкращі, так звані, кластери.

Наступний метод використовує техніку Elbow. Цей метод полягає у визначенні значення K. Тож, коли система отримує значення K, воно випадковим чином призначає відповідну кількість центроїдів та визначає відстань кожної точки даних один від одних центроїдів. Таким чином, у кожного центроїда є свої точки. Відстань між точками та цим одним центроїдом є мінімальною. В результаті, усі точки призначені конкретного та відповідному центроїду, і призначені з мінімальною відстанню. На цьому етапі, отримано K кількість початкових, так званих, кластерів.

Для новоутворених кластерів визначається нове центральне положення. Положення центру тяжіння зміщується порівняно з випадковим розподілом.

Знову ж таки, відстань кожної точки обчислюється від нової точки центроїда. Якщо необхідно, точки даних переміщуються на нові центроїди, а середнє положення або новий центроїд знову обчислюється.

Якщо центроїд зміщується, ітерація продовжується, що вказує на те, що конвергенції не відбулося. Однак, як тільки центроїд перестане дрейфувати (що означає, що процес кластеризації завершено), результат буде відображено.

Висновки

За результатами виконання кваліфікаційної роботи було розроблено спосіб оцінки зміщення об'єктів за аналізом зображень з круговим градієнтом кольору у задачі вимірювання в технічних системах.

Реалізовано спосіб оцінки зміщення об'єктів за аналізом зображень з круговим градієнтом кольору. Суть способу полягає в опрацюванні серій послідовних зображень із визначенням на кожному з них положення об'єкту. Для визначення положення об'єкту використовується метод кластеризації, а саме метод k-means. Застосування методу кластеризації дозволяє визначення положення одразу кількох об'єктів на одиничному зображенні. Це дозволяє визначати величину зміщення кількох об'єктів одночасно за один цикл обробки однієї серії послідовної зображень, тобто оцінювати зміщення кількох об'єктів спостереження з несинхронізованим рухом без застосування ітераційної по об'єктової процедури.

Література

1. Пасічник О.А. Програмна система методу вимірювання лінійних переміщень за аналізом зображень. Актуальні проблеми комп'ютерних наук. Збірник наукових праць за матеріалами XIII всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021». Хмельницький: ХНУ, 2021. С. 385–389.

2. Вараниця О.А., Пасічник О.А. Застосування об'єктно-орієнтованого програмування для автоматизації вимірювань на основі аналізу зображень. Збірник наукових праць факультету прикладної математики та комп'ютерних технологій Хмельницького національного університету. Хмельницький: ХНУ, 2010. С. 87–90.

3. Пасічник О.А. Застосування кількісної цифрової фотографії при трибологічних дослідженнях. Тези доповідей VI-ї міжнародної конференції молодих науковців "Інформатика і механіка". 2008. С. 19–20.

4. Пасічник О.А. Фотографічний метод вимірювань при трибологічних дослідженнях. Вісник Хмельницького національного університету. 2008. № 2(108). С. 173–175.

5. Пасічник О.А. Деякі методологічні аспекти застосування кількісної цифрової фотографії в наукових дослідженнях. Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції "Дні науки 2006". Том 30. Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006. С. 10–12.
6. Manziuk E. A., Barmak O. V., Krak Iu. V., Pasichnyk O. A., Radiuk P. M., Mazurets O. V. Semantic alignment of ontologies meaningful categories with the generalization of descriptive structures. *Problems in programming*. 2022. Vol. 3, No. 4. P. 355-363. DOI: <https://doi.org/10.15407/pp2022.03-04.355>
7. Barmak A. V., Krak Y. V., Manziuk E. A., Kasianiuk V. S. Information technology of separating hyperplanes synthesis for linear classifiers. *Journal of Automation and Information Sciences*, 2019. Vol. 51, No. 5. P. 54–64. URL: <https://doi.org/10.1615/JAutomatInfScien.v51.i5.50>.
8. Krak I., Barmak O., Manziuk E. Using visual analytics to develop human and machine-centric models: A review of approaches and proposed information technology. *Computational Intelligence*, 2022. Vol. 38, No. 3. P. 921–946. URL: <https://doi.org/10.1111/coin.12289>.
9. Krak Iu. V., Kasianiuk V. S., Kudin H. I., Barmak O. V., Manziuk E. A. Multivariate scaling of the characteristic features based on pseudo-inverse operations for recognition problems solving. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2020. Vol. 30, No. 2. Pp. 184–191. URL: <https://doi.org/10.1134/S1054661820020078>.
10. Manziuk E. A., Barmak A. V., Krak Y. V., Kasianiuk V. S. Definition of information core for documents classification. *Journal of Automation and Information Sciences*, 2018. Vol. 50, No. 4. P. 25–34. URL: <https://doi.org/10.1615/JAutomatInfScien.v50.i4.30>.
11. Manziuk E. A., Wójcik W., Barmak O. V., Krak I. V., Kulias A. I., Drabovska V. A., Puhach V. M., Sundetov S., Mussabekova A. Approach to creating an ensemble on a hierarchy of clusters using model decisions correlation. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2020. Vol. 96, No. 9. P. 108–113. URL: <https://doi.org/10.15199/48.2020.09.23>.
12. Krak I., Barmak O., Manziuk E., Kudin H. Approach to piecewise-linear classification in a multi-dimensional space of features based on plane visualization. *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making*. 2020. Vol. 1020. P. 35–47. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1_3.
13. Krak I., Barmak O., Manziuk E., Kulias A. Data classification based on the features reduction and piecewise linear separation. *Intelligent Computing and Optimization*. 2020. Vol. 1072. P. 282–289. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33585-4_28.
14. Barmak O., Krak I., Manziuk E., Lytvynenko V., Kalyta O. Classification technology based on hyperplanes for visual analytics with implementations for different subject areas. *CEUR-WS*. 2020. Vol. 2623. P. 96–106.
15. Displacement estimation in ultrasound images using pseudo-phase. https://www.researchgate.net/publication/224466523_Displacement_estimation_in_ultrasound_images_using_pseudo-phase.
16. Displacement field estimation and image segmentation using block matching enhanced by a neural network. <https://www.csie.ntu.edu.tw/~fuh/personal/DisplacementFieldEstimationandImageSegmentation.pdf>.
17. Big data will become a key basis of competition, underpinning new waves of productivity growth, innovation, and consumer surplus - as long as the right policies and enablers are in place. <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation>.
18. The Necessity of Measurement in Everyday Life. <https://www.bmdshapi.com/the-necessity-of-measurement-in-everyday-life-fred-b-bryant-ph-d-loyola-university-chicago/>.
19. Measurement in metrology, psychology and social sciences: data generation traceability and numerical traceability as basic methodological principles applicable across sciences. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11135-020-00970-2>.
20. Recent advances and applications of deep learning methods in materials science. <https://www.nature.com/articles/s41524-022-00734-6>.
21. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. <https://www.mdpi.com/2072-4292/3/6/1104>.

References

1. Pasichnyk O.A. Prohramna systema metodu vymiriuvannya liniinykh peremishchen za analizom zobrazhen. Aktualni problemy kompiuternykh nauk. Zbirnyk naukovykh prats za materialamy XIII vseukrainskoi nauково-praktychnoi konferentsii «Aktualni problemy kompiuternykh nauk APKN-2021». Khmelnytskyi: KhNU, 2021. S. 385–389.
2. Varanytsia O.A., Pasichnyk O.A. Zastosuvannya ob'iektno-orientovanoho prohramuvannya dlia avtomatyzatsii vymiriuvan na osnovi analizu zobrazhen. Zbirnyk naukovykh prats fakultetu prykladnoi matematyky ta komp'uternykh tekhnolohii Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. Khmelnytskyi: KhNU, 2010. S. 87–90.
3. Pasichnyk O.A. Zastosuvannya kilkisnoi tsyfrovoyi fotohrafii pry trybolohichnykh doslidzhenniakh. Tezy dopovidei VI-yi mizhnarodnoi konferentsii molodykh naukovtsiv "Informatyka i mekhanika". 2008. S. 19–20.
4. Pasichnyk O.A. Fotohrafichni metod vymiriuvan pry trybolohichnykh doslidzhenniakh. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. 2008. № 2(108). S. 173–175.
5. Pasichnyk O.A. Deiaki metodolohichni aspekty zastosuvannya kilkisnoi tsyfrovoyi fotohrafii v naukovykh doslidzhenniakh. Materialy II mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii "Dni nauky 2006". Tom 30. Dnipropetrovsk: Nauka i osvita, 2006. S. 10–12.
6. Manziuk E. A., Barmak O. V., Krak Iu. V., Pasichnyk O. A., Radiuk P. M., Mazurets O. V. Semantic alignment of ontologies meaningful categories with the generalization of descriptive structures. *Problems in programming*. 2022. Vol. 3, No. 4. P. 355-363. DOI: <https://doi.org/10.15407/pp2022.03-04.355>
7. Barmak A. V., Krak Y. V., Manziuk E. A., Kasianiuk V. S. Information technology of separating hyperplanes synthesis for linear

- classifiers. *Journal of Automation and Information Sciences*, 2019. Vol. 51, No. 5. P. 54–64. URL: <https://doi.org/10.1615/JAutomatInfScien.v51.i5.50>.
8. Krak I., Barmak O., Manziuk E. Using visual analytics to develop human and machine-centric models: A review of approaches and proposed information technology. *Computational Intelligence*, 2022. Vol. 38, No. 3. P. 921–946. URL: <https://doi.org/10.1111/coin.12289>.
9. Krak Iu. V., Kasianiuk V. S., Kudin H. I., Barmak O. V., Manziuk E. A. Multivariate scaling of the characteristic features based on pseudo-inverse operations for recognition problems solving. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2020. Vol. 30, No. 2. Pp. 184–191. URL: <https://doi.org/10.1134/S1054661820020078>.
10. Manziuk E. A., Barmak A. V., Krak Y. V., Kasianiuk V. S. Definition of information core for documents classification. *Journal of Automation and Information Sciences*, 2018. Vol. 50, No. 4. P. 25–34. URL: <https://doi.org/10.1615/JAutomatInfScien.v50.i4.30>.
11. Manziuk E. A., Wójcik W., Barmak O. V., Krak I. V., Kulias A. I., Drabovska V. A., Puhach V. M., Sundetov S., Mussabekova A. Approach to creating an ensemble on a hierarchy of clusters using model decisions correlation. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2020. Vol. 96, No. 9. P. 108–113. URL: <https://doi.org/10.15199/48.2020.09.23>.
12. Krak I., Barmak O., Manziuk E., Kudin H. Approach to piecewise-linear classification in a multi-dimensional space of features based on plane visualization. *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making*. 2020. Vol. 1020. P. 35–47. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1_3.
13. Krak I., Barmak O., Manziuk E., Kulias A. Data classification based on the features reduction and piecewise linear separation. *Intelligent Computing and Optimization*. 2020. Vol. 1072. P. 282–289. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33585-4_28.
14. Barmak O., Krak I., Manziuk E., Lytvynenko V., Kalyta O. Classification technology based on hyperplanes for visual analytics with implementations for different subject areas. *CEUR-WS*. 2020. Vol. 2623. P. 96–106.
15. Displacement estimation in ultrasound images using pseudo-phase. https://www.researchgate.net/publication/224466523_Displacement_estimation_in_ultrasound_images_using_pseudo-phase.
16. Displacement field estimation and image segmentation using block matching enhanced by a neural network. <https://www.csie.ntu.edu.tw/~fuh/personal/DisplacementFieldEstimationandImageSegmentation.pdf>.
17. Big data will become a key basis of competition, underpinning new waves of productivity growth, innovation, and consumer surplus - as long as the right policies and enablers are in place. <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation>.
18. The Necessity of Measurement in Everyday Life. <https://www.bmdshapi.com/the-necessity-of-measurement-in-everyday-life-fred-b-bryant-ph-d-loyola-university-chicago/>.
19. Measurement in metrology, psychology and social sciences: data generation traceability and numerical traceability as basic methodological principles applicable across sciences. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11135-020-00970-2>.
20. Recent advances and applications of deep learning methods in materials science. <https://www.nature.com/articles/s41524-022-00734-6>.
21. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. <https://www.mdpi.com/2072-4292/3/6/1104>.