

УДК 004.932:519.652

DOI: 10.20998/2411-0558.2019.13.09

В. В. МОРОЗ, канд. техн. наук, проф., ОНУ імені І.І. Мечникова, Одеса,

М. А. ШВАНДТ, бакалавр, ОНУ імені І.І. Мечникова, Одеса

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ТА ПОВЕДІНКИ ЛАБОРАТОРНИХ ТВАРИН МЕТОДАМИ ДЕТЕКТУВАННЯ І ТРЕКІНГУ ОБ'ЄКТІВ

Запропоновано метод детектування і відстеження руху об'єкту на основі поєднання принципу віднімання фону з методами обробки зображень. На прикладі дослідження поведінки лабораторних тварин розроблений відповідний алгоритм, так як існуючі алгоритми не дають прийнятних результатів. Наведено результати роботи алгоритму та виконаний порівняльний аналіз результатів обчислювального експерименту з відомими алгоритмами трекінгу і аналізу руху. Розглянуто можливість розширення сфери застосування алгоритму для більшої кількості об'єктів. Іл.: 7. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: алгоритми трекінгу; аналіз руху; принцип віднімання фону; методи обробки зображень.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Має місце тестова установка, що являє собою ящик із 16 отворами, які зроблені рівномірно по площині основи установки. В середині установки рухається єдиний об'єкт трекінгу – лабораторна миша. Над установкою вертикально розташована камера, кут огляду якої зверху охоплює всю установку. Відбувається фіксація на відео рухів тварини. На отриманому відео треба відстежити наступні параметри, що пов'язані із горизонтальною руховою активністю миші, а саме:

- автоматично визначити об'єкт трекінгу (мишу) та центр установки (область між 16 отворами);
- відстежувати траєкторію руху миші по установці;
- фіксувати моменти, коли миша заходить у центр і виходить з нього;
- скільки часу миша провела у центрі установки і поза її центром.

Впродовж останніх двох десятиліть задачі відстеження руху об'єктів набули широкого застосування в різних сферах науки, техніки і повсякденні, внаслідок чого було розроблено декілька різних підходів [1 – 8] до їх розв'язання. Розглянемо підходи, які засновані на алгоритмах без попередньої обробки зображень.

1. Трекінг об'єкта за кольором. На першому кадрі обирається певна область із однорідним забарвленням і потім, поступово, вона

відшукується на кожному наступному кадрі за своїми кольоровими характеристиками. Цей підхід доволі простий та має суттєвий недолік – інформація про колір чутлива до умов освітлення і буде погано працювати коли задній фон мало відрізняється від кольору об'єкта.

2. Інтерактивний трекінг. Алгоритм досліджує і вивчає характеристики об'єкта під час його відстеження. Одним з таких алгоритмів є САМ (Continuously Adaptive MeanShift – алгоритм неперервного адаптивного зсуву середнього значення), що являє собою модифікацію алгоритму MeanShift. Спочатку виділяється область інтересу, яку треба відстежити, на ній обираються декілька точок за кольоровою гістограмою та за ними обчислюється центроїд. Якщо об'єкт трекінгу посунувся, а за ним і область інтересу із точками, то, відповідно, змінюється і центроїд. Рух центроїду вказує на напрям, в якому зсунувся об'єкт. Модифікований алгоритм САМ дозволяє додатково масштабувати область трекінгу та визначати орієнтацію об'єкта.

3. Трекінг на основі детектування точок за допомогою операторів визначення кутів. Визначити окрему точку на зображенні іноді може бути достатньо складно, тому кут розглядається як окремий випадок точки. Для їх пошуку можна використовувати різні методи, як, наприклад, оператор Харріса (Harris corner detector) або детектор кутів Ши-Томаші (Shi-Tomasi corner detector).

4. Трекінг на основі точкових особливостей – Feature-based tracking. Йдеться про відстеження індивідуальних точкових особливостей. Його перевага в тому, що не треба відшукувати точкові особливості на кожному кадрі, достатньо визначити їх лише один раз і далі відстежувати їх на наступному кадрі, що підвищує ефективність даного підходу. Коли визначаються точкові особливості, то разом із ними обчислюються вектори переміщень і таким чином показується рух ключових точок між двома послідовними кадрами. Прикладами алгоритмів пошуку точкових особливостей є відомі алгоритми SIFT (Scale-Invariant Features), SURF (Speeded Up Robust Features), KAZE (назва від японського слова, яке означає вітер і посилається на потік повітря, керованого нелінійними процесами на великих масштабах).

5. Трекінг на основі обчислення оптичного потоку. В даному підході застосовується оцінка видимого руху. Серед широкого кола методів оцінки руху найбільш відомим є метод Лукаса-Кеннеде (Lucas-Kanade method). В даному методі на поточному кадрі береться блок пікселів розміру 3×3 із центром в особливих точках. Для кожного такого блоку виконується пошук в його околі на попередньому кадрі найбільш близького блоку за заданою метрикою. Вектор між їх центрами буде вважатися вектором зсуву/руху. Ця операція виконується для усіх

точкових особливостей і так отримують усі вектори руху. У методі ж Фарнебека (Farneback algorithm) пошук в околі використовується за допомогою квадратичної поліноміальної апроксимації. Завдяки тестам було встановлено, що жоден з існуючих підходів при прямому застосуванні не дає прийнятних результатів для поставленої задачі. Тому необхідна розробка нових підходів та алгоритмів для розв'язання поставленої задачі.

Ціллю статті є створення алгоритму, що буде мати невисоку обчислювальну складність і високу якість детектування і трекінгу об'єкта та може базуватися на одному з перерахованих підходів або буде поєднувати в собі елементи декількох.

Математична модель. Враховуючи вказані вище переваги та недоліки окремо взятих підходів трекінгу запропоновано окремий алгоритм для вирішення постановленої задачі. Він складається з декількох етапів.

На першому етапі аналізується зображення тестової установки (рис. 1) без об'єкта трекінгу. Надалі алгоритм працюватиме із чорно-білими зображеннями. Зображення установки треба попередньо перетворити на зображення у відтінках сірого (grayscale).

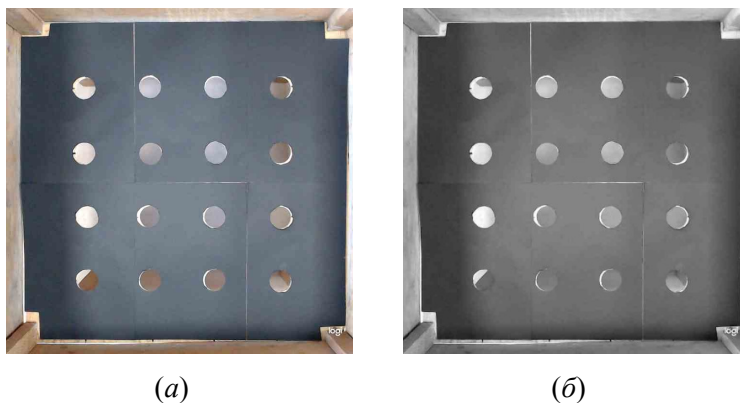


Рис. 1. Зображення тестової установки

a – оригінальне кольорове, без об'єкта трекінгу на ньому; *б* – перетворене на grayscale-зображення

На оригінальному зображенні можуть бути шуми, що залишаються навіть після перетворення його в grayscale, і які можуть заважати подальшому аналізу. Щоб їх позбутися, застосуємо двомірний фільтр Гаусса високих частот

$$G(X, Y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \cdot e^{-\frac{X^2+Y^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

де X – ядро перетворення по осі OX ; Y – ядро перетворення по осі OY ; σ – стандартне відхилення розподілу Гаусса.

Застосовувалися ядра перетворення у вигляді квадратних матриць. Наприклад, ядро перетворення X з розмірами 3×3 має вигляд

$$X = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

а ядро перетворення Y з розмірами 5×5 має вигляд:

$$Y = \begin{pmatrix} -2 & -2 & -2 & -2 & -2 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}.$$

Результат дії фільтра Гаусса показано на рис. 2.

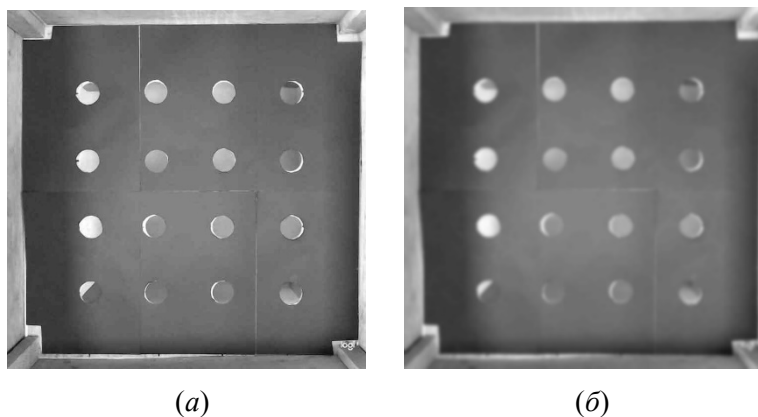


Рис. 2. Приклад дії фільтра Гаусса

a – початкове grayscale-зображення; b – після використання фільтра Гаусса із ядром 19×19 .

На другому етапі визначається центр установки, який являє собою простір поміж круговими отворами на дні, за допомогою алгоритма детектування кіл Хога (СНТ – Circle Hough Transform) [3]. Цей алгоритм

є модифікованою версією перетворення Хога (Hough Transform) і застосовується для детектування кіл на зображеннях з недостатньою якістю. Для цього заміняється рівняння кривої у звичайному перетворенні Хога. В явній формі воно може бути задано як рівняння кола $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2$.

Завдяки цьому алгоритму ми визначаємо усі кола включно з положенням їх центрів. Оскільки центри усіх кіл визначені, то легко знайти ті кола, що фактично формують кути центру установки. Для цього беруться усі екстремальні координати центрів кіл і з них формуються кутові точки для квадрату, що є центром установки. Ці дані будуть в подальшому використані для відстеження тих моментів, коли об'єкт заходить в центр чи покидає його, а також для підрахунку часу знаходження в центрі і поза його межами. Також це дає змогу візуально позначити на зображенні межі центру. Нижче наведений результат роботи за потрібними параметрами (рис. 3).

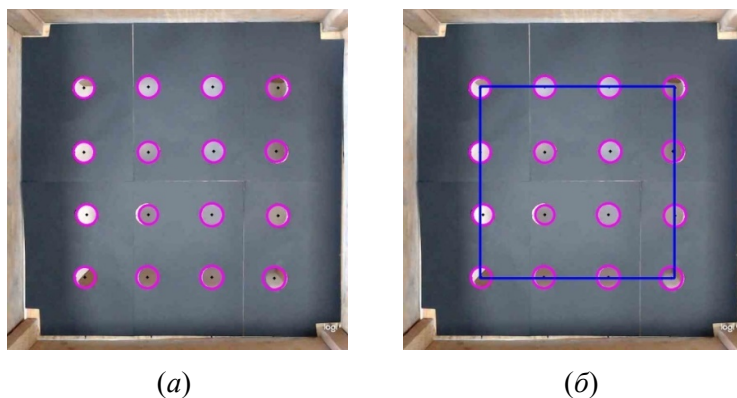


Рис. 3. Приклад дії алгоритму Хога
a – знайдені кола (позначені пурпурним) та їх центри (чорні точки);
б – автоматично визначений центр установки

Для безпосереднього детектування і трекінгу самого об'єкту (миші) виконується послідовне зчитування кадрів відео. Кожен кадр також перетворюється на зображення типу grayscale. До нього також застосовується низькочастотний фільтр Гаусса (рис. 4).

Далі проводиться операція віднімання фону [1] (рис. 5), а саме розраховується абсолютна різниця між двома зображеннями – між grayscale-зображенням установки без миші та черговим grayscale-кадром відео:

$$d_{i,j} = |b_{i,j} - f_{i,j}|, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

де $d_{i,j}$ – елемент нового зображення, що, власне, являє собою різницю зображень; $b_{i,j}$ і $f_{i,j}$ – відповідно елементи зображення порожньої установки та кадру з відео; $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$ – відповідно ширина і висота кадру (співпадають із зображенням порожньої установки).

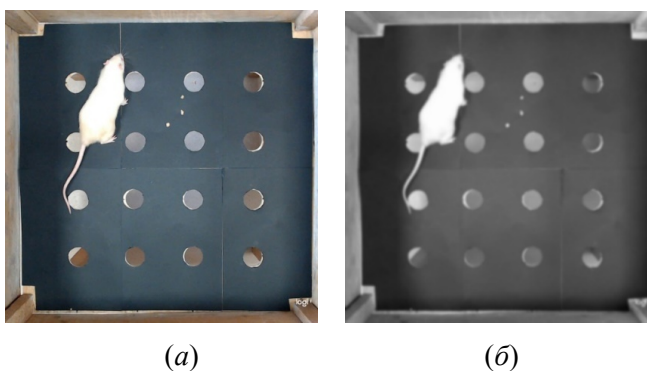


Рис. 4. Обробка кадру

a – кадр з відео; b – кадр відео, переведений у grayscale разом із використанням фільтра Гауса

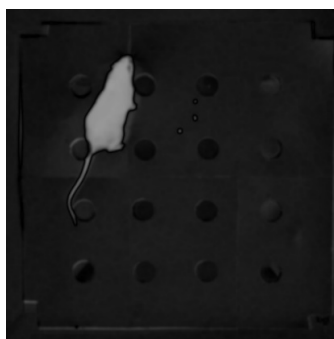


Рис. 5. Результат різниці заднього фону та кадру відео

Після цього застосовується бінарізація за пороговим значенням [3] (рис. 6).

У разі, якщо в бінарному зображенні знаходиться більше однієї області, яка є образом об'єкта, то для її очищення застосовується операція дилатації [5].



Рис. 6. Бінарне зображення, отримане в наслідок використання фільтру з пороговим значенням $threshold = 120$

На наступному етапі визначаються координати об'єкта. Оскільки область трекінгу – миша, область буде постійно змінювати форму. Тому для спрощення задачі з визначення координат будемо брати центроїд всієї області. Його можна порахувати за допомогою моментів бінарного зображення [9]

$$M_{i,j} = \sum_x \sum_y x^i y^j I(x,y).$$

Якщо площу позначити як M_{00} , тоді центроїд будемо обчислювати як

$$\left\{ \begin{matrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} M_{10} / M_{00} \\ M_{01} / M_{00} \end{matrix} \right\}.$$

Таким чином отримуються приблизні координати розташування миші на полі. Оскільки нам вже відомі межі центру установки, то надалі ми можемо за допомогою перевірки координат меж центрального квадрату та положення миші слідкувати за її напрямками руху, рахувати кількість перетинів центру і фіксувати, скільки часу було проведено в ньому і поза його межами.

Результати роботи алгоритму. Описаний вище алгоритм був реалізований з використанням бібліотеки програм комп'ютерного зору OpenCV. На рис. 7 показаний результат роботи програми для одного кадру відео. Програма для кожного кадру обчислює положення миші в тестовій установці і виводить її координати. Центр координат знаходиться у верхньому лівому куті зображення, червоним кольором позначені контури миші, визначені ще на етапі бінаризації за допомогою оператора Кенні (Canny edge detector).

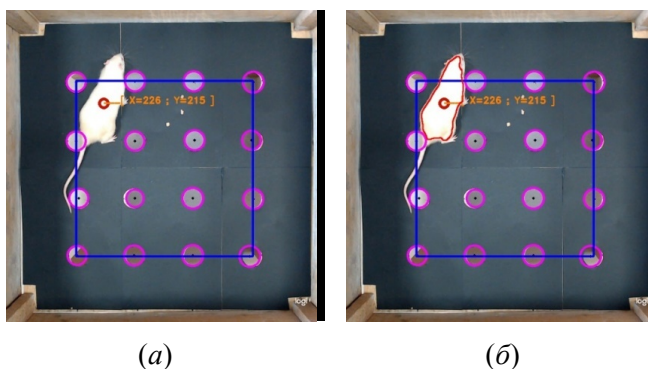


Рис. 7. Візуалізація фінального результату
a – червоним колом позначене умовне положення об'єкту трекінгу;
б – позначені приблизні контури об'єкту

На відміну від інших описаних раніше алгоритмів трекінгу, що втрачали об'єкт трекінгу або взагалі не могли його зафіксувати, запропонований алгоритм забезпечує стабільне відстеження миші. Оскільки на кожному кадрі відео ми знаємо її положення і нам відома частота кадрів у відео, ми легко можемо реалізувати підрахунок часу, впродовж якого миша знаходилася в центрі тестового поля і поза ним.

Перспективи подальших досліджень. Алгоритм трекінгу на основі різниці зображень дозволяє доволі точно детектувати об'єкт і відслідковувати його рух. Це дає змогу знаходити контури потрібного об'єкту в кадрі і виконувати подальший аналіз. Даний алгоритм може бути застосований для відслідковування руху і інших типів об'єктів. Надалі планується модифікація цього алгоритму для його застосування у випадках збільшення кількості об'єктів трекінгу та за умови їх часткового перекриття.

Висновки. В даній роботі проаналізовані існуючі алгоритми детектування і трекінгу, запропонований і реалізований алгоритм детектування і трекінгу лабораторної миші. Тестові результати показали стійку роботу алгоритму в порівнянні з існуючими. Алгоритм має стабільну роботу за умови, якщо задній фон сильно контрастує із самим об'єктом трекінгу. Якщо ця умова не буде виконана, при спробі відфільтрувати різницю зображень за пороговим значенням, результатом може стати повністю біле або чорне зображення, оскільки модуль різниці в рівнянні (2) буде менший за порогове значення. Тому цей алгоритм априорі потребує певних технічних умов для його використання, але це

компенсується стабільністю роботи, особливо на об'єктах, що постійно змінюють свою форму.

Список літератури:

1. Prateek Joshi. OpenCV By Example / Joshi Prateek, Escrivá David Millán, Godoy Vinicius // Birmingham, Packt Publishing Ltd. – 2016. – P. 164-174, 189-215.
2. Amar Mitiche J.K. Aggarwal Computer Vision Analysis of Image Motion by Variational Methods / J.K. Amar Mitiche // Springer International Publishing, Switzerland. – 2014. – P. 143-175.
3. Mark Nixon. Feature Extraction & Image Processing for Computer Vision / Nixon Mark, Aguado Alberto // Third edition. – London, Elsevier Ltd. – 2012. – P. 93-101, 124-130, 250-255.
4. Ruizhe Wang. Capturing Dynamic Textured Surfaces of Moving Targets / Wang Ruizhe, Wei Lingyu, Vouga Etienne, Huang Qixing, Ceylan Duygu, Medioni Gerard, Li Hao // Toyota Technological Institute at Chicago, Adobe Research. – 2016. – 22 p.
5. Lowe D.G. Object recognition from local scale-invariant features / D.G. Lowe // International Conference on Computer Vision. – ICCV. – 1999. – Vol. 2. – P. 1150-1157.
6. Belongie S. Shape Matching and Object Recognition Using Shape Contexts / S. Belongie, J. Malik, J. Puzicha // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – April 2002. – 14 p.
7. Pramod Sharma. Ram Nevatia Unsupervised Incremental Learning for Improved Object Detection in a Video / Sharma Pramod, Huang Chang // University of Southern California, Los Angeles. – CA2NEC Labs. – Cupertino, CA – 2012. – 8 p.
8. Borovicka Jaroslav. Circle Detection Using Hough Transforms / Jaroslav Borovicka // Documentation. – Available at: pinus@centrum.cz, jb2383@bris.ac.uk – 28 p.
9. Zhang Y. Pathological Brain Detection based on wavelet entropy and Hu moment invariants / Y. Zhang // Bio-Medical Materials and Engineering. – 2015. – 26. – P. 1283-1290.

References

1. Joshi, P., Escrivá, D.M., and Godoy, V. (2016), "OpenCV By Example", *Packt Publishing Ltd.*, Birmingham, pp. 164-174, 189-215.
2. Mitiche, A., and Aggarwal, J.K. (2014), "Computer Vision Analysis of Image Motion by Variational Methods", *Springer International Publishing*, Switzerland, pp. 143-175.
3. Nixon, M., and Aguado, A. (2012), *Feature Extraction & Image Processing for Computer Vision. Third edition*, Elsevier Ltd., London, pp. 93-101, 124-130, 250-255.
4. Wang, R., Wei, L., Vouga, E., Huang, Q., Ceylan, D., Medioni, G. and Li, H. (2016), *Capturing Dynamic Textured Surfaces of Moving Targets*, Adobe Research, Toyota Technological Institute at Chicago, 22 p.
5. Lowe, D.G. (1999), "Object recognition from local scale-invariant features", *International Conference on Computer Vision, ICCV*, Vol. 2, pp. 1150-1157.
6. Belongie, S., Malik, J. and Puzicha, J. (2002), "Shape Matching and Object Recognition Using Shape Contexts", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14 p.
7. Sharma, P., Huang, C. and Nevatia, R. (2012), "Unsupervised Incremental Learning for Improved Object Detection in a Video", *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 8 p.
8. Borovicka, J. "Circle Detection Using Hough Transforms", available at: <https://www.borovicka.org/files/research/bristol/hough-report.pdf>.

9. Zhang, Y. (2015), "Pathological Brain Detection based on wavelet entropy and Hu moment invariants", *Bio-Medical Materials and Engineering*, No. 26, pp. 1283-1290.

*Статтю представив д-р техн. наук, проф. ОНУ імені І.І. Мечникова
Гунченко Ю.А.*

Надійшла (received) 03.05.2019

Moroz Volodymyr, PhD in Applied Mathematics, Professor
Odessa I.I. Mechnikov National University
Str. Dvoryans'ka, 2, Odesa, Ukraine, 65072
tel./phone: (+380) 67-484-6975, e-mail v.moroz@onu.edu.ua

Shvandt Maxim, bakakavr
Odessa I.I. Mechnikov National University
Str. Dvoryans'ka, 2, Odesa, Ukraine, 65072
tel./phone: (+380) 48-723-5254, e-mail maxim.shvandt@gmail.com

УДК 004.932:519.652

Дослідження руху та поведінки лабораторних тварин методами детектування і трекінгу об'єктів / Мороз В.В., Швандт М.А. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2019. – № 1. – С. 66 – 76.

Запропоновано метод детектування і відстеження руху об'єкту на основі поєднання принципу віднімання фону з методами обробки зображень. На прикладі дослідження поведінки лабораторних тварин розроблений відповідний алгоритм, так як існуючі алгоритми не дають прийнятних результатів. Наведено результати роботи алгоритму та виконаний порівняльний аналіз результатів обчислювального експерименту з відомими алгоритмами трекінгу і аналізу руху. Розглянуто можливість розширення сфери застосування алгоритму для більшої кількості об'єктів. Ил.: 7. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: алгоритми трекінгу; аналіз руху; принцип віднімання фону; методи обробки зображень.

УДК 004.932:519.652

Исследование движения и поведения лабораторных животных методами детектирования и трекинга объектов / Мороз В.В., Швандт М.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2019. – № 1. – С. 66 – 76.

Предложен метод детектирования и отслеживания движения объекта на основе сочетания принципа вычитания фона с методами обработки изображений. На примере исследования поведения лабораторных животных разработан соответствующий алгоритм, так как существующие алгоритмы не дают приемлемых результатов. Приведены результаты работы алгоритма и выполнен сравнительный анализ результатов вычислительного эксперимента с известными алгоритмами трекинга и анализа движения. Рассмотрена возможность расширения сферы применения алгоритма для большего количества объектов. Ил.: 7. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: алгоритмы трекинга; анализ движения; принцип вычитания фона; методы обработки изображений.

UDC 004.932:519.652

Study of movement and behavior of laboratory animals by methods of object detection and tracking / Moroz V.V., Schwandt M.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2019. – № 1. – С. 66 – 76.

The method of detecting and tracking the motion of an object based on a combination of the principle of subtraction of the background with the methods of image processing is proposed. An example of a study of the behavior of laboratory animals developed an appropriate algorithm, since existing algorithms do not provide acceptable results. The results of the algorithm are presented and a comparative analysis of the results of a computational experiment with known algorithms of tracking and motion analysis is performed. The possibility of expanding the scope of the algorithm for a larger number of objects is considered. Figs.: 7. Refs.: 9 titles.

Keywords: algorithms of tracking; motion analysis; principle of subtraction of the background; image processing.