

УДК 621.865.8

DOI: [10.26102/2310-6018/2023.41.2.027](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.41.2.027)

Обнаружение и отслеживание объектов при движении мобильного робота с использованием обработки изображений

Хан Мьо Хтун[✉], А.Н. Якунин

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
Москва, Российская Федерация
hanmyoe123htun@gmail.com[✉]*

Резюме. В настоящее время технологии мобильных роботов (МР) стремительно развиваются с целью выполнять задачи разведки на земле, под землей, на воде, под водой и в космосе. Для обеспечения управления движением МР в рамках этих разработок используются различные методы, такие как построение траекторий с использованием датчиков и камер. Основная задача данной статьи – изучение процесса обнаружения и отслеживания объектов при построении траекторий движения МР. В результате выполнения работ в режиме реального времени с использованием обработки видео с камеры видеонаблюдения были успешно обнаружены и выявлены параметры движения объектов. Полученные данные использовались для вычисления координат положения объектов в пикселях, что, в свою очередь, позволяет определить расстояние и угловую скорость МР. Для определения траектории движения МР полученное изображение обрабатывалось с помощью полнофункционального языка программирования MATLAB/Simulink. Это позволяет обеспечить точность вычислений и получить более детальную информацию о траектории движения МР. В целом, использование технологий мобильных роботов в различных сферах является актуальной и перспективной задачей для научных и инженерных исследований.

Ключевые слова: обнаружение, отслеживание, мобильный робот (МР), видеонаблюдение, расстояние, угловая скорость.

Для цитирования: Хан Мьо Хтун, Якунин А.Н. Обнаружение и отслеживание объектов при движении мобильного робота с использованием обработки изображений. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2023;11(2). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1356> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.41.2.027

Object detection and tracking when constructing mobile robot motion trajectory using image processing

Han Myo Htun[✉], A.N. Yakunin

*National Research University (MIET),
Zelenograd, Moscow, the Russian Federation
hanmyoe123htun@gmail.com[✉]*

Abstract. Currently, mobile robot (MR) technologies are rapidly developing with a view to performing reconnaissance tasks on land, underground, on water, under water and in space. To provide MR motion control, various methods such as building trajectories using sensors and cameras are employed as part of these developments. The main objective of this article is to study the process of detecting and tracking objects when constructing MR motion trajectories. As a result of operating in real time using video processing from a video surveillance camera, the motion parameters of objects were successfully detected and identified. The obtained data were utilized to calculate the coordinates of the position of objects in pixels, which in turn helps to determine the distance and angular velocity of the MR. To determine the MR motion trajectory, the resulting image was processed by means of the full-featured MATLAB/Simulink programming language. This makes it possible to ensure the accuracy of

calculations and obtain more detailed information about the trajectory of the MR. In general, the use of mobile robot technologies in various fields is a relevant and promising direction for scientific and engineering research.

Keywords: detection, tracking, mobile robot (MR), video surveillance, distance, angular velocity.

For citation: Han Myo Htun, Yakunin A.N. Object detection and tracking when constructing mobile robot motion trajectory using image processing. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(2). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1356> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.41.2.027 (In Russ.).

Введение

Отслеживание и обнаружение объектов мобильным роботом относится к определению положения объекта в любой момент времени и отслеживанию изменений его положения по последовательности изображений для обеспечения безопасности, наблюдения и другому анализу. Эффективный алгоритм отслеживания и обнаружения должен учитывать множество реальных мешающих факторов, таких как фоновые помехи, блики или изменение ракурса.

Модели изображений фона-сцены и переднего плана можно использовать для обнаружения движущихся объектов, как описано в [1-2]. Эллипсоидальные цели на изображении могут отслеживаться визуальным трекером на основе ядра, который использует коэффициент Бхаттачарьи для поиска сходства между целевой эллипсоидальной моделью и кандидатом [3]. Этот подход требует сложных вычислений, хотя обеспечивает хорошую производительность в большинстве задач обработки изображений. Был предложен другой метод, который включает использование настраиваемых ядер с алгоритмом среднего сдвига для отслеживания движения человека, как подробно описано в [4]. Модель гауссовой смеси (GMM) и моделирование фона также являются новыми методами обнаружения движущихся объектов. Эти методы могут отслеживать и сегментировать разноцветные объекты [5]. Информация на основе границ и областей может использоваться для обнаружения нескольких нежестких объектов [6]. Форма, контур, края и цвет являются важными пространственными характеристиками любого объекта. Среди них цвет действует как мощный параметр для идентификации и извлечения интересующих объектов из изображения. Отслеживание объекта с использованием информации о цвете является эффективным средством с меньшим временем обработки, как обсуждалось в [7]. Выявленный цвет целевого объекта может служить подходящим средством определения местоположения объекта в интересующей сцене. Это было принято за основу в текущей работе.

В данной статье основное внимание уделяется обнаружению и отслеживанию путей движения МР с помощью обработки изображений. Показано успешное выявление движения объектов, обнаружение и отслеживание путей МР с помощью системы видеонаблюдения и извлечения цветовых характеристик на основе инструментов 2D-моделирования для мобильных устройств. В работе решаются следующие задачи: исследуется модель МР, способы нахождения расстояний и угловой скорости МР с помощью обнаружения и сопровождения объекта на основе обработки изображений, для обнаружения пути МР. Полученные изображения обрабатывались с использованием полнофункционального языка программирования MATLAB/Simulink и на основе обнаружения и отслеживания объекта МР для перемещения (движения прямо, влево, вправо и назад).

Математическая модель мобильного робота

Рассмотрим двухколесный МР и его структуру, которая представлена на Рисунке 1(а), где X-Y – глобальные оси координат, а x_m - y_m – оси координат, которые связаны с роботом (с центром в точке p).

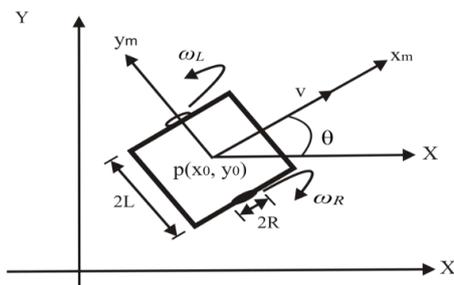


Рисунок 1(а) – Структура двухколесного робота
Figure 1(a) – Structure of a two-wheeled robot

Как показано на Рисунке 1, робот имеет симметричную форму, а центр масс находится в его геометрическом центре p. Координаты этой точки в мировых координатах X-Y (x_0, y_0), а угол θ задает угловую ориентацию робота. В данной статье в динамике мобильного робота движение пассивных колес игнорируется. Согласно схеме двухколесного мобильного робота, представленной на Рисунке 1 [8], его кинетическое уравнение может быть записано как

$$V = r(\omega_l + \omega_R)/2 ; \quad (1)$$

$$\dot{x} = V \cos \theta ; \quad (2)$$

$$\dot{y} = V \sin \theta ; \quad (3)$$

$$\dot{\theta} = \omega = r(\omega_R - \omega_L)/2L , \quad (4)$$

где \dot{x} и \dot{y} задают скорость робота в направлении оси X и оси Y соответственно. V обозначает линейную скорость робота в направлении движения робота (ось x_m) $\dot{\theta} = \omega$ задает угловую скорость вращения робота (по часовой или против часовой стрелки). L – расстояние от центров колес до центра робота. $v_L = R\omega_L$ и $v_R = R\omega_R$ – линейные скорости левого и правого колес соответственно. R – радиус колеса, ω_L и ω_R – угловые скорости левого (лкс) и правого колес (пкс) соответственно. Структурная схема двухколесного МР в MATLAB Simulink показана на Рисунке 1(б). Набор дифференциальных уравнений (2-4) используется для определения положения и ориентации автономного мобильного робота. Движение робота задается его линейной скоростью v и угловой скоростью ω , которые являются функциями времени. Приведенные выше уравнения используются для построения модели автономного мобильного робота, в которой моделирование выполняется с использованием блоков инструментов Simulink в MATLAB.

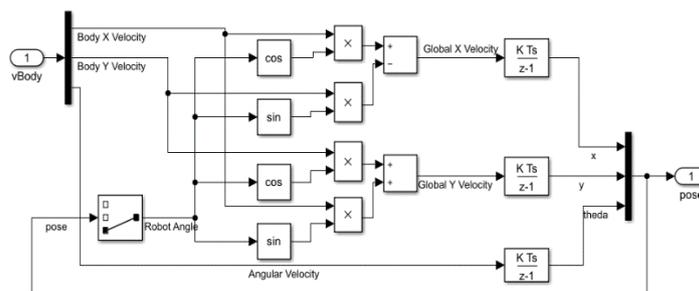


Рисунок 1(б) – Структурная схема двухколесного мобильного робота в MATLAB Simulink
Figure 1(b) – Block diagram of a two-wheeled mobile robot in MATLAB Simulink

Обнаружение и отслеживание объектов

В этом разделе приводятся алгоритмы обнаружения и отслеживания объекта для расчета угловой скорости и расстояния до движущегося объекта относительно положения камеры МР. Предлагается следующий подход к отслеживанию и обнаружению движущихся объектов и скорости объектов:

Удаление шума для улучшения качества изображения. Алгоритм удаления шума с использованием медианного фильтра приведен в [9]. Его основные шаги:

- 1) считать входное изображение;
- 2) сканировать окружающий объект нужного (синего) цвета с использованием метода пузырьковой сортировки для вычисления его медианы;
- 3) присвоить значение «текущей позиции» входного изображения.

Сегментация для разделения нескольких областей изображения. В работе для выполнения операции сегментации реализован алгоритм разности кадров, так как он требует меньше времени обработки. Алгоритм разности кадров выполняет разделение двух последовательных кадров [10]. Алгоритм сегментации состоит из следующих шагов:

- 1) считать входные изображения;
- 2) сохранить результаты положения пикселя нового изображения из вычисления разниц между значениями пикселей в текущем положении двух изображений.

Извлечение признаков для анализа областей изображения. Каждый объект имеет определенную функцию, которая используется для визуализации объекта и используется для отслеживания. После выполнения сегментации строится круглая ограничивающая рамка с размерами объекта, полученного на остаточном изображении [11]. Алгоритм для ограничивающей рамки следующий:

- 1) считать входные изображения;
- 2) найти объект;
- 3) вычислить границы изображения и определить параметр объекта (ширина ограничивающей рамки круга);
- 4) сохранить значения в массиве.

Отслеживание и обнаружение – анализ угловой скорости и расстояния объекта от камеры на основе позиций (пикселей).

Расстояние: Расстояние от объекта до камеры может быть вычислено по формуле Евклидова расстояния [11]. Значениями для формулы являются пиксельные позиции объекта на конечном этапе до положения камеры. Расчет расстояния может быть выполнен следующим образом:

$$d = \sqrt{(y_{i-1} - y_i)^2 + (x_{i-1} - x_i)^2} \quad (5)$$

Здесь x_i, y_i – координаты положения обнаруженного объекта в текущем кадре, а x_{i-1}, y_{i-1} – координаты в предыдущем кадре.

Угловая скорость: угловая скорость движения МР рассчитывается от кадра к кадру с использованием расстояния и частоты кадров входного видео. Рисунок (2) поясняет принцип нахождения расстояния и угловой скорости объекта относительно направления движения МР.

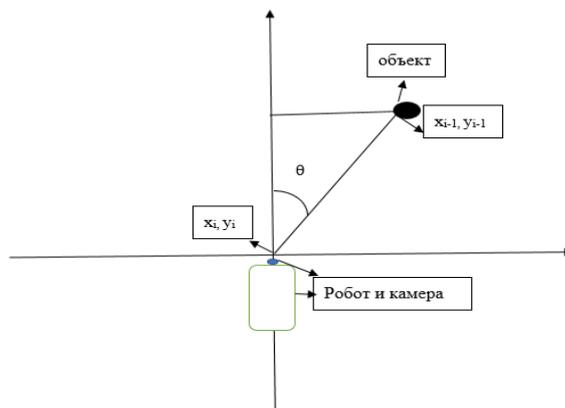


Рисунок 2 – Вычисление расстояния и угловой скорости между объектом и МР
Figure 2 – Calculating the distance and angular velocity between the object and the MR

$$\tan(\theta) = \frac{y_{i-1} - y_i}{x_{i-1} - x_i} \quad (6)$$

Здесь x_i, y_i – позиция (в пикселях) обнаруженного объекта в текущем кадре, а x_{i-1}, y_{i-1} – позиция (в пикселях) в предыдущем кадре. Если на видеоизображении объект находится слева от центра кадра, то для сближения с объектом МР должен повернуть налево (угловая скорость вращения правого колеса ω_R при движении вперед должна быть больше, чем угловая скорость левого колеса ω_L).

$$\omega_R = \omega_0 + \frac{d\theta}{dt} \quad (7)$$

$$\omega_L = \omega_0 - \frac{d\theta}{dt}. \quad (8)$$

Если объект на видеоизображении находится справа от центра кадра, то для сближения с объектом, МР должен повернуть вправо (угловая скорость вращения правого колеса ω_R при движении вперед должна быть меньше, чем угловая скорость левого колеса ω_L).

$$\omega_R = \omega_0 - \frac{d\theta}{dt} \quad (9)$$

$$\omega_L = \omega_0 + \frac{d\theta}{dt}. \quad (10)$$

Если объект на видеоизображении находится прямо от центра кадра, то для сближения с объектом МР должен двигаться прямо (угловые скорости вращения правого ω_R и левого колёс ω_L должны быть одинаковыми).

$$\omega_R = \omega_0 + \frac{d\theta}{dt} \quad (11)$$

$$\omega_L = \omega_0 + \frac{d\theta}{dt} \quad (12)$$

Если расстояние между объектом и МР меньше минимального, то для удаления от объекта, МР должен двигаться в обратную сторону (угловые скорости вращения правого ω_R и левого колес ω_L при движении назад должны быть одинаковые, то суммарная угловая скорость ω вращается назад).

$$\omega_R = \omega_0 - \frac{d\theta}{dt} \quad (13)$$

$$\omega_L = \omega_0 - \frac{d\theta}{dt} \quad (14)$$

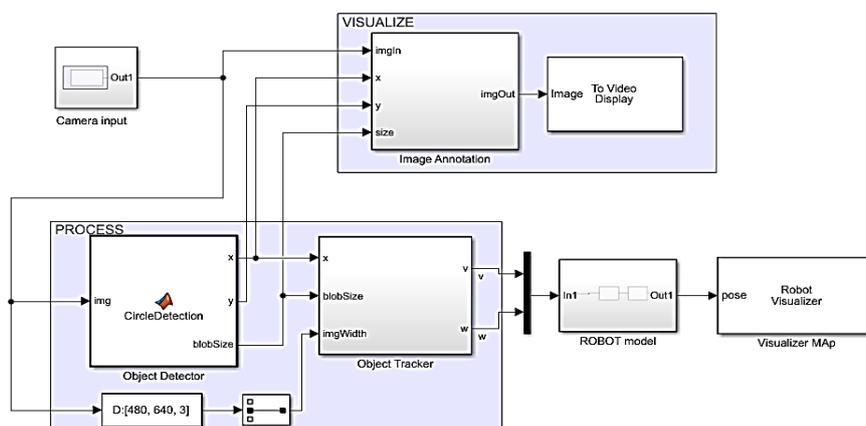


Рисунок 3 – Блок-схема системы измерения объекта в реальном масштабе времени
 Figure 3 – Block diagram of the real-time object measurement system

Отслеживание и обнаружение объектов – основная задача для безопасности, наблюдения и анализа изображений при перемещении МР с использованием алгоритмов обработки видео с камеры в реальном времени. На Рисунке 3 показана блок-схема системы определения размеров объекта в реальном времени при перемещении МР с использованием обработки изображений. Используя информацию о цвете вокруг объектов, созданных из разницы кадров, строится ограничительная круглая рамка. Положение центров сохраняется в массиве, а расстояние рассчитывается по формуле расстояния Евклида. Угловая скорость сохраняется в массиве и передается в мобильный блок моделирования.

Результаты

В следующих примерах приведен результат моделирования работы МР, который должен двигаться к цели синего цвета по предложенному алгоритму с использованием формул (7-14). Для левого и правого поворотов в экспериментах были заданы два разных угла положения между объектом и МР, поэтому МР движется к цели с разными угловыми скоростями. В этом моделировании показаны следующие результаты.

Если объект на видеоизображении находится прямо от центра кадра, то МР должен двигаться прямолинейно (левое и правое колеса вращаются вперед с одинаковыми скоростями $\omega_R = \omega_L$). На Рисунке 4 угловое положение находилось в центре кадра и МР двигался прямо. Таким образом, МР был в режиме «Движение прямо» на карте среды моделирования.

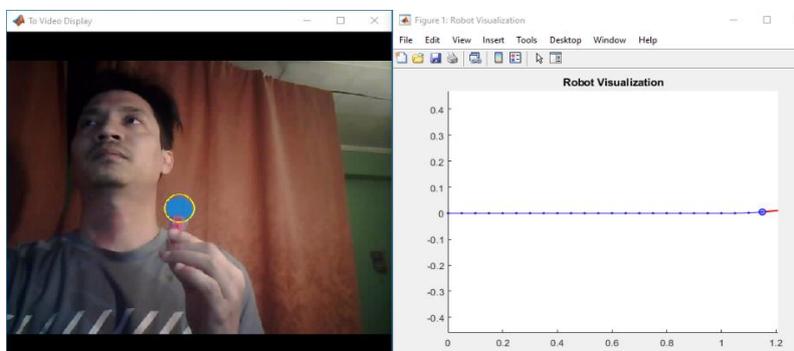
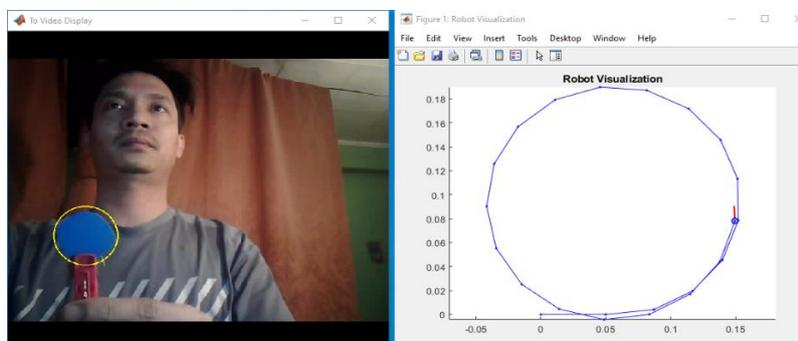
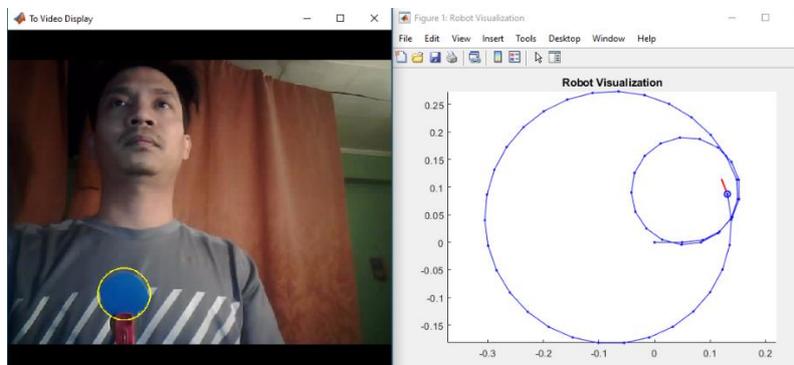


Рисунок 4 – МР движется прямо
 Figure 4 – MP moves straight ahead

Если на видеоизображении объект находится слева от центра кадра, то МР должен повернуть налево (угловая скорость вращения правого колеса ω_R больше, чем левого ω_L). На Рисунке 5 (а) в первом случае угловое положение объекта находилось слева от центра кадра видеоизображения и МР двигался влево. Когда угловое положение объекта изменилось в более левое положение, то МР увеличил крутизну поворота, как показано на Рисунке 5 (б).



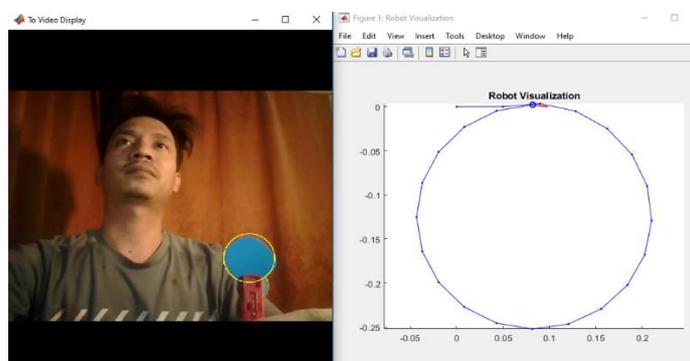
(а)



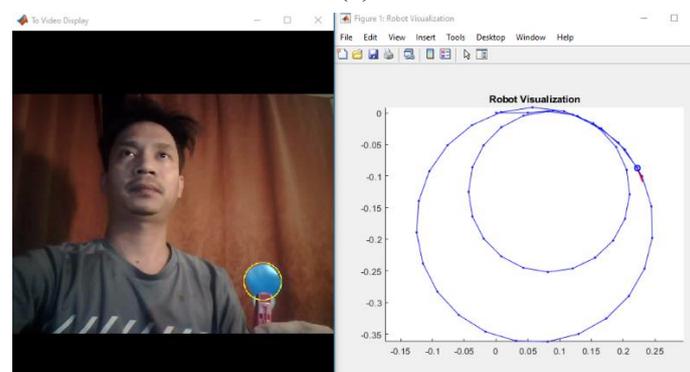
(б)

Рисунок 5 – (а и б): МР движется влево
 Figure 5 – (a and b): MP moves to the left

Если на видеоизображении объект находится справа от центра кадра, то МР должен повернуть направо (угловая скорость вращения правого колеса ω_R меньше, чем левого ω_L). На Рисунке 6 (а) в первом случае угловое положение объекта находилось справа от центра кадра видеоизображения и МР двигался направо. Когда угловое положение объекта изменилось в более правое положение, то МР увеличил крутизну поворота, как показано на Рисунке 6 (б).



(а)



(б)

Рисунок 6 – (а и б): МР движется вправо
 Figure 6 – (a and b): МР moves to the right

Если расстояния между объектом и МР слишком близкое (левое и правое колеса должны вращаться назад), то МР должен двигаться в противоположную от объекта сторону. На Рисунке 7 показано, что расстояние между объектом и МР сначала было очень близким, но объект находился в центре кадра видеоизображения. В результате, на карте среды моделирования МР движется назад.

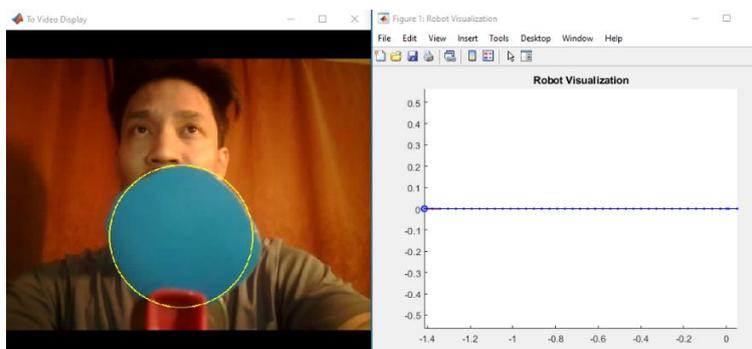


Рисунок 7 – МР движется назад
 Figure 7 – МР moves backward

В последнем эксперименте объект находился на разном расстоянии и на разных угловых положениях от МР. На Рисунке 8 показаны фрагменты положения объекта, и траектория движения МР, которая построена на результате анализа получаемых в реальном времени данных. Таким образом, МР двигался разными путями на карте среды моделирования. На первом рисунке МР двигался прямо, на втором рисунке МР двигался вправо, на третьем рисунке МР двигался влево, а на последнем рисунке МР движется назад. Из Рисунков 4-8 видно, что значения расстояния и угловой скорости МР рассчитываются на каждом шаге. И МР стремится переместиться к цели на основании анализа информации о расстоянии до объекта и угловой скорости, полученной с камеры.

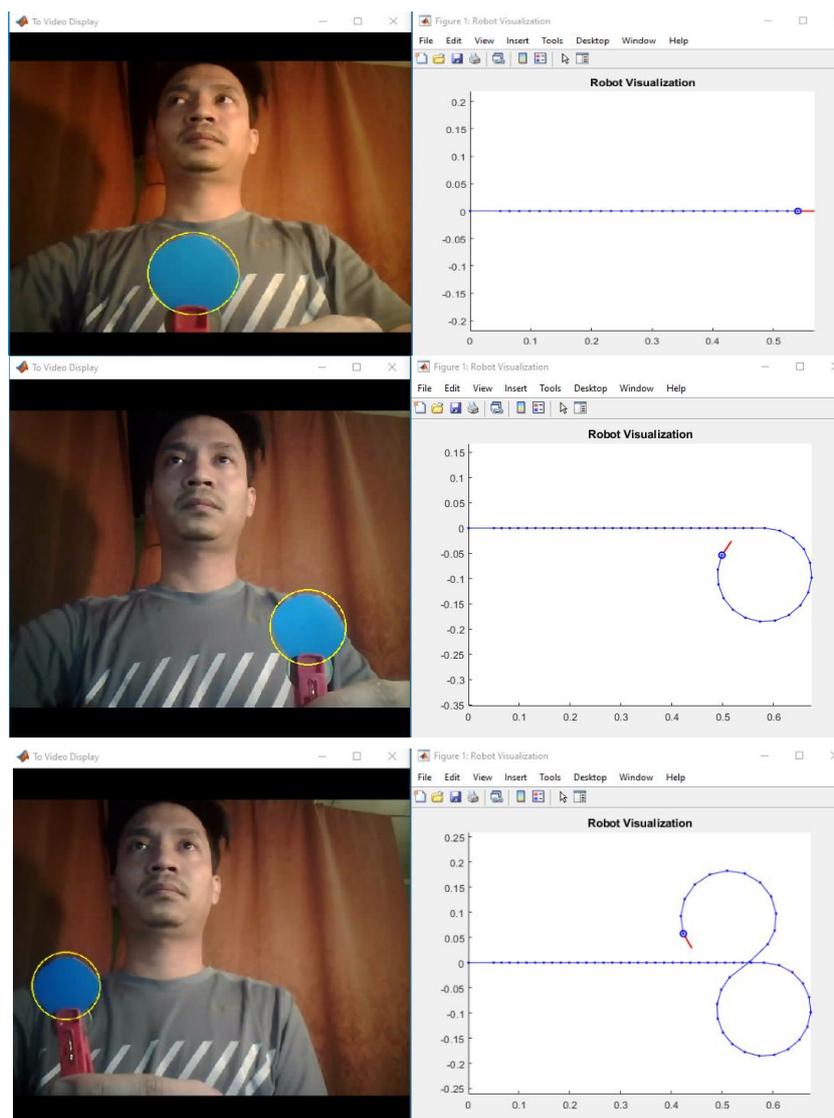


Рисунок 8 – МР движется разными путями
 Figure 8 – МР moves in different ways

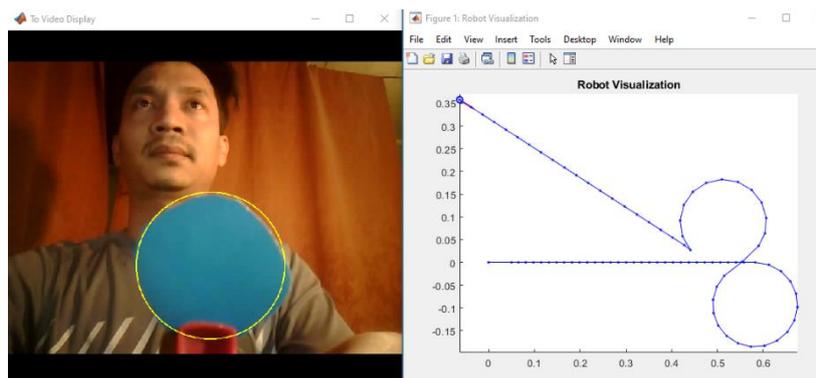


Рисунок 8 (продолжение)

Figure 8 (extended)

Заключение

Отслеживание и обнаружение объектов – основная задача для безопасности, наблюдения и анализа изображений при перемещении МР с использованием алгоритмов обработки видео. Проведено моделирование алгоритмов МР, который двигался к цветному объекту и по изображению с камеры вычислял расстояние и угловую скорость объекта. В будущих работах предложенный алгоритм будет реализован на аппаратных устройствах, а также может быть расширен для использования в приложениях по классификации объектов в реальном времени.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Swapnil R. Sawalakhe, Shilpa P. Metkar. Foreground background traffic scene modeling for object motion detection. *Annual IEEE India Conference (INDICON)*. 2014;1–6. DOI: 10.1109/INDICON.2014.7030493.
2. Zhe Chena, Ruili Wang b,c,*, Zhen Zhanga, Huibin Wanga, Lizhong Xu. Background foreground interaction for moving object detection in dynamic scenes. *Information Sciences*. 2019;483:65–81.
3. Mohammad Mahdi Dehshibi, Amir Vafanezhad, Jamshid Shanbehzadeh. Kernel-Based Object Tracking Using Particle Filter with Incremental Bhattacharyya Similarity. *13th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS)*. 2013;50–54.
4. Liu J., Zhong X. An object tracking method based on Mean Shift algorithm with HSV color space and texture features. *Applied Sciences*. 2019;22(3):6079–6090.
5. Patel C. I., Patel R. Gaussian Mixture Model Based Moving Object Detection from Video Sequence. *International Conference and Workshop on Emerging Trends in Technology*. 2011;1:698–702.
6. Hiren Mewada, Jawad F. Al-Asad, Amit Patel, Jitendra Chaudhari, Keyur Mahant and Alpesh Vala. A fast region-based active contour for non-rigid object tracking and its shape retrieval. *PeerJ Computer Science*. 2021;7(2):1–19.
7. Bovik Alan C. *The essential guide to video processing*. Elsevier Science; 2009.
8. Ching Wong, ShihAn Li, Chi Tai Cheng, Hoi Yi Wang. Fuzzy controller designed by GA for two-wheeled mobile robots. *International Journal of Fuzzy Systems*. 2007;9(1):22–30.
9. Youlian Zhu, Cheng Huang. An Improved Median Filtering Algorithm for Image Noise Reduction. *International Conference on Solid State Devices and Materials Science*. 2012;25:609–616.

10. Husein A.M., Calvin, David Halim, Raymond Leo, William. Motion detect application with frame difference method on a surveillance camera. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1230(1):1–10.
11. Koteswara L. Rao, K. Sivanagi Reddy, and K. Pradeep Vinaik. Implementation of object tracking and velocity determination. *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*. 2010;5(1):89–96.

REFERENCES

1. Swapnil R. Sawalakhe, Shilpa P. Metkar. Foreground background traffic scene modeling for object motion detection. *Annual IEEE India Conference (INDICON)*. 2014;1–6. DOI: 10.1109/INDICON.2014.7030493.
2. Zhe Chena, Ruili Wang b,c,*, Zhen Zhanga, Huibin Wanga, Lizhong Xu. Background foreground interaction for moving object detection in dynamic scenes. *Information Sciences*. 2019;483:65–81.
3. Mohammad Mahdi Dehshibi, Amir Vafanezhad, Jamshid Shanbehzadeh. Kernel-Based Object Tracking Using Particle Filter with Incremental Bhattacharyya Similarity. 13th *International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS)*. 2013;50–54.
4. Liu J., Zhong X. An object tracking method based on Mean Shift algorithm with HSV color space and texture features. *Applied Sciences*. 2019;22(3):6079–6090.
5. Patel C. I., Patel R. Gaussian Mixture Model Based Moving Object Detection from Video Sequence. *International Conference and Workshop on Emerging Trends in Technology*. 2011;1:698–702.
6. Hiren Mewada, Jawad F. Al-Asad, Amit Patel, Jitendra Chaudhari, Keyur Mahant and Alpesh Vala. A fast region-based active contour for non-rigid object tracking and its shape retrieval. *PeerJ Computer Science*. 2021;7(2):1–19.
7. Bovik Alan C. *The essential guide to video processing*. Elsevier Science; 2009.
8. Ching Wong, ShihAn Li, Chi Tai Cheng, Hoi Yi Wang. Fuzzy controller designed by GA for two-wheeled mobile robots. *International Journal of Fuzzy Systems*. 2007;9(1):22–30.
9. Youlian Zhu, Cheng Huang. An Improved Median Filtering Algorithm for Image Noise Reduction. *International Conference on Solid State Devices and Materials Science*. 2012;25:609–616.
10. Husein A.M., Calvin, David Halim, Raymond Leo, William. Motion detect application with frame difference method on a surveillance camera. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1230(1):1–10.
11. Koteswara L. Rao, K. Sivanagi Reddy, and K. Pradeep Vinaik. Implementation of object tracking and velocity determination. *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*. 2010;5(1):89–96.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Хан Мьо Хтун, аспирант, Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Российская Федерация.
e-mail: hanmyoe123htun@gmail.com

Han Myo Htun, Postgraduate Student, National Research University (MIET), Zelenograd, the Russian Federation.

Якунин Алексей Николаевич, доктор технических наук, доцент, профессор, Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Российская Федерация.
e-mail: yakunin.alexey@gmail.com

Aleksey Nikolaevich Yakunin, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Research University (MIET), Moscow, the Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 26.04.2023; одобрена после рецензирования 10.05.2023;
принята к публикации 21.06.2023.*

*The article was submitted 26.04.2023; approved after reviewing 10.05.2023;
accepted for publication 21.06.2023.*