

УДК 004.8

DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0006

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

© Автор(ы) 2022

SPIN: 1201-5071

AuthorID: 681509

ORCID:0000-0002-4796-0776

ScopusID: 55980530400

**НИКИФОРОВ Михаил Борисович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные вычислительные машины», директор научно-образовательного центра «СпецЭВМ»  
*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина*  
(390005, Россия, Рязань, улица Гагарина, 59/1, e-mail: nikiforov.m.b@evm.rsreu.ru)

SPIN: 3779-6480

AuthorID: 919294

ORCID: 0000-0002-2812-3489

ScopusID: 57191850738

**ТАРАСОВ Андрей Сергеевич**, аспирант, ассистент кафедры «Электронные вычислительные машины»  
*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина*  
(390005, Россия, Рязань, улица Гагарина, 59/1, e-mail: vb2005@yandex.ru)

**Аннотация.** На основании сравнительного анализа существующих методов обнаружения подвижных объектов с использованием контурного анализа предложен комбинированный метод обнаружения и идентификации подвижных объектов, которые могут быть использованы в системах контроля наземного, морского и воздушного пространств. Разработана система автоматического обнаружения движущихся объектов с использованием контурного анализа, позволяющая обнаруживать одновременно несколько подвижных объектов благодаря сочетанию таких критериев как эрозия, дилатация, детектор границ Кэнни, межкадровый диспаратет, оптический поток Лукаса-Канаде, для чего создано соответствующее алгоритмическое и программное обеспечение. Данная система используется совместно с системой сопровождения объектов и используется в качестве источника входных данных для нее, позволяя повысить вероятность обнаружения и уменьшить риск ложного детектирования.

**Ключевые слова:** сопровождение, объект, видеопоследовательность, обнаружение, эрозия, дилатация, детектор границ Кэнни, межкадровый диспаратет, оптический поток.

## SYSTEM FOR AUTOMATIC DETECTION OF MOVING OBJECTS IN A VIDEO SEQUENCE

© The Author(s) 2022

**NIKIFOROV Mikhail Borisovich**, candidate of technical science, docent department of Electronic Computers  
Lead of scientific & research center "SpetsEVM"

**TARASOV Andrey Sergeevich**, graduate student, assistant department of Electronic Computers  
*Ryazan State Radio-Engineering University named after V.F. Utkin*

(390005, Russia, Ryazan, street Gagarina, 59/1, e-mails: nikiforov.m.b@evm.rsreu.ru, vb2005@yandex.ru)

**Abstract.** Combined method of moving objects detection and identification is suggested. It based on comparative analysis of existing methods of moving objects detection that use contour analysis. Suggested method can be used in ground, sea and air control systems. The system of moving objects automatic detection with use of contour analysis was developed. It allows detection of several moving objects simultaneously because of combination of following criteria: erosion, dilation, Canny edge detector, interframe disparity, Lucas-Kanade optical flow. Software and algorithm were developed to achieve this aim. This system is used together with object tracking system as source of its input data. It allows detection probability increasing and false responses risk reducing.

**Keywords:** objects tracking in video sequence, objects detection in video sequence, erosion, dilation, Canny edge detector, interframe disparity, optical flow.

**Для цитирования:** Никифоров М.Б. Система автоматического обнаружения подвижных объектов в видеопоследовательности / М.Б. Никифоров, А.С. Тарасов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 3(59). – С. 39-44. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0006.

**Введение.** Системы видеонаблюдения применяются в различных сферах человеческой деятельности. Они располагаются в местах общественного пользования: метро, на пешеходных переходах, железнодорожных вокзалах, возле офисов, банков и

автовокзалов [1, 2]. Задачи, которые решаются с их помощью, могут быть разнообразными: наблюдение за потоками дорожного движения, безопасное прохождение учащимися учебных заведений, контролирование погрузки и выгрузки товаров.

Торговые центры оснащены такими системами для предотвращения краж или оперативного поиска злоумышленников. Установка камер также актуальна для людей, проживающих в частном секторе. В большинстве случаев помимо записи видеосигнала необходимо осуществлять его цифровую обработку.

Системы обработки и анализа видеoinформации относятся к оптико-электронным системам (ОЭС) [3]. Назначение ОЭС состоит в обнаружении и сопровождении объектов, они могут также устанавливаться на подвижных носителях (самолеты, вертолеты, автомобили). Обнаружение объектов на видеопоследовательности осуществляется методом цифровой обработки, который позволяет выбирать и выделять один или несколько объектов, определять их координаты и характеристики на каждом кадре видеопоследовательности и сравнивать их с характеристиками объекта поиска [4].

Системы визуального сопровождения и обнаружения объектов применяются в следующих областях:

- охрана частной территории;
- автоматический подсчет пассажиров в общественном транспорте;
- обнаружение посторонних лиц на предприятии;
- распознавание лиц, находящихся в розыске;
- выявление противоправных действий в местах общественного пользования;
- контроль взлетно-посадочной полосы;
- дублирование функций пожарной системы (определение по видеопоследовательности очага пожара);
- космический мониторинг Земли [5-7].

Основным требованием, предъявляемым к названным системам сопровождения и обнаружения визуальных объектов, является необходимость работы в режиме реального времени. Подобные системы также должны иметь автоматизированный режим работы, который не требует от оператора (пользователя системы) серьезных усилий.

При решении задач обнаружения, сопровождения и идентификации подвижных объектов исходные данные представляют в виде пронумерованных кадров [8]. Система обнаружения подвижных объектов управляется посредством графического пользовательского интерфейса (ГПИ), обеспечивающего возможность выбора видео-последовательности и области интереса для отслеживания. Область интереса может быть выбрана автоматически на основе перемещения объектов, или же установлена оператором вручную. После того, как область интереса была определена, за данным объектом начинается наблюдение. Предложенная система позволяет осуществлять наблюдение за несколькими объектами одновременно [1].

Задачи обнаружения и сопровождения объектов являются актуальными, и рассматриваются как в Российской Федерации в научных трудах Алпатова Б.А. [4, 9], Пастушкова А.В. [10], Богуславского А.А.

[11], Потапова А.С. [12], так и за рубежом в трудах В.Д. Lucas [13], Т. Kanade [13], а также в рамках международного конкурса *Visual Object Challenge* [14], однако до сих пор они далеки от полного решения. В работе [10] рассмотрены методы обнаружения объектов, их классификация и слежение за ними с использованием глобального свойства изображения – его цветового распределения. Слежение за объектом осуществляется с использованием эллиптической области на основании четырех параметров: координат центра эллипса и радиусов эллипса по горизонтальной и вертикальной осям. В работе [15] предложена модификация стробового метода автоматического обнаружения объекта, который выявляет траекторию движения при допущении, что траектория движения допускает аппроксимацию линейной функцией. Однако такое предположение следует рассматривать как существенный недостаток данного метода.

Примером ОЭС военной сферы является разработанная на АО ГРПЗ система «Охотник» [16], дающая возможность в режиме реального времени улучшить видение изображений, обнаруживать воздушные и наземные объекты, а также оценить их параметры и построить траектории движения. Ее алгоритмическое обеспечение предусматривает работу в замкнутом контуре автосопровождения при полном или частичном заслонении целей, а также при плохом их выделении из анализируемого изображения на основе прогноза положения цели в течение заданного времени. Недостаток такой системы выражается в её дороговизне и только военной направленности.

Целью данной работы является разработка алгоритмического и программного обеспечения для системы автоматического обнаружения подвижных объектов общего назначения.

**Методология.** В том случае, если камера неподвижна, то одним из подходов к обнаружению объекта может быть вычитание фоновой составляющей. Для этого формируется новое изображение на основе двух соседних кадров:

$$Y_{res}^i = |Y_1^i - Y_2^i| \quad (1)$$

Поскольку в большинстве случаев камера и фон подвижны, то вычислять разность стоит со смещением:

$$m^i = \begin{cases} 0, Y_{res}^i < T \\ 1, Y_{res}^i \geq T \end{cases} \quad (2)$$

Предварительная обработка изображения в видеопоследовательности позволяет улучшить работу системы в ситуации дрожания камеры, а также при нестабильном освещении [17]. Для устранения влияния движения камеры применяются аффинные преобразования. Предварительная обработка изображения также включает в себя нормировку цветовой составляющей, которая состоит из двух фаз: эквализация гистограммы изображения и преобразование изображения в цветовое пространство  $YIQ$  [1]. Устранение шумовой составляющей и дефектных пикселей на изображении осуществляется путем

фильтрации.

После стабилизации видеосистема определяет направление движения фона по следующему алгоритму:

- используется одна точка в квадрате  $N \times N$ . Ее значение определяет остальные векторы в квадрате;
- точка внутри блока выбирается при помощи FAST-детектора ключевых точек [18];
- для вычисления оптического потока применяется метод Лукаса-Канаде [19, 20].

Локальный оптический поток рассчитывается по следующей формуле:

$$\begin{pmatrix} I_x(x_1, y_1) & I_y(x_1, y_1) \\ \vdots & \vdots \\ I_x(x_n, y_n) & I_y(x_n, y_n) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -I_t(x_1, y_1) \\ \vdots \\ -I_t(x_n, y_n) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где  $u, v$  – вычисляемые переменные (вектор оптического потока),  $I_x(x_i, y_i)$ ,  $I_y(x_i, y_i)$ ,  $I_t(x_i, y_i)$  – частные производные изображения  $I$  по координатам  $x, y$  и времени  $t$ , вычисленные в точке  $(x_i, y_i)$  [21]. Метод предварительной стабилизации видео на основе

оптического потока Лукаса-Канаде увеличивает вероятность обнаружения движущихся объектов примерно на 25%.

Обнаружение и выделение движущихся объектов осуществляются с использованием контурного анализа. Контурные являются наиболее информативными составляющими изображения [22]. Точки контура представляют собой незначительную часть всех точек на изображении, поэтому работа с ними позволяет увеличить быстродействие систем обработки изображений. В качестве методов выделения контуров движущихся объектов применены эрозия, дилатация, детектор границ Кэнни, межкадровый диспаратет, оптический поток Лукаса-Канаде. На рисунке 1 приведена схема системы обнаружения и выделения подвижных объектов на видеопоследовательности. Для повышения вероятности автоматического обнаружения подвижных объектов используется комбинирование существующих методов, которое заключается в следующем.

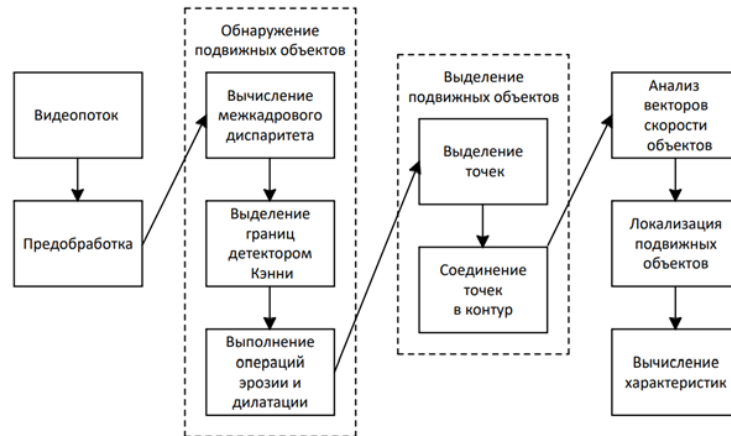


Рисунок 1 – Схема системы обнаружения и выделения подвижных объектов

1. На первоначальном этапе осуществляется вычисление межкадрового диспаратета. На вход поступают два соседних кадра из видеопоследовательности в формате  $YIQ$ .

$$Y_{res}^i = |Y_1^i - Y_2^i|, \quad (4)$$

где  $Y$  – яркостная составляющая из цветового пространства  $YIQ$ ,  $Y_{res}^i$  – значение яркостной составляющей  $i$ -го пикселя результирующего раstra,  $Y_1^i$ ,  $Y_2^i$  – значение яркостной составляющей  $i$ -го пикселя на первом и втором кадрах.

$$m^i = \begin{cases} 0, & Y_{res}^i < T \\ 1, & Y_{res}^i \geq T \end{cases}, \quad (5)$$

где  $m^i$  – значение  $i$ -го элемента маски,  $T$  – порог сравнения или порог чувствительности. В маске единицы будут располагаться там, где, возможно, присутствует движение. Однако могут быть погрешности и ложные срабатывания отдельных элементов маски [23, 24].

2. Для того, чтобы исключить ложные срабатывания, используется детектор границ Кэнни. Оператор Кэнни использует фильтр, который может быть хорошо приближен к первой производной

гауссианы.

3. Далее выполняются поочередно операции морфологического закрытия для удаления шумовой составляющей и операции морфологического открытия для соединения некоторых контуров. Операции морфологического открытия и закрытия являются комбинациями операций эрозии и дилатации.

После этапа локализации осуществляется расчет характеристик для выделенных объектов и сохранение координат их контуров. Так как данная система применяется совместно с системой сопровождения подвижных объектов, то на основе текстурных признаков осуществляется проверка истинности сопровождаемого объекта, определение перекрытия его другим объектом и сброс сопровождения ложного объекта [25]. В качестве текстурных признаков применяются:

– сегментирование, основанное на распределении Гиббса

$$click = \log_2 \left( \sqrt{2\pi * variance} + \frac{img[x, y] - mean^2}{2variance} \right), \quad (6)$$

где  $img[x, y]$  – изображение из области интереса,  $variance$  – дисперсия,  $mean$  – среднее значение,  $click$  –

вычисляемое значение [26].

– вариация

$$T = \sum_{g=0}^{N-1} (g - \text{mean})^2 F(g), \quad (7)$$

где  $T$  – вычисляемое значение,  $F(g)$  – количество пикселей с яркостью  $g$ ,  $N$  – максимальная яркость [27].

При сопоставлении объектов учитывается информация за последние пять кадров.

**Результаты.** На рисунке 2(а) приведен кадр из видеопоследовательности урока в школе, а на рисунке 2(б) – результат выполнения шагов 1 – 3. Выделение подвижных объектов и их локализация

иллюстрируются рисунком 3. Цветом отмечены несколько детектированных подвижных объектов, за которыми впоследствии может быть осуществлено наблюдение. Принцип выделения подвижных объектов основан на группировке объектов по расстоянию. Если точки расположены близко, то считается, что они принадлежат одному объекту. Данный алгоритм заключается в выделении контуров движущихся объектов и их соединении. В контур добавляются те точки, которые находятся на расстоянии меньше 50 пикселей от тех точек, которые уже добавлены в контур.

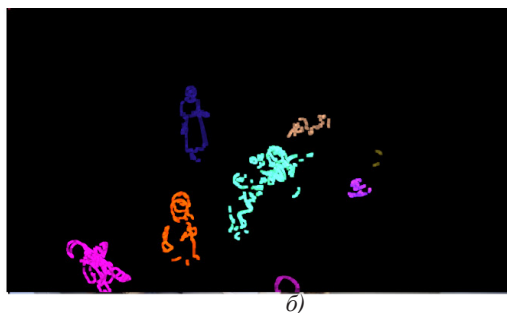


Рисунок 2 – Автоматическое обнаружение подвижных объектов: а – кадр исходной видеопоследовательности, б – результат обнаружения нескольких подвижных объектов



Рисунок 3 – Результат выделения нескольких подвижных объектов

Как видно из рисунка 3, два объекта объединились в один. Для того, чтобы избежать подобного, применяется методика классификации векторов скоростей. Для кластеризации используется метод  $k$  means в сочетании с модифицированным индексом Калински-Харабаша. Индекс Калински-Харабаша определяется как:

$$VRC_k = \frac{SS_B}{SS_W} \times \frac{(N-K)}{(K-1)}, \quad (8)$$

где  $K$  – количество кластеров,  $N$  – количество выборок,  $SS_B$  – ошибка суммы квадратов между группами,  $SS_W$  – ошибка суммы квадратов внутри

групп. Данный подход позволяет оценить, сколько кластеров в этих условиях может быть сформировано.

На рисунке 4 изображен результат разделения объектов, исходя из направления движения. Следует отметить, что этот алгоритм способен выполнять отслеживание нескольких целей одновременно. При этом скорость работы программного обеспечения в случае увеличения количества целей изменяется незначительно.

На рисунке 5 показана зависимость времени работы алгоритма от количества целей. Эксперимент проводился на одноядерном потоке процессора.

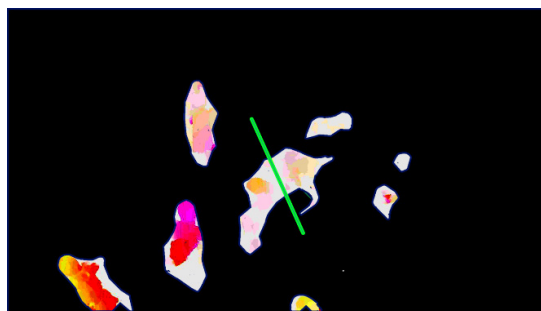


Рисунок 4 – Результат разделение объектов, исходя из направления движения

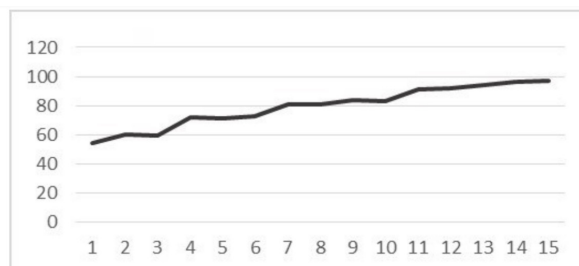


Рисунок 5 – Зависимость времени работы алгоритма от количества объектов интереса



**Обсуждение.** Для того, чтобы оценить эффективность предложенного метода обнаружения, необходимо сравнить его с существующими методами. Для этого исходные видеопоследовательности разделены на группы – сценарии поведения объекта. Под сценарием понимается совокупность определённых условий съемки, усложняющих обнаружение и сопровождение объектов [10]. Для анализа использовались следующие сценарии поведения:

- C1: маскировка объекта;
- C2: резкое изменение скорости и направления движения;
- C3: остановка объекта;
- C4: изменение яркости.

В качестве методов обнаружения рассматривались:

- M1: оптический поток;
- M2: сопоставление по ключевым точкам;
- M3: коррелятор;
- M4: экстраполяция;
- M5: предложенный метод.

В таблице 1 представлены методы, применяющиеся для обнаружения объектов, а также ряд

сценариев, в которых наиболее часто возникают ошибки обнаружения в работе алгоритмов. Методы M1 – M4 универсальны и применяются как в задачах обнаружения, так и в задачах сопровождения. Как видно из таблицы 1, ни одно из существующих решений не позволяют получить эффективный результат на всех наборах сценариев. Методы, работающие на основе локализационных алгоритмов, демонстрируют высокую точность работы, однако нацелены на уникальный класс объекта. Для реализации универсального трекера они не применимы.

Для анализа качества работы представленных методов были использованы четыре размеченных видеосекции (табл. 2), нацеленных на выявление качества работы при различных ограничивающих факторах.

Каждый из представленных методов был отдельно протестирован на видеопоследовательности из таблицы 2. В таблице 3 приведены время обнаружения движущегося объекта в зависимости от видеопоследовательности и применяемого метода. Результаты качества работы сведены в таблицу 4.

Таблица 1 – Оценка применимости методов обнаружения

Сценарий поведения объектов	Методы обнаружения подвижных объектов				
	M1	M2	M3	M4	M5
C1	-	-	+	+	+
C2	+	+	-	-	+
C3	-	+	+	+	+
C4	-	+	-	+	+

Таблица 2 – Представленные видео

№ видео	Наименование	Описание	Цель проверки
1	Helicopter.mp4	Съемка квадрокоптера на фоне леса	Проверить качество сопровождения небольшого объекта на сильно изменяемом фоне
2	Bird.mp4	Видео полета птиц в небе против света	Оценка качества работы трекера для исключения срабатывания на другие объекты, кратковременное пропадание объекта при нахождении за солнцем
3	Moto.mp4	Съемка мотоциклиста с неба при помощи квадрокоптера	Проверка качества работы при подвижном и сильно изменяемом фоне и неподвижном объекте
4	River.mp4	Видео с соревнований по водному слалому на горной реке	Анализ сложных ситуаций, связанных с кратковременной потерей целей, резким изменением формы объекта и генерацией различных помех в виде волн

Таблица 3 – Время обнаружения движущегося объекта

№ видео	Размер видео	M1, с	M2, с	M3, с	M4, с	M5, с
1	360	60	2	40	≤1	35
2	SD (480)	85	3	60	≤1	63
3	HD (720)	104	4	44	≤1	71
4	FHD (1080)	220	6	90	≤1	100

Таблица 4 – Качество работы представленных методов

№ видео	M1	M2	M3	M4	M5	Оценка
1	98%	89%	85%	87%	100%	+
2	21%	51%	97%	82%	99,8%	+
3	30%	99%	99%	95%	100%	+
4	76%	34%	63%	72%	98%	+

Для каждого метода был рассчитан процент правильных срабатываний (под правильным понимается выделение не менее 85% от правильной площади расположения объекта и не более 15% от фоновой части. Оценка «+» выставляется только в том случае, если объект ни разу полностью не покидал область, которую предоставил алгоритм, при этом область должна составлять не более 150% от размера цели.

**Выводы.** Из приведённых данных следует, что необходимо учитывать не один признак, а их совокупность, которая должна отвечать свойствам объекта интереса в разные моменты времени. Так как большинство методов не способны продемонстрировать одинаково высокие показатели точности на каждом сценарии, требуется разработка алгоритмического и программного обеспечения для эффективной с точки зрения достоверности и точности

решения задач выделения, отслеживания траектории, обнаружения и сопровождения объекта интереса для системы сопровождения и обнаружения объектов.

Функциональными требованиями при этом являлись:

- работа в режиме реального времени;
- высокое качество сопровождения;
- возможность одновременного обнаружения и сопровождения нескольких объектов;
- способность алгоритма «адаптироваться» к работе на маломощных устройствах;
- минимизация ложных срабатываний на идентичные объекты.

Разработанная система автоматического обнаружения подвижных объектов на видеопоследовательности соответствует функциональным требованиям, заявленным выше, что свидетельствует о ее эффективности. Для сокращения времени работы алгоритма обнаружения подвижных объектов планируется применение технологий параллельных вычислений.

Разработанная система автоматического обнаружения подвижных объектов на видеопоследовательности применяется совместно с системой сопровождения подвижных объектов, предоставляя ей исходные данные. В систему сопровождения подвижных объектов передаются координаты контуров обнаруженных объектов, а также их характеристики. На основе вычисленных характеристик для выделенных областей осуществляется наблюдение, проверка истинности сопровождаемого объекта и сброс сопровождения ложного объекта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Tarasov A., Potapova V., Belyakov P., Melnik O. The developing of targets tracking complex // В сборнике: Proceedings of 2018 IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTS 2018. Electronic publication. – 2018. – С. 888-892.
2. Тарасов А.С., Никифоров М.Б., Беляков П.В. Системы обнаружения и сопровождения подвижных объектов: методические указания к лабораторным работам // Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Рязань. – 2021. – 48 с.
3. Богданов А.А., Ключко В.К., Фельдман А.Б. Исследование алгоритма формирования трехмерных изображений на базе бортовой оптико-электронной системы наблюдения // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета – 2012. – № 42-1. – С. 70-72
4. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / М.: Радиотехника – 2008г. – С. 176.
5. Ворошилина Е.П., Ворошилин Е.П., Тисленко В.И. Алгоритмы сопровождения подвижных объектов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники – 2009. – № 2 (20). – С. 53-58
6. Bolme D. S., Beveridge R. J., Draper B. A., Lui Y. M. Visual Object Tracking using Adaptive Correlation Filters // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), – 2010. – PP. 2544–2550.
7. Алпатов Б. А., Бабаян П. В., Балашов О. Е., Степашкин А. И. Системы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. – М.: Радиотехника, – 2008. – С. 175
8. Чендаров А.В., Мамон А.Ю. Идентификация данных при траекторном сопровождении маневрирующих объектов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – № 2. – С. 49-58
9. Klochko V.K., Strotov V.V., Alpatov B.A., Smirnov

S.A., Ershov M.D. Detecting and tracking of a group of objects multi-position passive scanning millimeter-wave system // В сборнике: Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 13. Сер. "Millimetre Wave and Terahertz Sensors and Technology XIII" – 2020. – С. 1154104

10. Пастушков А.В., Калайда В.Т. Программная система слежения за объектом в видеопотоке // Южно-Сибирский научный вестник. – 2013. – № 1 (3). – С. 90-91

11. Соколов, С. М., Богуславский А. А., Фёдоров Н. Г., Виноградов П. В. Система технического зрения для информационного обеспечения автоматической посадки и движения по ВПП летательных аппаратов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 1(162). – С. 96–109

12. Филатов, В. И., Потапов А. С. Система обучения визуальным понятиям на основе соотнесения лексем и ключевых точек // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – Т. 16, – № 4. – С. 689–696

13. Lucas, B. D., Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision // Proceedings of Imaging Understanding Workshop. – 1981. – С. 121–130

14. Visual Object Classes Challenge 2012 (VOC2012) // URL: <http://host.robots.ox.ac.uk/pascal/VOC/voc2012/>

15. Фисенко В. Т., Можейко В. И., Фисенко Т. Ю., Вилесов Л. Д., Фёдоров Д. А. Метод автоматического обнаружения и отслеживания многих малоразмерных объектов в условиях априорной неопределенности // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2014. – Т. 57. – № 10. – С. 17-22.

16. Система наведения «Охотник» // URL: <https://aviation21.ru/izdelie-oxotnik-innovacionnaya-sistema-nashlemnogo-celeukazaniya/>

17. Епишин Ю.В. Помехоустойчивый алгоритм обнаружения вращающегося источника сигнала и его реализация в системе технического зрения // Электронные информационные системы. – 2022. – № 1 (32). – С. 29-38

18. Bolme D. S., Beveridge R. J., Draper B. A., Lui Y. M. Visual Object Tracking using Adaptive Correlation Filters // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), – 2010. – PP. 2544–2550.

19. Kim S., Jay Kuo C.-C. A Stochastic Approach for Motion Vector Estimation in Video Coding // Proc. of SPIE, Vol. 2304, Neural and Stochastic Methods in Image and Signal Processing III. – 1994. – pp. 111-122.

20. Акинин М.В., Никифоров М.Б., Таганов А.И. Нейросетевые системы искусственного интеллекта в задачах обработки изображений: монография. М.: Научно-техническое издательство «Горячая линия - Телком», – 2016. – С. 152.

21. Беляков П.В., Никифоров М.Б. Вариационный метод вычисления оптического потока в системе-на-кристалле // Цифровая обработка сигналов. – 2018. – № 3. – С. 76-82.

22. Медведева Е.В., Каралупин К.А., Курбатова Е.Е. Метод выделения движущихся объектов в видеопотоке на основе оценки их границ // Машинное обучение и анализ данных. – 2015. – Т. 1. – № 12. – С. 1696-1705.

23. Tudan Li. CVOnline: Motion and time sequence Analysis. [Электронный ресурс], 2002. Режим доступа: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/> (дата обращения: 14.10.2018).

24. Южакова Ю.О., Царева С.А. Оценка результативности интегрированной системы менеджмента производителя нефтедобывающего оборудования в контексте адаптации алгоритмов нечеткой логики // Научные исследования. – 2018. – № 6 (25). – С. 4-8.

25. Tarasov A., Muratov Y., Nikiforov M., Baranchikov A. Intelligent video computer tracking system // В сборнике: 13th International Conference ELEKTRO 2020, ELEKTRO 2020 - Proceedings. 13. – 2020. – С. 9130254.

26. V. Potapova, A. Tarasov, N. Grinchenko Image search by content system development // в сборнике: Proceedings of IEEE East-West Design&Test Symposium (EWDTS2018). – 2018 – С. 625-629

27. Мицель А.А., Колодников Н.В., Протасов К.Т. Непараметрический алгоритм текстурного анализа аэрокосмических снимков // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 1. – С. 65-70.

Статья поступила в редакцию 07.07.2022

Статья принята к публикации 16.09.2022