

УДК 004.93'12

В.І. ДУБРОВІН, С.О. ІКОЛ
Запорізький національний технічний університет**АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ВІДСТЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ВІДЕО ПОСЛІДОВНОСТІ**

Розпізнавання об'єктів є надзвичайно складним завданням в області комп'ютерного зору і однією з основних проблем, що виникають при розробці практичних систем візуального відстеження. У даній роботі було проаналізовано методи відстеження та розпізнавання об'єктів. Виділено основні підходи до розпізнавання об'єктів: шаблони, оптичний потік, віднімання фону, нейронна мережа. Розглянуто основні підходи до спостереження за об'єктами: відстеження точок, відстеження локального максимуму, відстеження силуету. Також був проведений аналіз останніх досліджень і публікацій в області підтримки прийняття рішень в управлінні безпілотним наземним транспортним засобом (БНТЗ) на основі візуального відстеження.

Ключові слова: візуальне відстеження, кооперація БНТЗ, розпізнавання об'єктів, режим реального часу.

В.И. ДУБРОВИН, С.А. ИКОЛ
Запорожский национальный технический университет**АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ И ОТСЛЕЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ**

Распознавание объектов является чрезвычайно сложной задачей в области компьютерного зрения и одной из основных проблем, возникающих при разработке практических систем визуального отслеживания. В данной работе проведен анализ методов отслеживания и распознавания объектов. Рассмотрены основные подходы к распознаванию объектов: шаблоны, оптический поток, вычитание фона, нейронная сеть. Выделены основные подходы к слежению за объектами: слежение за точками, слежение за локальными максимумами, слежение за силуэтом. Также проведен анализ последних исследований и публикаций в области поддержки принятия решений в управлении беспилотным наземным транспортным средством (БНТС) на основе визуального отслеживания.

Ключевые слова: визуальное отслеживание, кооперація БНТС, распознавания объектов, режим реального времени.

V.I. DUBROVIN, S.A. IKOL
Zaporozhye National Technical University**ANALYSIS OF METHODS OF RECOGNITION AND TRACKING OBJECTS ON VIDEO SEQUENCE**

An unmanned ground vehicle (UGV) ability to track and go behind a moving target is in demand in different applications, especially in situations where the coordination of several UGV is needed. The column movement is one of the common tasks where the UGV cooperation is required.

In implementing the decision support system in the UGV management in the column, the visual tracking module is essential one. It allows you to recognize and then track the target silhouette in the image.

Object recognition is an extremely difficult task in the computer vision field and one of the main problems that arise in the development of practical systems of visual tracking. An unmanned ground vehicle is an object of increased danger, since it works at high speed and in close proximity to a person. The basic requirements for image processing techniques are presented for usage in the visual tracking system. In this work, tracking and object recognition methods are analyzed. There are such main approaches to object recognition as patterns, optical flow, background subtraction, neural network. Such main approaches to tracking objects are identified: points tracking, kernel tracking, silhouette tracking. Also, recent studies and publications in the field of decision support in the UGV management based on visual tracking are analyzed. Comparative tables are based on such characteristics as processing time of single frame, processing of occlusion and accuracy of methods. The conclusions are that in view of the presented limitations for tracking, it is proposed to use in future several methods of recognition and tracking simultaneously: the YOLO object recognition method for the classification of objects; SURF technique as a key point detector for object identification in class space; and the correlation filter for tracking an object on a video sequence. Usage of a combination of given methods will increase the system's fault-tolerance to the disappearance of the master image from the image or its partial occlusion.

Keywords: visual tracking, cooperation of an unmanned ground vehicles, object recognition, real-time mode.

Постановка проблеми

Способность беспилотного наземного транспортного средства (БНТС) отслеживать и передвигаться за движущейся целью востребована в самых различных приложениях, особенно в ситуациях, когда необходима координация нескольких БНТС. Кооперация БНТС требует, чтобы отдельные транспортные средства (ТС) имели информацию о позициях и поведении окружающих их ТС перед любыми совместными действиями. Одной из наиболее распространенных задач, в которых требуется кооперация БНТС, является передвижение в колонне. Das [1] дал определение этой задачи как проблемы управления относительной позицией и ориентацией роботов в группе. Предложено много различных форм взаимодействия роботизированных платформ в группе, одной из самых распространенных является модель ведущий/ведомый. Данная форма взаимодействия лучше всего подходит для управления несколькими БНТС путем визуального отслеживания без передачи информации по внешнему каналу связи.

Анализ последних исследований и публикаций

Задача поддержки принятия решений в управлении БНТС в колонне требует, чтобы мобильный робот следовал за целью, поддерживая определенную дистанцию и ориентацию в пространстве относительно нее. Такая задача особенно полезна для роботизированных конвоев, когда ведущий автомобиль удаленно управляется по радиоканалу, а остальные автомобили двигаются за ним, формируя колонну и позволяя транспортировать предметы снабжения или транспортные средства через опасные районы без риска для жизни людей. Один пользователь может управлять всей группой роботов, явно не указывая управляющие команды для каждого из них. В альтернативном сценарии ведущее БНТС может быть оснащено более совершенными датчиками и вычислительными возможностями для общего планирования и навигации, в то время как ведомые БНТС в колонне являются простыми и/или специализированными. Децентрализация одного большого и дорогого робота снижает вероятность катастрофического сбоя миссии. Использование нескольких мобильных роботов позволяет достичь решения более сложных задач. БНТС, оснащенные возможностью следить за людьми, могут оказаться особенно полезными в индустрии робототехники [2]. Роботизированные "муллы" могли бы следовать за людьми до определенной точки, а затем перемещаться самостоятельно по записанному маршруту, перевозя грузы.

Еще одно потенциальное применение БНТС – поиск и спасение, когда БНТС следует за командами медиков и возвращает стабилизированных пациентов в стационарные больницы, при этом только один медик должен находиться возле БНТС, оставляя остальных свободно продолжать работу с другими пациентами в зоне бедствия.

БНТС должны не только обнаруживать, распознавать и отслеживать свои цели в реальном времени, но и ориентироваться на их поведение. В результате решающее значение имеет распознавание целей и их поведения. БНТС, как правило, оснащены разнообразной комбинацией датчиков для отслеживания целей. Gockley в своей работе [3] использовал активную оптическую систему (LIDAR) для обнаружения цели (человека) и создания траекторий его движения, чтобы роботизированная платформа могла передвигаться по той же траектории. Технология получения и обработки информации об удаленных объектах с помощью активных оптических систем обеспечивает точные измерения, но не освобождает от двусмысленности в идентификации объекта. Методы электронного троса, использующие радиочастотную идентификацию (RFID), являются эффективными, но требуют дополнительных датчиков для более точных измерений. Одним из примеров систем слежения за человеком с использованием нескольких датчиков являются работы Germa [4] и Fiala [5], в которых исследователи объединили данные, полученные с RFID-датчиков и данные, полученные путем обработки изображений. Многие системы используют компьютерное зрение из-за исчерпывающей информации об окружающей среде, пассивной работы и относительно высокой частоты обновления данных.

При реализации системы поддержки принятия решений в управлении БНТС одним из важнейших модулей является модуль визуального отслеживания. Он позволяет распознавать и впоследствии отслеживать силуэт цели на изображении. Под БНТС в данном случае подразумевается полнометражный автомобиль [6], оснащенный системой управления. БНТС является объектом повышенной опасности, поскольку работает на больших скоростях и в непосредственной близости от человека. Поэтому к системе визуального отслеживания выдвигаются дополнительные требования для повышения безопасности:

- обработка одного кадра видеопоследовательности не должна превышать 2 мс (режим реального времени);
- система визуального отслеживания должна быть устойчивой к изменениям освещения, масштаба образа объекта на изображении и его частичной окклюзии;
- система визуального отслеживания должна обладать функцией повторного нахождения объекта слежения после того, как он пропал на несколько кадров из видеопоследовательности.

Цель исследования

Цель данной работы заключается в анализе методов распознавания и отслеживания объектов на двумерном изображении, которые позволят БНТС отслеживать образ ведущего автомобиля или человека.

Изложение основного материала исследования
Распознавание объектов

Распознавание объектов является важной задачей в любом алгоритме слежения. Существует несколько основных направлений в реализации методов распознавания (рис. 1).

Шаблоны. Распознаваемый объект может быть представлен моделью шаблона. Модель шаблона может быть создана с использованием базовой формы геометрии, силуэтов объектов или их уникальных точек. Она может содержать как внешний вид, так и специальную информацию об интересующем объекте. Данный подход может использоваться для распознавания объектов, не подверженных большим искажениям на изображении, поскольку увеличение количества характеристик в модели шаблона приводит к уменьшению скорости вычислений.

Уникальные точки. Одним из методов распознавания объектов является поиск уникальных точек на изображении. Этот метод обычно используется для обнаружения точек на изображении, которые имеют уникальные характеристики в своей конкретной области. Под уникальными точками подразумеваются некоторые участки изображения, которые являются отличительными в пределах данного изображения. Самые распространённые методы поиска уникальных точек – это методы Harris [7], SIFT, SURF, BRIEF, ORB [8].

Оптический поток предназначен для расчета поля оптического потока изображения и дальнейшей кластеризации [9, 10]. Этот метод рассчитывает векторы перемещения всех пикселей на изображении, что позволяет более эффективно обнаруживать движущиеся объекты. Однако большое количество вычислений и высокая чувствительность к шуму на изображении делают его непригодным для использования в режиме реального времени.

Фазовая корреляция [11] – это метод для оценки относительного трансляционного смещения между двумя похожими изображениями (корреляция цифрового изображения) или другими наборами данных. Он обычно используется при регистрации изображений и зависит от представления данных в частотной области, как правило, вычисляется быстрыми преобразованиями Фурье.

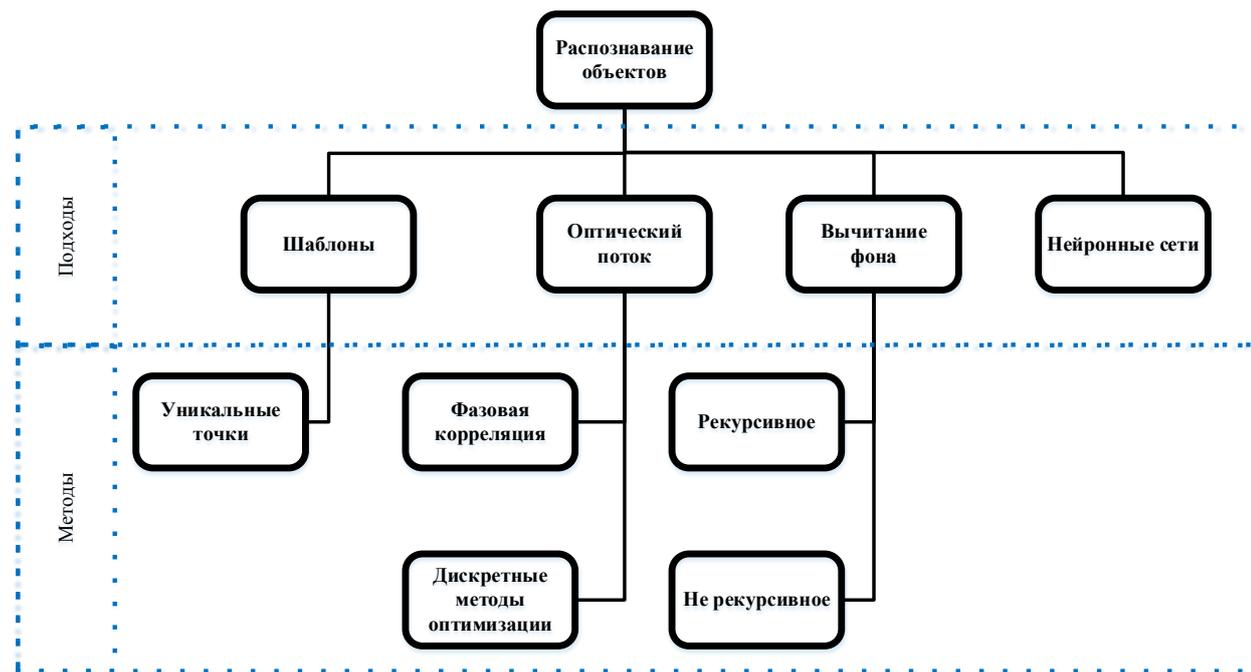


Рис. 1. Методы и подходы к распознаванию объекта.

Дискретные методы оптимизации. Вычисление оптического потока может быть достигнуто путем квантования поискового пространства, затем каждому пикселю изображения ставится в соответствие метка таким образом, чтобы расстояние между последовательными кадрами было минимальным [12].

Вычитание фона. Обнаружение объекта может быть достигнуто путем создания модели сцены и после этого для каждого последующего изображения выполняется расчет отклонения от модели. Области изображения, в которых отклонение от модели превышает пороговое значение, принадлежат движущемуся объекту. В данном подходе выделяют два основных метода. Это рекурсивное и нерекурсивное вычитание фона. Рекурсивный метод [13] не поддерживает буфер для оценки фона. Вместо этого он обновляет фоновую модель на основе каждого входящего кадра. В нерекурсивном методе [13] для оценки фона

используется скользящее окно. Он хранит буфер предыдущих видеокладов и оценивает фоновое изображение на основе временного изменения каждого пикселя в буфере. В результате ошибка в фоновой модели может задерживаться в течение длительного периода времени.

Нейронные сети [14] – это раздел искусственного интеллекта, в котором для обработки сигналов используются явления, аналогичные происходящим в нейронах живых существ. Важнейшая особенность нейронных сетей, свидетельствующая об их широких возможностях и огромном потенциале, состоит в параллельности обработки данных при аппаратной реализации. При большом количестве межнейронных связей это позволяет значительно ускорить процесс обработки информации. Во многих случаях становится возможным преобразование сигналов в реальном времени. Кроме того, при большом числе межнейронных соединений сеть приобретает устойчивость к ошибкам, возникающим на некоторых линиях. Функции поврежденных связей берут на себя исправные линии, в результате чего деятельность сети не претерпевает существенных возмущений.

Таблица 1

Сравнение методов распознавания объектов

Подходы	Методы	Скорость (к/с)	Окклюзия	Точность	Автор
Шаблоны	Уникальные точки	30	+	средняя	[7, 8, 23, 28]
Оптический поток	Фазовая корреляция	30	–	средняя	[11]
	Дискретные методы оптимизации	<30	–	средняя	[12]
Вычитание фона	Рекурсивное	<30	–	средняя	[13]
	Не рекурсивное	30	–	средняя	[13, 24]
Нейронная сеть		>30	+	высокая	[14, 31]

Для распознавания образов сеть накапливает в процессе обучения знания об основных свойствах образов, таких как геометрическое отображение структуры образа, распределение главных компонент или о других характеристиках. При обобщении подчеркиваются отличия образов друг от друга, которые и составляют основу для выработки классификационных решений.

Так как общего решения для задачи распознавания объектов на изображении не существует, часто эти методы приходится совмещать со знаниями из предметной области.

Слежение за объектом

Слежение за объектом можно охарактеризовать как проблему оценки траектории движения объекта на плоскости изображения. В случае использования методов слежения за объектами для БНТС необходимо учитывать относительное движение камеры и сцены, что в свою очередь усложняет задачу. Цель отслеживания объектов – генерировать маршрут для объекта в реальном времени, находя его положение в каждом отдельном кадре видеопоследовательности [15]. Согласно работе [16], отслеживание объектов можно классифицировать как слежение за точками, отслеживание локального максимума и отслеживание силуэта. Как описано в работе [16], методы отслеживания можно разделить на следующие категории (рис. 2):

Слежение за точками. В структуре изображения движущиеся объекты могут быть представлены в виде набора уникальных точек. Слежение за особыми точками [16] представляет собой сложную проблему, особенно в отношении случаев окклюзий или ошибочного распознавания объекта.

Фильтр Калмана. Данный тип отслеживания основан на алгоритме оптимальной рекурсивной обработки данных. Фильтр Калмана [17] представляет собой набор математических уравнений, который является эффективным вычислительным средством для оценки состояния процесса по нескольким аспектам: он поддерживает расчет оценки прошлых, настоящих и будущих состояний, в том числе при условиях, когда точный характер моделируемой системы неизвестен. Уравнения для фильтров Калмана делятся на две группы: уравнения обновления по времени и уравнения обновления измерений. Уравнения обновления по времени отвечают за прогнозирование вперед (по времени) текущего состояния и оценки ковариации ошибок для получения априорной оценки для следующего шага времени. Уравнения измерения отвечают за обратную связь.

Множественные гипотезы. Данный алгоритм [16] является итеративным, и для достижения лучших результатов рассматривается несколько кадров в один момент времени. Итерация начинается с набора существующих гипотез пути. Каждая гипотеза – это набор разобренных треков. Для каждой гипотезы делается прогноз положения объекта в последующем кадре. Затем прогнозы сравниваются путем вычисления меры расстояния. Метод множественных гипотез способен отслеживать несколько объектов, обрабатывать окклюзии и вычислять оптимальные решения.

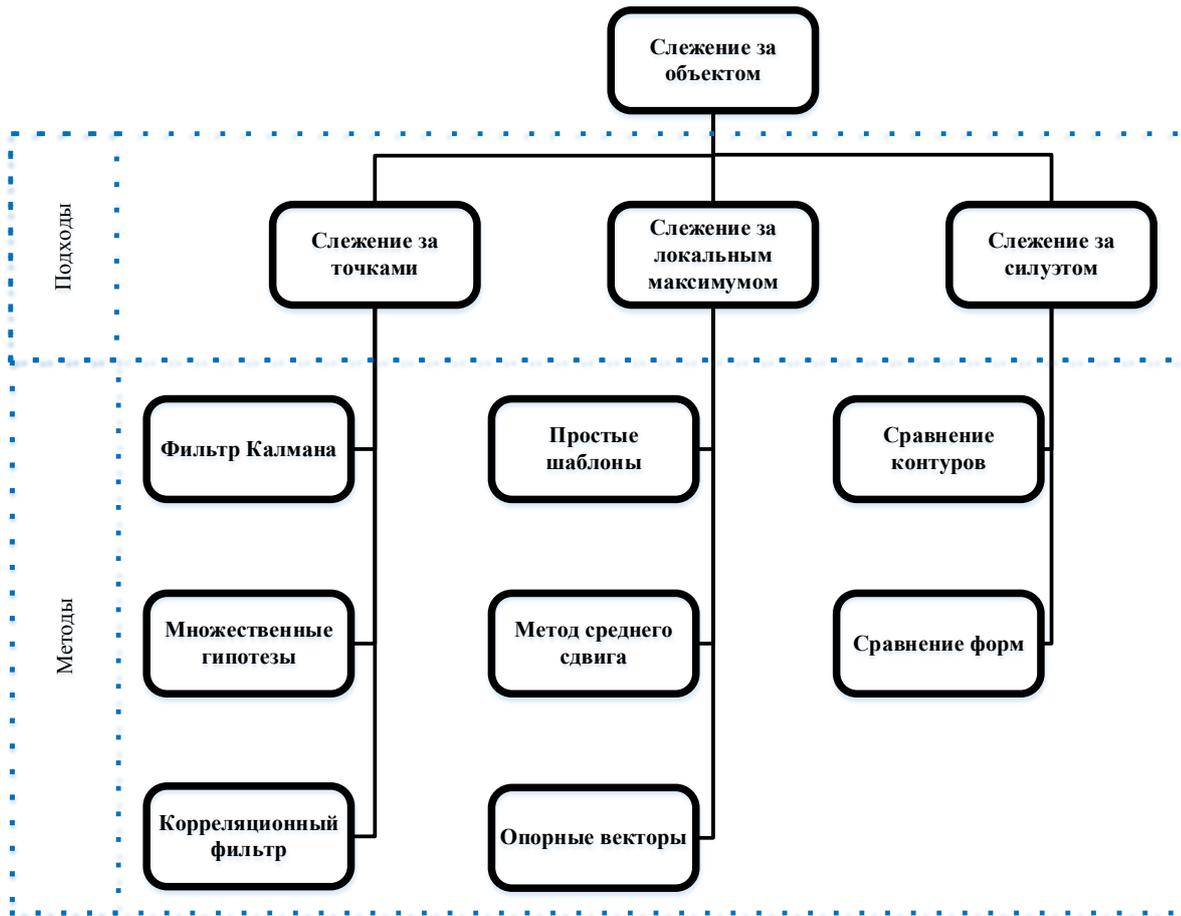


Рис. 2. Методы и подходы слежения за целью.

Корреляционные фильтры. Большинство корреляционных фильтров обучаются по набору уникальных точек (областей), наблюдаемых на первом кадре. Позиция объекта определяется корреляционным отношением уникальных точек с текущим и предыдущим кадром. Однако, как только объект частично или полностью закрыт, корреляционное отношение, с каждым последующим кадром начинает уменьшаться, что в итоге приводит к потере объекта слежения или ошибочному отслеживанию.

Слежение за локальным максимумом. В данном подходе объекты отслеживаются путем вычисления движения ядра (локального максимума) на каждом кадре. Методы различаются по принципу представления внешнего вида, количества отслеживаемых объектов и техники, используемой для оценки движения объекта.

Простые шаблоны [18] – это метод обработки цифровых изображений для поиска небольших частей изображения, соответствующего модели с изображением (шаблоном) в каждом кадре. Процедура сопоставления содержит шаблон изображения для всех возможных позиций в исходном изображении и вычисляет числовой индекс, который определяет, насколько хорошо модель соответствует изображению этой позиции. Данный метод устойчив к частичной окклюзии объекта.

Метод среднего сдвига имеет целью найти область изображения, которая наиболее похожа на ранее инициализированную модель. Область изображения, подлежащая отслеживанию, представлена гистограммой. Процедура подъема градиента используется для перемещения трекера в место, которое максимизирует оценку подобию между моделью и текущей областью изображения. Целевая модель обычно представлена функцией плотности вероятностей.

Опорные векторы [19] – это метод классификации, использует наборы положительных и отрицательных результатов для обучения. Положительные образцы содержат изображения отслеживаемого объекта, а отрицательные образцы состоят из фона. Данный метод устойчив к окклюзии при отслеживании одного объекта на изображении. Также для инициализации данного метода необходимо указывать начальную позицию объекта.

Слежение за силуэтом. Некоторые объекты на изображении могут иметь сложную форму и не могут быть четко определены простыми геометрическими фигурами. Методы, основанные на силуэте [18], дают точное описание фигуры для таких объектов. Целью отслеживания объектов на основе силуэта

является поиск области объекта в каждом кадре с помощью его модели, сгенерированной на предыдущих кадрах.

Метод сравнения контуров [18], работает по принципу итеративного перемещения первичного контура в предыдущем кадре к его новой позиции в текущем кадре. Перемещение контура требует, чтобы определенная часть изображения объекта в текущем кадре перекрывалась с областью изображения объекта в предыдущем кадре. Сравнение контуров может выполняться с использованием двух разных подходов. В первом подходе используются модели пространства состояний для моделирования формы и движения контура. Второй подход непосредственно развивает контур, сводя к минимуму его энергию, используя методы прямой минимизации.

Сравнение форм. Данный метод производит сопоставление двоичного изображения с известной базой данных изображений. Он используется для распознавания фигур и обеспечивает статистические отношения между просматриваемым объектом и хранящимся в базе данных изображений. Сопоставление формы основано на фактической форме объекта на изображении а не на прямом сопоставлении пикселей, как это сделано при сопоставлении шаблонов изображений. Таким образом, совпадения инвариантны к преобразованию формы, размеру и ориентации.

Таблица 2

Сравнение методов слежения за объектами

Подходы	Методы	Скорость (к/с)	Окклюзия	Точность	Автор
Слежение за точками	Фильтр Калмана	30	–	низкая	[17]
	Множественные гипотезы	<30	+	низкая	[16]
	Корреляционный фильтр	30	+	средняя	[32]
Слежение за локальным максимумом	Простые шаблоны	30	+/-	средняя	[18]
	Метод среднего сдвига	30	–	низкая	[20, 27]
	Опорные векторы	<30	+	средняя	[19]
Слежение за силуэтом	Сравнение контуров	<30	–	средняя	[18, 21]
	Сравнение форм	<30	+/-	средняя	[29, 30]

Практическое применение методов распознавания и отслеживания объектов на двумерном изображении

Распознавание объектов является чрезвычайно сложной задачей в области компьютерного зрения и одной из основных проблем, возникающих при разработке практических систем визуального отслеживания. Методы распознавания объектов, основанные на внешнем виде, такие как сопоставление гистограммы цвета (Gevers [20]), часто используются в приложениях визуального отслеживания из-за простоты их реализации. К сожалению, сопоставление только цветовой характеристики объекта приводит к низкой точности идентификации. Использование цветowych маркеров устраняет потенциальные несоответствия, но требует дополнительного вмешательства в визуальные характеристики объекта, что не всегда представляется возможным. Методы распознавания геометрических объектов являются перспективными альтернативами подходам на основе внешнего вида. Здесь распознавание основано на форме объекта, в отличие от методов, основанных на его цветовой характеристике. Эти методы используют обнаружение контуров и геометрической информации об объекте для его классификации. Так в работе [21] используется фильтр Гаора для отслеживания игроков на футбольном поле. Исходное изображение проходит несколько стадий обработки: применения пороговой обработки, оконтуривания полученных объектов на изображении и определения геометрических центров игроков. В данном подходе контуры используются для выделения всех объектов одного класса (одной команды) без учета индивидуальных характеристик образов игроков. Kass в своей работе [22] предлагает использовать метод «змеи» или энергосберегающий сплайн для извлечения характеристик контуров. Активные модели контуров эффективны, но довольно медленны, и подвержены ошибкам при окклюзии объекта на изображении.

Weng в своей работе [23] предложил алгоритм улучшения производительности распознавания объектов. В этой работе использована улучшенная версия SURF – метода для извлечения уникальных точек на изображении. Для определения матрицы позиции использовались гомографические методы. Результат моделирования показал, что этот алгоритм эффективно отслеживает и распознает объект. Однако его скорости и точности недостаточно для использования в системах визуального отслеживания реального времени.

Zhang в своей работе [24] предложил подход, основанный на комбинировании разности кадров и непараметрического метода для отслеживания изменений на видеопоследовательности. Результаты моделирования показали, что эффективность этого подхода выше, по сравнению с методом GMM [25] и непараметрическим методом моделирования фона [26]. Кроме того, он может удалять шум из фона, который

дает возможность более точно определять движущийся объект. Существенным недостатком этого подхода является низкая точность в условиях передвижения и камеры и объекта исследования одновременно.

Coşkun в своей работе [27] использовал метод CAMShift (Continuously Apative Mean-Shift) для отслеживания объекта на видеопоследовательности. Кроме того, он продемонстрировал работу этого метода на летательной платформе с изменением размера объекта слежения и освещения. Недостатком данного метода является большая зависимость от цветовой характеристики исследуемого объекта.

Chen [28] разработал систему визуального отслеживания на основе одной камеры для мобильного робота, подверженного ограничениям в движении. Колесный мобильный робот мог передвигаться по траектории, которая была заложена в видеоряд посредством предварительной съемки. Система позиционирования использовала геометрические отношения сравнимых координат уникальных точек для получения преобразования, которое связывает фактическое положение и ориентацию мобильного робота с проложенными в видеоряде. Данная система может использоваться в случаях повторного прохождения БНТС по уже известной траектории, но не подходит для движения по заранее неизвестному маршруту.

Luigi Freda [29] предложил двухуровневую систему отслеживания и передвижения за целью. На нижнем уровне работает подвижная камера, установленная на роботе, задача которой заключалась в отслеживании цели и удержании ее образа в центре изображения. На верхнем уровне на основе координат цели на изображении и угла наклона камеры рассчитывались управляющие сигналы. Экспериментальные исследования проводились на роботе MagelanPro. Основной задачей исследования было отслеживание мяча и передвижение за ним. Для отслеживания положения мяча на изображении использовалась бинаризация по цвету с последующим сглаживанием шума и определения формы объекта.

Celine Teuli в своей работе [30] предложил метод для визуального отслеживания на основе данных, полученных с видеокamеры. В эксперименте был задействован беспилотный летательный аппарат, который следил за миниатюрной машинкой. Система распознавания цели была основана на бинаризации по цвету по нескольким пороговым значениям. Затем информация, полученная от системы распознавания, использовалась для управления положением и углом рыскания БПЛА для преследования положения цели. Методы к распознаванию целей используемые в работах [29, 30] сильно подвержены влиянию освещения и могут давать ложные срабатывания, из-за чего не могут применяться для визуального отслеживания на БНТС.

Redmon в своей работе [31] предложил новый подход к распознаванию объектов (YOLO – you only look onse). Отличительной чертой данного подхода является то, что распознавание объектов рассматривается как единая регрессионная проблема. Это позволило сделать прямой переход от пикселей на изображении к координатам ограничивающего прямоугольника и классификации объектов. В то время как схожие методы используют схему скользящего окна, где вначале используется метод расчета региона для генерации ограничивающих прямоугольников на изображении, а потом для каждого прямоугольника используется классификатор. Данный метод имеет высокую скорость работы, но не может использоваться для идентификации объектов.

Danelljan в своей работе [32] представил корреляционный фильтр для многомерных уникальных точек. В данном методе объединены гистограммы направленных градиентов с локального максимума интенсивности на изображении. Для оценки изменения масштаба используются одномерные фильтры, для оценки геометрических преобразований используются двумерные фильтры, и для локализации объекта на изображении используются трехмерные фильтры. Недостатком данного метода является возрастание ошибки идентификации объекта при условии частичной окклюзии или временного исчезновения с видеоряда.

Выводы

В работе рассмотрены методы распознавания и отслеживания объектов на двумерном изображении. Основное внимание уделяется методам, имеющим высокую скорость обработки изображений для возможности их использования в системе визуального отслеживания.

Поддержка принятия решений в управлении БНТС является достаточно сложной задачей, поскольку само БНТС является объектом повышенной опасности. Ввиду представленных ограничений для слежения в дальнейшем предлагается использование одновременно нескольких методов распознавания и отслеживания: метод распознавания объектов YOLO для классификации объектов, метод распознавания уникальных точек SURF для идентификации объекта в пространстве класса и корреляционный фильтр для отслеживания объекта на видеопоследовательности. Использование комбинации данных методов позволит повысить отказоустойчивость системы к исчезновению образа мастера с изображения или его частичной окклюзии.

Список использованной литературы

1. Das A.K. A vision based formation control framework / A.K. Das, R. Fierro, R.V. Kumar, J.P. Ostrowski, J. Spletzer, C.J. Taylor // IEEE Transactions on Robotics and Automation. – 2002. – P. 813-825.
2. Троценко Э.А. Система управления БНТС в дистанционном режиме при помощи жестов / Э.А. Троценко, Н.А. Миняйло, С.А. Икол, П.Н. Веропотвелян // Системные технологии. – Днепропетровск: НМетАУ, 2016. – Т.1. – С. 70-84.

3. Gockley R. Natural person-following behavior for social robots / R. Gockley, J. Forlizzi // Proceedings of the ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction, 2007. – P. 17-24.
4. Germa T. Vision and RFID-based person tracking in crowds from a mobile robot / T. Germa, F. Lerasle, N. Ouadah, V. Cadenat // Computer Vision and Image Understanding. – 2010. – P. 641-651.
5. Fiala M. Vision Guided Control of Multiple Robots // Proceedings of the First Canadian Conference on Computer and Robot Vision, 2004. – P. 241-246.
6. Обзор беспилотного наземного транспортного средства на базе автомобиля Jeep Cherokee. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ia.ua/ru/solutions-ru/bespilotnye-technologii/unmanned-jeep-ru> (дата обращения: 29.06.2018).
7. Tuytelaars T. Local Invariant Feature Detectors: A Survey / T. Tuytelaars, K. Mikolajczyk. – B.: Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision, 2008. – 104 p.
8. Karami E. Image Matching Using SIFT, SURF, BRIEF and ORB: Performance Comparison for Distorted Images / E. Karami, S. Prasad, M. Shehata // Conference: Computer Vision and Pattern Recognition, 2015. – P. 120-125.
9. Rupali S. Rakibe. Background Subtraction Algorithm Based Human Motion Detection / Rupali S. Rakibe, Bharati D. Patil // International Journal of Scientific and Research Publications. – 2013. – Vol. 3. – I. 5. – P. 230-234.
10. Abhishek K. C. Moving Object Tracking Using Gaussian Mixture Model and Optical Flow / K. C. Abhishek, K. Prashant // International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. – 2013. – Vol. 3. – I. 4. – P. 243-246.
11. Stone H.S. A fast Direct Fourier-Based Algorithm for Subpixel Registration of Images / H.S. Stone, M.T. Orchard, Ee-Chien Chang, S.A. Martucci // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001. – P. 2235-2242.
12. Glocker B. Dense Image Registration through MRFs and Efficient Linear Programming / B. Glocker, N. Komodakis, G. Tziritas, N. Navab, N. Paragios // Medical Image Analysis Journal. – 2008. –Vol. 12. – I. 6. – P. 731-741.
13. Sen-Ching S. Robust techniques for background subtraction in urban traffic video / S. Sen-Ching, Cheung and Chandrika Kamath // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering, 2003. – P. 120-132.
14. Simon Haykin Neural Networks and Learning Machines / Simon Haykin. – B.: McMaster University Hamilton, Ontario, 2009. – 938 p.
15. Ruolin Z. Object Tracking and Detecting Based on Adaptive Background Subtraction / Z. Ruolin, D. Jian // Procedia Engineering Journal. – 2012. – Vol. 29. – P. 1351-1355.
16. J. Joshan Athanesious. Systematic Survey on Object Tracking Methods in Video / J. Joshan Athanesious, P. Suresh // International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET). – 2012. – Vol. 1. – I. 8. – P. 242-247.
17. Welch G. An introduction to the Kalman Filter / G. Welch, G. Bishop. – B.: In University of North Carolina at Chapel Hill, Department of Computer Science, 2001. – 81 p.
18. Mr. Joshan Athanesious J. Implementation and Comparison of Kernel and Silhouette Based Object Tracking / Mr. Joshan Athanesious J., Mr. Suresh P. // International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology. – 2013. – Vol. 2. – I. 3 – P. 1298-1303.
19. Mishra R. Multiple Object Tracking by Kernel Based Centroid Method for Improve Localization / R. Mishra, Mahesh K. Chouhan, Dr. Dhiiraj Nitnawwre // International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. – 2012. – Vol. 2. – I. 7. – P. 137-140.
20. Gevers T. Color-based Object Recognition / T. Gevers, A.W.M. Smeulders // Image Analysis and Processing: 9th International Conference, 2006. – P. 319-326.
21. Дубровин В.И. Обработка видеоряда спортивных игр с использованием фильтра Габора / В.И. Дубровин, Ю.В. Твердохлеб, Д.В. Панченко // Радиоэлектроника и информатика научно-технический журнал. – Харьков: ХНУРЭ, 2014. – № 1. – С. 46-49.
22. Kass M. Snakes: Active Contour Models / M. Kass, A. Witkin, D. Terzopoulos // International Journal of Computer Vision. –1988. –Vol. 1. – I. 4. – P. 321-331.
23. Weng E.N.G. Objects Tracking from Natural Features in Mobile Augmented Reality / E.N.G. Weng, R.U. Khan, S.A.Z. Aduce, O.Y. Bee // Procedia-Soc. Behav. Sci. – 2013. – Vol. 97. – P. 753-760.
24. Zhang J. Moving Object Detection Based on Nonparametric Methods and Frame Difference for Traceability Video Analysis. / J. Zhang, J. Cao, B. Mao // Procedia Comput. Sci. – 2016. –Vol. 91. – P. 995-1000.
25. Zivkovic Z. Efficient Adaptive Density Estimation per Image Pixel for the Task of Background Subtraction / Z. Zivkovic, F. van der Heijden // Pattern recognition letters. – 2006. – Vol. 27. – I. 7. – P. 773-780.
26. Elgammal A. Non-parametric Model for Background Subtraction / A. Elgammal, D. Harwood, L. Davis // Proceedings of Computer Vision—ECCV 2000, 2000. – P. 751-767.

27. Coşkun M. Implementation of Tracking of a Moving Object Based on Camshift Approach with a UAV / M. Coşkun, S. Ünal. // *Procedia Technol.* – 2016. – №22. – P. 556-561.
28. Chen J. Adaptive Homography Based Visual Servo Tracking for Fixed and Camera-in-Hand Configurations / J. Chen, M. Dawson, W. Dixon, and A. Behal // *IEEE Transactions on Control Systems Technology.* – 2005. P. 814- 825.
29. Freda L. Vision-based interception of a moving target with a nonholonomic mobile robot / L. Freda, G. Oriolo // *Robotics and Autonomous Systems.* – 2007. – P. 419-432.
30. Teuliere C. Chasing a moving target from a flying UAV / C. Teuliere, L. Eck, and E. Marchand // *In Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems.* – 2011. – P. 4929-4934.
31. Redmon J. You only look once: Unified, real-time object detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi // *Conference: 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.* – P. 1-11. – Режим доступа: <https://pjreddie.com/media/files/papers/yolo.pdf>
32. Danelljan M. Accurate Scale Estimation for Robust Visual Tracking. [Електронний ресурс] / M. Danelljan, G. Häger, F. S. Khan, and M. Felsberg // *Proceedings of the British Machine Vision Conference.* – 2014. – №24. – P. 1-11. – Режим доступа: <http://www.bmva.org/bmvc/2014/files/paper038.pdf>.