**УДК 004.932.72'1**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ И ОТСЛЕЖИВАНИЕ ПОСТОРОННИХ ОБЪЕКТОВ**

**СИСТЕМОЙ ПОСАДКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

**А. С. Попов**

*АО «Институт Авиационного Приборостроения «Навигатор»»*

В настоящее время видеонаблюдение стало неотъемлемой частью во многих сферах деятельности, обеспечивая безопасность жизни людей и общественную безопасность. Современные системы наблюдения за объектами предлагают специальные методики отслеживания, позволяя увеличить точность определения и анализа при использовании нескольких камер видеозахвата, что приводит к увеличению итоговой эффективности всей системы отслеживания. В данной статье предлагается использовать подобную систему с целью определения координат воздушных судов для дальнейшего захвата и отслеживания воздушных судов, заходящих на посадку.

Для использования такой системы видеонаблюдения необходимо разместить камеры, формирующие стереоскопическое изображение, на взлётно-посадочной полосе. Система позволит захватывать неподвижные и перемещающиеся в пространстве цели, отслеживая их в поле зрения видеокамер. Наблюдение осуществляется с использованием многочастичного фильтра (МЧФ), обеспечивая непрерывное наблюдение за движущимся объектом. Захват стационарных объектов осуществляется благодаря использованию монохромных матриц и последующего использования алгоритма вычисления порога бинаризации для полутонового изображения, необходимого для обработки чёрно-белых изображений. На основе данных о объектах в кадре вычисляется расстояние до захваченной цели. Кроме того, система позволяет классифицировать объекты, согласно их присутствию в опасной или безопасной зоне. В результате, система позволит оповещать пилотов и диспетчеров о возможном отклонении от курса или возникновению внештатных ситуации при посадке воздушного судна, позволяя избежать несчастных случаев.

Современные методы обнаружения движущихся объектов основываются на особенностях объектов, захваченных в кадре: цвете, текстуре, гранях, движении, форме целей. В описываемой системе определение помех цели осуществляется следующим образом: объект, являющийся помехой для воздушного судна, разбивается на части и захватывается одной из камер стереопары. Затем, с помощью другого устройства захвата в стереопаре, вычисляется расстояние до цели. Для увеличения точности определения используется МЧФ.

В зависимости от состояния помехи (движущейся, или неподвижной), используются различные методы определения. Стационарные объекты возможно обнаружить благодаря совместному использованию сегментационного метода водоразделов [1] и метода Оцу [2]. Перемещающиеся объекты возможно обнаружить при вычитании из общего кадра изображения заднего плана, и использовании МЧФ [3]. Определение траектории движения помехи осуществляется на основе результатов наблюдения и захвата, а также расстояния до неё. Структура, описывающая общий принцип работы системы, представлена на рисунке 1.

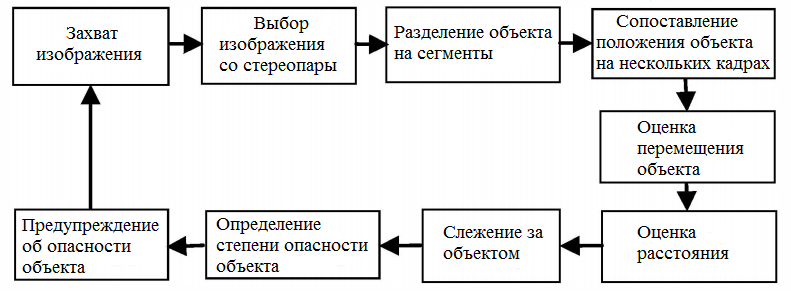


Рисунок 1 – Принцип работы системы

Определение неподвижной помехи производится в два этапа: детектирование помехи и определение расстояния до неё. На каждом этапе определения используется отдельная камера стереопары.

Во время определения используется метод водоразделов, в ходе которого измеряется градиент яркости изображения. Понятие водораздела основано на представлении изображения как трехмерной поверхности, где в качестве высоты используется уровень яркости пикселя. В этом случае на поверхности можно обнаружить три типа точек [1]: точки локального минимума, точки, находящиеся на склоне, точки, находящиеся на гребне возвышенности. Однако, несмотря на простоту реализации, используя данный метод обработки изображения, кадр будет разбит на множество мелких областей, что повлечёт за собой усложнение дальнейшей обработки. Данный недостаток можно устранить, используя заранее определённые маркеры, которые позволят уменьшить количество областей разбиения кадра. Установленные маркеры будут относиться к важным объектам в кадре, например к объектам, расположенным на ВПП.

Несмотря на достоинства метода водоразделов, использование лишь его одного не позволит в достаточной степени определить непрерывную помеху. Поэтому предлагается совместное использование методов водораздела и метода Оцу, для получения более точных результатов. Метод Оцу, являющийся алгоритмом вычисления порога бинаризации для полутонового изображения, используется в области компьютерного распознавания образов и обработки изображений для получения чёрно-белых изображений. Алгоритм позволяет разделить пиксели двух классов («полезные» и «фоновые»), рассчитывая такой порог, чтобы внутриклассовая дисперсия была минимальной [4]. Метод Оцу позволит получить гистограмму изображения, и на её основе вычислить искомый порог, уменьшающий дисперсию внутри класса, определяющуюся взвешенной суммой дисперсий двух классов. Пример изображения с объектом и реализации алгоритма Оцу представлены на рисунке 2 [5].

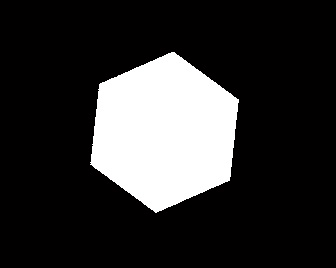
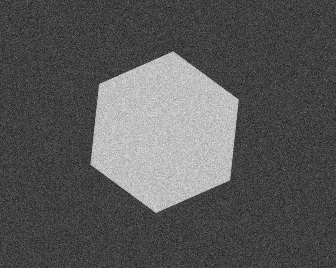


Рисунок 2 – Схематический пример захваченного изображения и реализация алгоритма Оцу

Таким образом, алгоритм позволяет вычислить пороговое значение, для которого сумма яркостей изображений переднего и заднего плана минимальна, и на основе найденного порога сегментировать изображение.

После детектирования помехи на кадре с одной из камер стереопары происходит поиск обнаруженного объекта на другой камере стереопары. Обнаруженная помеха становится «шаблонной», позволяя исключить дальнейшую обработку кадров, в виду неподвижностью помехи.

После обнаружения неподвижной помехи происходит вычисление расстояния до неё, с помощью двух устройств захвата в стереопаре. Для вычисления расстояния используется метод стереоскопического измерения [6] шаблонов помех на кадрах с двух камер. С помощью данного метода можно определить расстояние по формуле

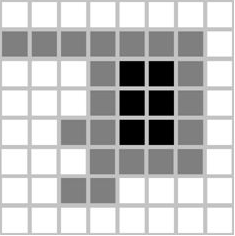
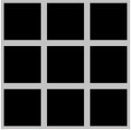
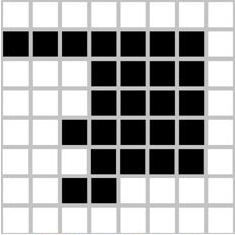
(1)

где – расстояние между камерами, – число элементов разрешения по горизонтали, – угол обзора камер, – разница между объектом на кадрах с разных камер (по горизонтали).

Таким образом, описанный выше алгоритм позволяет обнаружить неподвижную помеху в кадре, полученном со стереопары и определить расстояние до неё.

Для подвижной помехи определение происходит в три этапа: детектирование, определение расстояния и дальнейшее наблюдение за помехой.

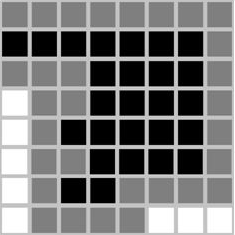
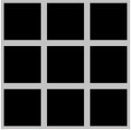
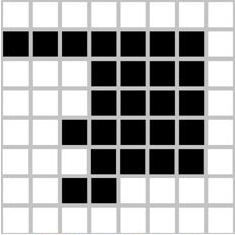
На этапе детектирования происходит захват стереопарой изображения ВПП, которое в дальнейшем будет являться изображением заднего плана. Для улучшения получаемых результатов используется эрозия – способ фильтрации бинарных изображений, суть которого заключается в следующем: если в некоторой позиции каждый единичный пиксел структурного элемента совпадет с единичным пикселом бинарного изображения, то выполняется логическое сложение центрального пиксела структурного элемента с соответствующим пикселом выходного изображения [7]. В результате применения операции эрозии все объекты, меньшие чем структурный элемент, стираются, объекты, соединённые тонкими линиями становятся разъединёнными и размеры всех объектов уменьшаются. Графический пример эрозии изображения структурным элементом приведён на рисунке 3 [7].



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| а) | б) | в) |

Рисунок 3 – Бинарное изображение (а), структурный элемент (б) и итоговая эрозия изображения структурным элементом (в)

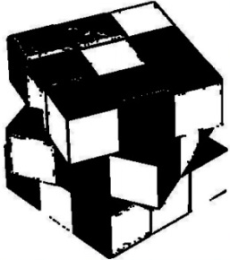
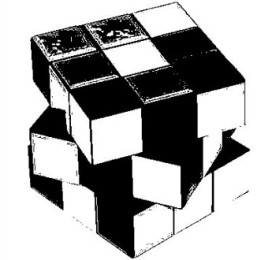
В данном случае, эрозия применяется для удаления части шумов на полученном изображении. Для улучшения чёткости полученных кадров, после операции сужения (эрозии) требуется провести операцию расширения – дилатацию. Эта операция используется для устранения разрывов линий на изображении путем их перекрытия. Графический пример дилатации изображён на рисунке 4 [7].



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| а) | б) | в) |

Рисунок 4 – Бинарное изображение (а), структурный элемент (б) и итоговая дилатация изображения структурным элементом (в)

Увеличивая детализированность полученного с помощью дилатации кадра, можно выделить движущуюся помеху в кадре, выделив её на переднем плане. Описанный алгоритм последовательного применения сужения и расширения позволит выделить на изображении движущийся объект, как совокупность пикселей, пригодных для дальнейшей обработки. Алгоритм обнаружения необходимо использовать каждые 50 – 60 кадров, для обеспечения оптимальной работы вычислительных устройств, так как применять алгоритм на каждом захватываемом кадре попросту нецелесообразно, учитывая кадровую частоту захватываемого изображения кадров в секунду. Пример последовательного выполнения алгоритма показан на рисунке 5 [8].



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| а) | б) | в) |

Рисунок 5 – Пример последовательного применения к изображению (а) эрозии (б) и дилатации (в)

Вычисление расстояния до движущегося объекта выполняется аналогично вычислению дистанции до неподвижной помехи, описанному выше, в общем случае – по формуле (1).

Для наблюдения за помехой в алгоритм работы системы предполагается добавить использование многочастичного фильтра – рекурсивного алгоритма для численного решения проблем оценивания (фильтрации, сглаживания) [3]. В отличии от расширенных фильтров Калмана, многочастичные фильтры не зависят от методов линеаризации или аппроксимации. Кроме того, МЧФ позволяют получить приемлемый результат для длительной последовательности видеоизображения, а также при внезапном появлении образа объекта в кадре. Такие фильтры поддерживают распределение вероятности по форме объекта наблюдения. В МЧФ распределение вероятности представляется в виде набора весовых коэффициентов, каждый из которых является вероятным местоположением силуэта объекта наблюдения. Набор коэффициентов содержит больший вес в тех областях, где обнаружен движущийся объект. Распределение весов распространено с помощью байесовских методов фильтрации, позволяя определить траекторию обнаруженного объекта по наибольшему весовому коэффициенту или средневзвешенному значению набора коэффициентов в каждый момент времени. Блок-схема реализации наблюдения за помехой с помощью МЧФ представлена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Блок-схема реализации наблюдения за помехой

Описанная в данной статье система позволяет предупреждать столкновения с движущимся или стационарным объектом во время захода на посадку или взлёта. Получая изображение со стереопары, расположенной на ВПП, вычислительное устройство обрабатывает видеопоток, позволяя автоматически обнаружить посторонние объекты в поле зрения камер и вычислить расстояние до них и траекторию их движения. В зависимости от подвижности помехи в кадре, применяются соответствующие методы, позволяющие точно определить положение помехи и определить степень угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций при взлёте летательного аппарата, или при его заходе на посадку. Расстояние до помехи вычисляется благодаря использованию стереоизображения, позволяя вычислить дистанцию с достаточной эффективностью и без использования дополнительных технических средств. К недостаткам системы можно отнести неточность обнаружения помехи при неравномерности области кадра, в котором находится помеха, например, сложном рельефе местности. Неравномерность области, в которой находится помеха, приводит к неоптимальному разделению (сегментированию) изображения помехи, что в свою очередь вызывает неточность определения объекта.

**Список использованных источников**

1. Метод водоразделов (Сегментация) [Электронный ресурс] // bmstu.wiki : Национальная библиотека им. Н. Э. Баумана, 2018. URL: https://ru.bmstu.wiki/Метод\_водоразделов\_(Сегментация) (дата обращения: 08.10.2018 г.)

2. Метод Оцу – Википедия [Электронный ресурс] // wikipedia.org : Википедия – Свободная энциклопедия, 2018. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод\_Оцу (дата обращения: 08.10.2018 г.)

3. Многочастичный фильтр – Википедия [Электронный ресурс] // wikipedia.org : Википедия – Свободная энциклопедия, 2018. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Многочастичный\_фильтр (дата обращения: 08.10.2018 г.)

4. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms / N. Otsu // IEEE Trans. Sys., Man., Cyber. VOL. SMC-9. - № 1. – 1979. – С. 62-66.

5. Обнаружение объектов методом Оцу [Электронный ресурс] // habr.com: Хабр, 2018. URL: https://habr.com/post/112079/ (дата обращения: 10.10.2018 г.)

6. Method for measuring stereo camera depth accuracy based on stereoscopic vision [Электронный ресурс] // researchgate.net: ResearchGate || Share and discover research, 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/235349563\_Method\_for\_measuring\_stereo\_camera\_depth\_accuracy\_based\_on\_stereoscopic\_vision (дата обращения: 10.10.2018 г.)

7. Математическая морфология [Электронный ресурс] // habr.com: Хабр, 2018. URL: https://habr.com/post/113626/ (дата обращения: 11.10.2018 г.)

8. Базовые операции обработки изображений [Электронный ресурс] // intuit.ru: Национальный открытый университет «ИНТУИТ», 2018 URL: https://www.intuit.ru/studies/courses/10621/1105/lecture/17989?page=4 (дата обращения: 11.10.2018 г.)