

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗОРА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Зайцев А.В., к.т.н., генеральный директор ООО «Смоленский научно-инновационный центр радиоэлектронных систем «Завант», e-mail: info@zavant.ru;

Соловьев В.А., к.т.н., профессор, начальник отдела ООО «Смоленский научно-инновационный центр радиоэлектронных систем «Завант», e-mail: info@zavant.ru;

Кичулкин Д.А., начальник отдела ООО «Смоленский научно-инновационный центр радиоэлектронных систем «Завант», e-mail: info@zavant.ru;

Красавцев О.О., начальник отдела ООО «Смоленский научно-инновационный центр радиоэлектронных систем «Завант», e-mail: info@zavant.ru.

COMPARATIVE ESTIMATION OF WAYS OF PROCESSING DIGITAL IMAGES, RECEIVED BY MEANS OF THERMAL IMAGER UNDER OBSERVATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLE

Zaitsev A. V., Solovjov V. A., Kichulkin D. A., Krasavtsev O. O.

The article considers the issue of extracting an image of a small unmanned aerial vehicle against the background of cloudy sky radiation in the infrared waves range on video frames obtained from the thermal imager output. It was proposed to perform preliminary processing of digital images to detect such air targets in order to increase the signal-to-noise ratio. The review of previously proposed methods of preliminary treatment was also made; their positive and negative aspects were singled out. Based on the results of full-scale studies, the effectiveness of each of them was evaluated. A conclusion was made about the advisability of using a combination of several methods, which will allow the operation of an optoelectronic detector of small unmanned aerial vehicles in various meteorological situations.

Key words: processing algorithm, unmanned aerial vehicle, infrared range of waves, detection, digital image, convolution, spatial differentiation, spatial filtration.

Ключевые слова: алгоритм обработки, беспилотный летательный аппарат, инфракрасное излучение, обнаружение, цифровое изображение, свертка, пространственное дифференцирование, пространственная фильтрация.

Введение

Актуальность своевременного обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в настоящее время постоянно повышается в связи с участвовавшими случаями их несанкционированного проникновения к охраняемым объектам и использования в террористических целях. Поскольку применить для обнаружения БЛА штатные радиолокационные средства не представляется возможным в связи со слабыми рассеивающими свойствами таких летательных аппаратов, целесообразно использование всесуточных оптико-электронных средств – специализированных тепловизоров.

Основными задачами тепловизионного обнаружителя малоразмерных БЛА является своевременное обнаружение, обеспечивающее требуемую дальность действия, устойчивое сопровождение цели, определение угловых координат относительно оптической оси обнаружителя, обеспечение требуемой разрешающей способности.

Задача обнаружения малоразмерного летательного аппарата с помощью всесуточного оптико-электронного

Рассматривается вопрос о выделении изображения малоразмерного беспилотного летательного аппарата на фоне излучения облачного неба в инфракрасном диапазоне волн на видеокдрах, получаемых с выхода тепловизора. Предложено для обнаружения таких воздушных целей выполнять предварительную обработку цифровых изображений с целью повышения отношения сигнал/шума. Произведен обзор ранее предложенных способов предварительной обработки, выделены их положительные и негативные стороны. На основании результатов натурных исследований произведена оценка эффективности каждого из них. Сделан вывод о целесообразности применения комбинации нескольких способов, что позволит обеспечить работу оптико-электронного обнаружителя малоразмерных беспилотных летательных аппаратов при различных метеорологических ситуациях.

устройства – тепловизора заключается в последовательном обзоре пространства до появления в поле зрения прибора искомого объекта. С точки зрения скорости обзора желательно, чтобы тепловизор имел оптическую систему с широким полем зрения (с малым фокусным расстоянием), однако, в этом случае дальность обнаружения цели будет низкой. Это следует из анализа уравнения дальности обнаружения объектов тепловизором [1]

$$R_{\text{обн}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot q_{\text{н}} \cdot J_{\text{ц}} \cdot \tau_{\text{об}} \cdot \tau_{\text{а}} \cdot S_{\text{р}}}{4 \cdot E_{\text{п}} \cdot m_{\text{р}} \cdot \left(\frac{f_{\text{об}}}{D_{\text{об}}}\right)^2}}, \quad (1)$$

где $J_{ц}$ – сила излучения цели, равная $B_{ц} \cdot S_{ц}$; $B_{ц}$ – энергетическая яркость цели; $S_{ц}$ – площадь проекции цели на картинную плоскость; R – расстояние до цели; $f_{об}$ – фокусное расстояние оптической системы; $D_{об}$ – диаметр оптической системы (объектива); $\tau_a, \tau_{об}$ – коэффициенты пропускания атмосферы на трассе и оптической системы; $q_{ц}$ – площадь чувствительной площадки (пикселя); m_p – отношение сигнал/шум; S_p – чувствительность по падающей мощности.

Физически это означает, что при широком поле зрения, ввиду малости размеров цели, её изображение укладывается в размеры одного пикселя (или меньше), а его яркость невелика. В такой ситуации глаз человека не способен выделить изображение цели на фоне излучения облачного неба. Для улучшения условий наблюдения целесообразно применять оптическую систему с более узким полем зрения (с большим фокусным расстоянием), тогда, при неизменной дальности, изображение цели занимает несколько пикселей и вероятность его обнаружения повышается. Вместе с тем следует учитывать, что при узком поле зрения его необходимо постоянно перемещать в процессе обзора пространства в пределах сектора ответственности, поэтому время обзора пространства увеличивается. Кроме того, с течением времени зрительный аппарат оператора утомляется, в результате чего повышается вероятность пропуска цели или уменьшение дальности её обнаружения. Для устранения этого недостатка следует автоматизировать процесс обнаружения малоразмерных воздушных целей.

В случае, близком к идеальному, когда интенсивность облачного неба в инфракрасном диапазоне невелика, например, при безоблачном небе, процесс обнаружения сводится к попикселному обходу цифрового изображения с применением операции пороговой обработки. Решение о принадлежности анализируемого элемента разрешения малоразмерной цели принимается в случае превышения яркостью пикселя некоторого порогового уровня, зависящего от интенсивности флуктуаций излучения неба и внутренних шумов приёмника лучистой энергии. Задача выбора порогового уровня для рассматриваемого случая может быть решена путём оценки отношения правдоподобия одним из способов, описанных в работах [2, 3, 4 и др.]. Вместе с тем следует учитывать, что безоблачное небо в средней полосе России не является преобладающим, часто оно наблюдается фрагментарно в сочетании с другими формами облачности. По этой причине в пределах участка оптического спектра 8-13 мкм малоразмерные БЛА необходимо обнаруживать на фоне излучения облачности, интенсивность которой порой соизмерима или превышает излучение цели. При этом облачность имеет стохастическую структуру, поэтому её излучение неравномерно распределено в пространстве, в связи с чем не представляется возможным реализовать предлагаемые в [2, 3] процедуры, т. е. получать разностное изображение, как результат вычитания фоновой составляющей из анализируемого изображения с последующей поро-

говой обработкой. Такие условия наблюдения не позволяют принимать решение о наличии цели на основе использования результатов пороговой обработки в чистом виде. Для её применения требуется подготовительный этап фильтрации цифрового изображения, направленный на повышение отношения сигнал/помеха. Сущность такой подготовительной обработки заключается в выделении изображения цели по характерным признакам, присущим БЛА, при одновременном подавлении изображения облачного неба.

Алгоритмы обработки цифровых изображений

В ряде ранее опубликованных работ [5–7] авторами предлагались алгоритмы обработки цифровых изображений, к числу которых относятся: гамма-фильтрация, свёртка цифрового изображения с пробным (эталонным) сигналом, пространственная спектральная фильтрация, селекция движущихся целей, пространственное дифференцирование изображения.

Каждый из перечисленных алгоритмов позволяет осуществить подавление излучений облачного неба, т.е. естественных помех, в разной степени.

Гамма-фильтрация цифрового изображения по строкам осуществляется в соответствии с выражением [5, 8]

$$P_j = A(F_{n,j} - F_{\min})^\gamma, \quad j = 0 \dots M, \quad (2)$$

где n – номер строки изображения; j – номер пикселя в строке; P_j – вычисляемое новое значение яркости j -го пикселя; $F_{n,j}$ – исходное значение яркости пикселя с координатами n, j ; F_{\min} – минимальное значение в анализируемом кадре; A – постоянный коэффициент (0...1); γ – параметр γ -фильтрации.

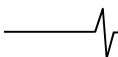
Для возможности отображения цифрового изображения на жидкокристаллическом мониторе требуется его нормирование

$$P_{ij} = \frac{250}{P_{\max}}. \quad (3)$$

При сильном сигнале цели γ -фильтрация позволяет эффективно подавлять изображения всех видов облачности, в том числе и кучевой (рис. 1). В результате обработки отношение сигнал/помеха достигает нескольких тысяч в зависимости от величины γ . В случае слабого сигнала максимум яркости в кадре приходится на облака и в результате нормировки происходит ещё большее подавление сигнала малоразмерной цели. Отношение сигнал/помеха резко снижается и, за счёт этого, дальность обнаружения БЛА оптико-электронным обнаружителем уменьшается. Этот недостаток γ -фильтрации ограничивает область её применения только случаями сильного сигнала, позволяя подчеркнуть изображение цели.

Операция свёртки направлена на выделение изображения малоразмерной воздушной цели. При этом используется известное свойство изображения такой цели, которое формируется на строке ограниченным количеством (3-6) пикселей, амплитуды яркостей в которых изменяются по закону функции Гаусса

$$P_n(j) = e^{-\left(\frac{j-j_0}{\tau}\right)^2}, \quad (4)$$



где $P_n(j)$ – яркость j -го пиксела на строке; j_0 – номер пиксела, соответствующего центру изображения цели; τ – протяжённость изображения цели вдоль строки.

Операция свёртки состоит в последовательном вычислении интеграла свёртки в цифровой форме исходного изображения с пробным сигналом (4)

$$P_{nj} = \sum_{i=j-20}^{j+20} F_{nj} e^{-\left(\frac{i-j}{\tau}\right)^2}. \quad (5)$$

Алгоритм обработки, реализующий выражение (5), позволяет подчёркивать малоразмерные участки яркости, близкие по размерам к воздушной цели. В результате отметки целей становятся на изображении более яркими, однако отношение сигнал/помеха обычно не повышается более чем на 10-15 %, зато снижается амплитуда флюктуаций яркости на строке с 10-15 до 0,9 % [5].

Недостатком данного вида обработки цифровых изображений является то, что изображения облаков (ярких протяжённых объектов) практически не подавляются (рис. 2). Изображение цели при сильном сигнале можно выделить путём дополнительной пороговой обработки

$$P_{nj} = \begin{cases} 1 & \text{при } P_j \geq P_{\text{пор}}, \\ 0 & \text{при } P_j < P_{\text{пор}}, \end{cases} \quad (6)$$

где $P_{\text{пор}}$ – уровень порога бинаризации.

Таким образом, операция свёртки оказывается целесообразной для подчёркивания изображений малоразмерных воздушных целей и снижения флюктуаций фоновых излучений. При больших дальностях уровень сигнала уменьшается, отношение сигнал/помеха снижается, поэтому дальность обнаружения цели сравнительно не велика.

Пространственная спектральная фильтрация пред-

усматривает подавление в цифровом изображении спектрального участка пространственных частот, соответствующих изображению облачных образований, и выделение области частот, формирующих изображение малоразмерной воздушной цели [6]. Исследования показали, что в горизонтальной и вертикальной плоскостях пространственные спектральные полосы, участвующие в формировании изображения малоразмерной воздушной цели, не одинаковы. По этой причине необходимо осуществлять фильтрацию изображения по строкам и столбцам разными фильтрами

$$P_r(y, f) = F_r(y, f) \cdot H_r(f), \quad (7)$$

$$P_b(x, f) = F_b(x, f) \cdot H_b(f), \quad (8)$$

где $H_r(f), H_b(f)$ – функции спектрального пространственного фильтра в горизонтальной и вертикальной плоскостях;

$F_r(y, f), F_b(x, f)$ – исходные распределения яркостей цифрового изображения в горизонтальной и вертикальной плоскостях;

$P_r(y, f), P_b(x, f)$ – результирующие распределения яркостей после фильтрации в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Примерами фильтрующих функций могут быть функции Баттерворта [8]

$$H_r(f) = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{f - f_{\text{цг}}}{f_{\text{срг}}}\right)^2\right]^{2k}},$$

$$H_b(f) = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{f - f_{\text{цв}}}{f_{\text{срв}}}\right)^2\right]^{2k}}, \quad (9)$$

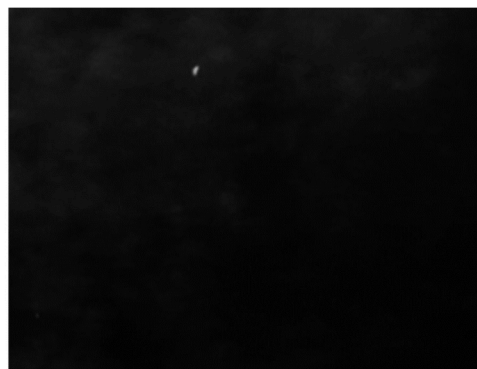


Рис. 1. Результат γ - фильтрации цифрового изображения БЛА на фоне высоко кучевой облачности ($\gamma=2,5$)



Рис. 2. Результат применения операции свёртки при обработке изображения БЛА на фоне кучевой облачности

где $f_{цг}$, $f_{цв}$ – центральные частоты полос пропускания фильтров для горизонтальной и вертикальной плоскостей; $f_{срг}$, $f_{срв}$ – частоты среза фильтров для горизонтальной и вертикальной плоскостей; k – параметр фильтра, определяющий ширину полосы пропускания.

При использовании операций (7) – (9) оказалось, что области спектральных пространственных частот, обусловленные изображением малоразмерных воздушных целей, частично пересекаются с областями, соответствующими излучению разрывов между облаками и «блестящими точками» облаков. В результате подавление кучевых облаков происходит лишь частично, в то время как другие виды облачности (слоистая, перистая, высококучевая и др.) успешно подавляются (рис. 3, а).

Неизбежным спутником спектральной пространственной обработки является некоторое размытие отметки воздушной цели, являющееся причиной снижения разрешающей способности. Устранение этого недостатка возможно путём нормировки изображения по формуле (3) и последующей пороговой обработки (бинаризации) по условию (6). Однако с увеличением дальности до цели её яркость уменьшается, и нормировка оказывается неэффективной, т. к. яркость кучевых облаков после фильтрации превышает яркость цели. По этой причине сигналы облаков превышают уровень бинаризации $P_{пор}$, поэтому наряду с изображениями целей наблюдаются и фрагменты облаков, в результате чего изображения малоразмерных целей «теряются» (рис. 3, б).

Из вышеизложенного следует, что проведение пространственной спектральной фильтрации позволяет наблюдать малоразмерные воздушные объекты на фоне

различных видов облачности кроме кучевой, наличие которой снижает дальность обнаружения целей.

Следующим направлением обработки цифровых изображений малоразмерных воздушных целей является их селекция на фоне неподвижных (малоподвижных) природных излучающих объектов. Такой подход реализуется с помощью операции черескадровой компенсации [7]

$$P_{nj}(t) = F_{nj}(t) - F_{nj}(t - \Delta t), \quad (10)$$

где Δt – интервал времени задержки вычитания.

В процессе экспериментальных исследований было установлено, что процедура (10) даёт возможность надёжного подавления излучений всех природных объектов, попадающих в поле зрения тепловизора (облаков, деревьев, кустарника, строений и т.д.). Изображение движущейся воздушной цели надёжно выделяется и обладает высокой контрастностью (рис. 4, а).

Недостатком способа черескадровой компенсации является необходимость установки тепловизора неподвижно, в противном случае при его развороте на жидкокристаллическом дисплее кроме движущихся целей наблюдаются некомпенсированные кромки облаков и контуры местных предметов (рис. 4, б). Данный способ обеспечивает самую большую дальность обнаружения малоразмерных воздушных целей.

Попытки избавиться от основного недостатка черескадровой компенсации – необходимости удержания тепловизора неподвижно – привели к необходимости более строгого учёта характерных признаков малоразмерной воздушной цели. В частности, при наблюдении цели настраке цифрового изображения наблюдается короткий сигнал вида (4). Попытка дифференцирования распреде-



Рис. 3. Результаты пространственной спектральной обработки изображений:
а – при высоко кучевой; б – при кучевой облачности



Рис. 4. Селекция движущихся воздушных целей: а – при неподвижном; б – при движущемся тепловизоре

ления яркости вдоль строки приводит к преобразованию этого сигнала в двухполярное колебание (рис. 5). Яркость вдоль строки при этом будет в пределах сигнала цели изменяться по закону

$$P_{\text{он}j}(x) = \frac{\partial}{\partial x} F_{nj}(x) \approx \frac{F_{nj+1}(x) - F_{nj}(x)}{\Delta l}, \quad (11)$$

где Δl – шаг дифференцирования.

В первом приближении отличие преобразованного с помощью формулы (11) сигнала цели и облака очевидно (рис. 5). Вместе с тем анализ цифровых изображений при различных видах облачности позволил заключить, что в случае кучевой облачности с разрывами между облаками и, особенно при множественных разрывах, распределения яркости вдоль строки для цели и фрагмента облака могут оказаться сходными. По этой причине возникла необходимость уточнения принадлежности распределения яркости к малоразмерной цели. Это стало возможным благодаря сочетанию пространственного дифференцирования распределения яркости по строке изображения с последующей операцией его свёртки с ожидаемой производной распределения, обусловленного сигналом, которое можно определить путём дифференцирования выражения (4)

$$P_{\text{пл}}(j) = \frac{\partial}{\partial j} P_{\text{п}}(j) = \frac{-(2j - 2j_0) e^{-\left(\frac{j-j_0}{\tau}\right)^2}}{\tau^2}. \quad (12)$$

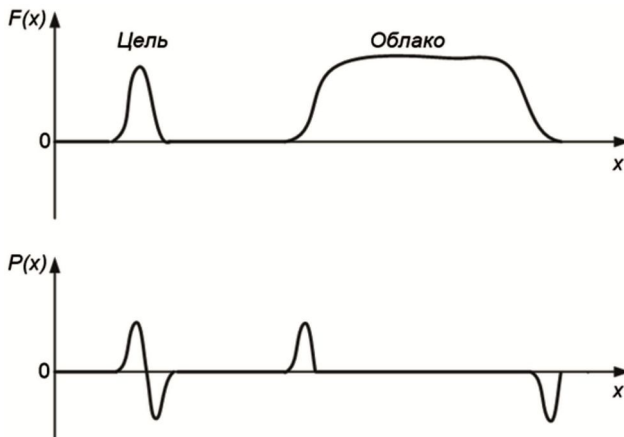


Рис. 5. Распределение яркости изображения вдоль строки изображения: $F(x)$ – до дифференцирования; $P(x)$ – после дифференцирования



Операция свёртки выражений (11) и (12) в цифровой форме осуществляется в соответствии с выражением

$$\Delta P_{nj} = \sum_{i=j-8}^{j+8} P_{\text{пл}i} \left[\frac{2P_{\text{он}j}(-2i - 2j_0) e^{-\left(\frac{i-(j+j_0)}{\tau}\right)^2}}{\tau^2} \right]. \quad (13)$$

Пример выделения сигнала цели с помощью процедуры (13) показан на рис. 6.

Для устранения шумовых выбросов в распределении яркости, обусловленных разрывами в облаках, необходима операция сглаживания в соответствии с выражением

$$G(j) = \frac{1}{3} \sum_{k=j}^{j+2} P_{nk}. \quad (14)$$

После устранения отрицательной части сигнала, полученного с помощью процедур (12) – (14), производится его нормировка по формуле (3) (рис. 7).

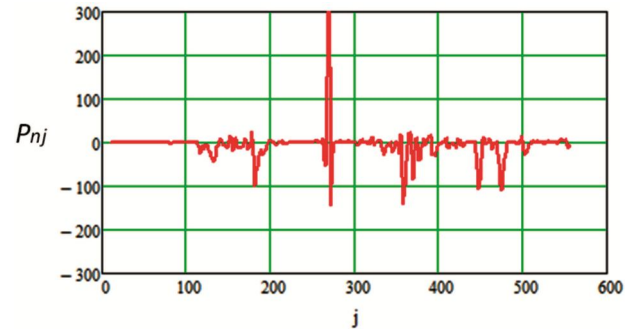


Рис. 6. Результат выделения сигнала малоразмерной воздушной цели на строке развёртки при комбинации операций пространственного дифференцирования распределения яркости и свёртки с производной ожидаемого пробного сигнала цели

В процессе наблюдения за целью возможно проведение подстройки качества изображения путём варьирования величины j_0 , определяющей положение пробного сигнала относительно сигнала цели, в пределах от 2 до 6.

Последний из рассмотренных (комбинированный) способ обработки цифровых изображений позволяет успешно подавлять сигналы всех видов облачности. При сильной изрезанности кучевой облачности возможны появления отдельных ложных отметок, обусловленных облаками, однако они успешно устраняются регулировкой величины j_0 .

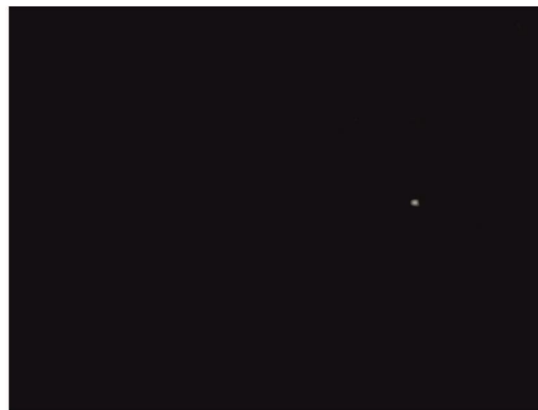


Рис. 7. Результат фильтрации цифрового изображения БЛА на фоне кучевой облачности при комбинированной обработке

Оценка эффективности алгоритмов

Проведенные исследования показали, что каждый из рассмотренных выше алгоритмов не является универсальным и оказывается целесообразным при определённой фоно-целевой ситуации. В связи с этим возникает необходимость оценки эффективности каждого из алгоритмов фильтрации цифрового изображения на выходе тепловизора или их сочетания при заданных условиях. Процедура оценки включает в себя обоснование операций, которые необходимо выполнить в процессе натурных испытаний инфракрасного обнаружителя и определения числовых значений измеряемых при этом величин, для получения объективной оценки эффективности применяемого алгоритма. В свою очередь, для оценки эффективности требуется оперировать некоторыми показателями и критериями, которые также должны быть обоснованными.

Поскольку обнаружение малоразмерной воздушной цели состоит из двух последовательно выполняемых процессов (предварительной обработки изображения и принятия решения о наличии цели, т.е. собственно обнаружения) необходимо предъявить требования к каждому из них.

Для обнаружения изображения малоразмерного БЛА на фоне неба и формирования маркера с центром в точке цели (рис. 8) использован известный алгоритм сегментации движущихся объектов в видеопотоке, описанный в [9, 10]. Его сущность заключается в анализе временного распределения яркости изображения в каждом пикселе, которое подчиняется нормальному закону. Причём выделяется и анализируется несколько случайных процессов, отображаемых пикселем, что позволяет учесть временную изменчивость как характера излучения цели, так и фона облачного неба.



Рис. 8. Сопровождение обнаруженной воздушной цели

Эффективность данного алгоритма существенно зависит от отношения сигнал/шум (сигнал/помеха). Для выявления этой зависимости были проведены экспериментальные исследования, связанные с наблюдением БЛА в полёте с помощью тепловизора при различных метеорологических ситуациях. Полученные при экспериментах видеозаписи (84 записи) были использованы для анализа при различных способах обработки цифровых изображений.

В процессе сопровождения БЛА регистрировалось общее время наблюдения и суммарное время нарушений (прерываний) сопровождения, обусловленных влиянием излучения облачности. По результатам исследования определялась вероятность сопровождения, как отношение времени устойчивого сопровождения цели к общему времени наблюдения. С помощью специально разработанной программы «Statistika» (рис. 9) производилась оценка уровня полезного сигнала (сигнала воздушной цели) и уровень фонового излучения, что позволяло определять отношение сигнал/помеха.

По результатам экспериментальных исследований построен график зависимости вероятности сопровождения цели от отношения сигнал/помеха, показанный на рис. 10, из которого следует, что устойчивое сопровождение изображения малоразмерного беспилотного летательного аппарата с помощью алгоритма возможно при отношении сигнал/помеха не ниже 3-4.

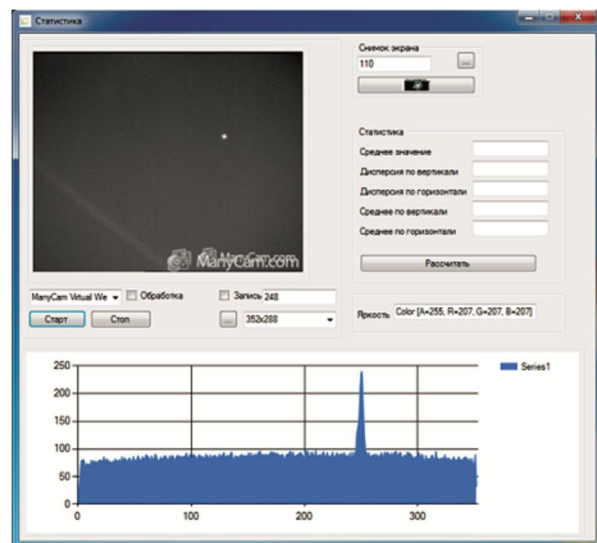


Рис. 9. Интерфейсная программа «Statistika» для оценки уровня сигнала и фона

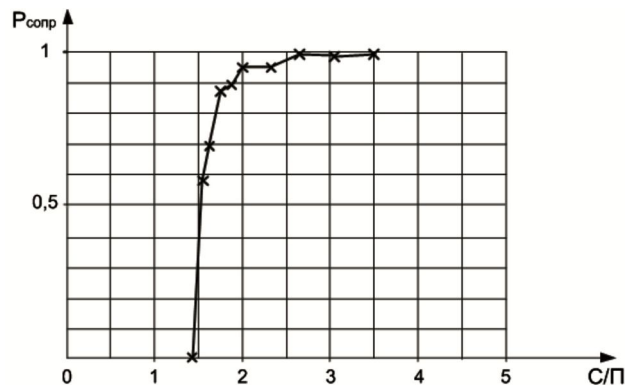


Рис. 10. Зависимость вероятности сопровождения БЛА от отношения сигнал/помеха

Таким образом, для успешного обнаружения и последующего сопровождения малоразмерных БЛА требуется с помощью операций предварительной обработки видеозаписи изображения добиться отношения сигнал/помеха не ниже 3-4. Следовательно, одним из основных показателей эффективности цифровой обработки видеозаписей, получаемых с помощью тепловизора, является

Таблица 1. Результаты обработки цифровых изображений БЛА, получаемых с помощью тепловизора

Алгоритм обработки	Отношение сигнал/помеха					
	До обработки изображения			После обработки изображения		
	Безоблачно	Cs 1–3 балла	Cu 1–3 балла	Безоблачно	Cs 1–3 балла	Cu 1–3 балла
γ-фильтрация	1,3	1,0	0,47	1,7	1,2	0,34
Свёртка с пробным сигналом + пороговая обработка	1,78	1,15	0,67	76	76	0,34
Пространственная спектральная + пороговая обработка	1,58	1,36	0,95	250	250	1
Черескадровое вычитание при неподвижной камере	1,78	1,15	0,67	50	25	25
Черескадровое вычитание при движущейся камере	1,76	1,12	0,69	46	23	1,38
Пространственное дифференцирование + свёртка + пороговая обработка	1,71	1,17	0,87	150	37	3,3

Примечание. Cs – перисто-слоистая облачность, Cu – кучевая облачность.

отношение сигнал/помеха – N_v . Одновременно представляется возможным определить и критерий эффективности предварительной цифровой обработки – минимальный уровень отношения сигнал/помеха – $N_{v\min} = 3-4$, обеспечивающий автоматическое обнаружение и последующее сопровождение изображения БЛА.

Используя полученные при проведении экспериментов видеозаписи сопровождения БЛА, были определены численные значения отношений сигнал/помеха, достигаемые в результате проведения предварительной обработки цифровых изображений с использованием описанных выше алгоритмов на предельных дальностях на фоне безоблачного неба, перисто-слоистой и кучевой облачности 1-3 балла, которые приведены в табл. 1.

Заключение

Из результатов в таблице можно заключить, что к наиболее эффективным алгоритмам предварительной обработки цифровых изображений следует отнести черескадровое вычитание, а также комбинацию пространственного дифференцирования в совокупности с операцией свертки с производной пробного сигнала и пороговой обработкой. Последний из этих вариантов не требует в процессе наблюдения удерживать тепловизионную камеру неподвижно, что делает его более привлекательным.

Работа выполнена в рамках и на средства проекта РФФИ № 15-07-06329.

Литература

1. Соловьев В.А., Лещев М.С., Азаров В.С. Цифровая коррекция инфракрасных изображений с целью улучшения наблюдения малоразмерных летательных аппаратов // Материалы Международной научно-практической конференции «Новая наука: состояние и пути развития». Часть 2. Стерлитамак, «Агентство международных исследований», 2016. 249 с.
2. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Соифера. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
3. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление

ние / Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.

4. Алпатов Б.А., Катаев А.А. Обнаружение движущегося объекта в последовательности изображений при наличии ограничений на площадь и скорость движения объекта // Цифровая Обработка Сигналов, № 1. М.: Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова, 2007. – С. 11–16.

5. Митрофанов Д.Г., Соловьев В.А., Зайцев А.В., Кичулкин Д.А., Азаров В.С. Выделение изображений малоразмерных воздушных объектов на тепловизионных кадрах с использованием операции свёртки // Доклады Пятой Всероссийской конференции «Радиоэлектронные средства получения, обработки и визуализации информации». М.: Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2015. С. 176-179.

6. Соловьев В.А., Зайцев А.В., Азаров В.С., Кичулкин Д.А., Красавцев О.О. Исследование числовых характеристик цифрового фильтра для подавления излучений неба при наблюдении малоразмерных воздушных целей в инфракрасном диапазоне // Доклады 18-й Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и её применение». М., Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2016. С. 682-687.

7. Митрофанов Д.Г., Соловьев В.А., Зайцев А.В. и др. Фильтрация цифровых изображений получаемых с помощью тепловизора, при обнаружении малоразмерных воздушных объектов. Доклады Международной конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий». М., Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи имени А. С. Попова, 2016. С. 301–306.

8. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М., Издательство «Техносфера», 2006. – 1072 с.

9. Ганов В., Конушин А. Сегментация движущихся объектов в видеопотоке. Электронный ресурс: <http://cgm.computergraphics.ru/>

10. Stauffer C., Grimson W. Learning patterns of activity using real time tracking. 2000.