

УДК 621.391.268

ОБНАРУЖЕНИЕ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ПЛОЩАДЬ И СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

Алпатов Б.А., Катаев А.А.

Введение

Системы видеослежения (СВС), осуществляющие обнаружение и слежение за объектами в режиме реального времени, находят широкое применение в различных областях науки и техники (охранные системы, контроль качества деталей на конвейере, слежение за наземными и воздушными транспортными средствами, медицинские исследования и др.). В качестве источника информации об окружающей обстановке в СВС используются датчики видимого и инфракрасного (теплого) диапазона, формирующие последовательность кадров с определенной частотой (как правило, 25 или 30Гц). Так как окружающая обстановка как правило заранее неизвестна и может меняться в процессе наблюдения (например, при слежении за наземными транспортными средствами с помощью бортовых систем самолета или вертолета), то начальным этапом многих алгоритмов обнаружения является оценка фоновой составляющей наблюдаемой сцены. Далее используются различные варианты пороговой обработки разности наблюдаемого изображения и полученной оценки фона с целью выделения точек изображения, принадлежащих объекту [1-5].

При этом большинство известных из литературы методов предполагают поточечную обработку разностного изображения, т.е. принятие решения о принадлежности рассматриваемой точки объекту или фону независимо от результатов обработки соседних точек. Лишь в некоторых работах (например, [3]) рассматриваются вопросы последующего анализа полученных результатов для снижения числа точек, ошибочно отнесенных к объекту или фону. В данной работе предлагаются различные варианты пороговой обработки разностного изображения, позволяющие добиться большей достоверности результатов выделения объектов по сравнению с традиционными методами за счет использования априорных сведений о минимальной площади и максимальной скорости движения объекта.

Постановка задачи

Математическую модель изображения текущего кадра, формируемого датчиком и прошедшего аналого-цифровое преобразование, будем рассматривать как дискретную функцию пространственных координат i и j ($i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}$) вида [4]

Предлагаются методы обнаружения и выделения движущихся объектов в последовательности изображений, учитывающие априорные сведения об ожидаемых размерах и скорости их движения. Приводятся результаты сравнения эффективности предлагаемых методов с традиционным подходом, основанным на поточечной пороговой обработке изображения.

$$l_n(i, j) = r_n(i, j) \cdot h_n(i, j) + (1 - r_n(i, j)) \cdot g_n(i, j) + \xi_n(i, j), \quad (1)$$

где $l_n(i, j)$ – яркость точки текущего кадра с координатами (i, j) ; n – номер кадра;

$$r_n(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если точка } (i, j) \text{ принадлежит объекту,} \\ 0, & \text{если точка } (i, j) \text{ принадлежит фону;} \end{cases}$$

$\xi_n(i, j)$ – шум датчика; $h_n(i, j)$ – изображение объекта в текущем кадре; $g_n(i, j)$ – изображение фоновой составляющей.

Предполагается, что $g_n(i, j)$ представляет собой медленно меняющуюся (по сравнению с частотой формирования кадров) функцию времени. Пусть каким-либо из известных методов (например, [3-5]) получена достаточно хорошая оценка фоновой составляющей, позволяющая в дальнейшем считать $g_n(i, j)$ известной величиной.

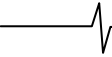
Ввиду отсутствия априорных сведений о яркости точек объекта целесообразно рассматривать $h_n(i, j)$ как случайную величину, имеющую равномерное распределение в диапазоне от 0 до h_{\max} (0 и h_{\max} – нижняя и верхняя границы диапазона яркостей наблюдаемого изображения) и некоррелированную по пространству и между кадрами.

Будем также считать, что $\xi_n(i, j)$ является гауссовой случайной величиной с нулевым средним и дисперсией σ_ξ^2 , которая также не обладает пространственной и межкадровой корреляцией, а $\sigma_\xi \ll h_{\max}$, т.е. среднеквадратическое отклонение шума достаточно мало по сравнению с диапазоном яркостей наблюдаемого изображения.

С учетом дискретного характера обрабатываемых данных априорные ограничения на площадь и скорость движения объекта выразим следующим образом:

- минимальная площадь объекта – S точек,
- максимальная скорость объекта – V точек за кадр.

Учет максимальной скорости движения объекта предполагает возможность хранения “предыстории” из нескольких кадров, предшествовавших текущему, количество которых обозначим через N .



При выводе критериев принадлежности рассматриваемой точки текущего кадра изображению объекта будем исходить из условия максимизации вероятности правильного обнаружения при условии, что вероятность ложной тревоги не превышает некоторой достаточно малой величины P_{fa} .

Статистически оптимальный критерий

Принадлежность какой-либо точки (i, j) текущего кадра изображению объекта, удовлетворяющего заданным ограничениям на площадь и скорость движения и присутствовавшего в поле зрения датчика в течение последних $(N+1)$ кадров, включая текущий, означает, что для этой точки должно выполняться условие

$$\sum_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q} r_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) \geq (N+1) \cdot S, \quad (2)$$

где

$$Q = \left\{ (\Delta n, \Delta i, \Delta j) \left| \begin{array}{l} \Delta n = \overline{0, N}; \\ \Delta i, \Delta j = \overline{-(S-1) - V \cdot \Delta n, (S-1) + V \cdot \Delta n} \end{array} \right. \right\} \quad (3)$$

определяет размеры анализируемой зоны с центром в рассматриваемой точке. Диапазон изменения переменных Δn , Δi и Δj подобран таким образом, чтобы при любой конфигурации и траектории движения объекта в каждом из $(N+1)$ кадров внутри зоны оказывалось не менее S точек объекта.

$$\Lambda_n(i, j) = \frac{\prod_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in T} P(l_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) / r_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) = 1)}{\prod_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in T} P(l_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) / r_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) = 0)} > C \quad (6)$$

где $P(l_n(i, j) / r_n(i, j) = 1)$ и $P(l_n(i, j) / r_n(i, j) = 0)$ – условные плотности вероятностей для случаев принадлежности точки (i, j) текущего кадра объекту и фону соответственно; C – некоторая константа, зависящая от P_{fa} .

Из модели изображения текущего кадра (1) и сделанных выше допущений относительно характера распределения случайных величин $h_n(i, j)$ и $\xi_n(i, j)$ следует, что

$$\sqrt{\sum_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in T} (l_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) - g_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j))^2} > k_T \cdot \sigma_\xi \quad (7)$$

где $k_T = \Phi^{-1} \left(\frac{1 + (1 - P_{fa})^{1/num(T)}}{2} \right)$;

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt -$$

нормальная функция распределения [7]; $num(T)$ – количество элементов (мощность) множества T , т.е. число точек объекта внутри анализируемой зоны.

Точки текущего кадра, для которых выполняется неравенство (7), относятся к объекту, остальные – к фону.

В случае отсутствия объекта внутри анализируемой зоны (при условии, что анализируемые зоны для разных объектов не перекрываются), очевидно, должно выполняться равенство

$$\sum_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q} r_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) = 0 \quad (4)$$

Введем в рассмотрение множество всех $(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q$, соответствующих точкам объекта внутри анализируемой зоны (т.е. таких, для которых $r_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) = 1$):

$$T = \left\{ (\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q \mid r_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) = 1 \right\} \quad (5)$$

Множество T фактически задает конфигурацию и траекторию движения объекта в течение последних $(N+1)$ кадров, включая текущий. При известном T принятие решения о наличии или отсутствии объекта в текущем кадре сводится к проверке гипотезы о принадлежности объекту точек текущего кадра, входящих в T .

Как показано в теории статистических решений [6], наибольшая вероятность правильного обнаружения полезного сигнала на фоне помех при вероятности ложной тревоги, не превышающей P_{fa} , достигается с помощью критерия Неймана-Пирсона, который при известном T будет иметь вид отношения правдоподобия

$P(l_n(i, j) / r_n(i, j) = 0) = P(g_n(i, j) + \xi_n(i, j))$ является гауссовой с математическим ожиданием $g_n(i, j)$ и дисперсией σ_ξ^2 , а $P(l_n(i, j) / r_n(i, j) = 1) = P(h_n(i, j) + \xi_n(i, j))$ при соблюдении ограничения $\sigma_\xi \ll h_{\max}$ близка к равномерной в диапазоне от 0 до h_{\max} . Тогда, преобразуя отношение правдоподобия (6), получаем статистически оптимальный критерий принадлежности рассматриваемой точки текущего кадра объекту в виде

Квазиоптимальный критерий

Практическое использование статистически оптимального критерия (7) требует наличия априорной информации о множестве T , т.е. фактически он применим лишь при известной конфигурации и траектории движения объекта. Так как на практике эта информация обычно недоступна, то рассмотрим различные варианты получения оценок $\Lambda_n(i, j)$, не зависящих от T . При неизвестном T критерий Неймана-Пирсона примет вид

$$\Lambda_n^{(z)}(i, j) = \frac{\prod_{z=1}^{Z_S} p_z \cdot P_1(T^{(z)}) \cdot P_0(Q \setminus T^{(z)})}{\prod_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q} P(l_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) / r_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) = 0)} > C \quad (8)$$

где Z_S – количество всевозможных конфигураций объекта площадью не менее S точек с учетом возможности неполного попадания объекта внутрь анализируемой

зоны; p_z – априорная вероятность появления на наблюдаемом изображении объекта, имеющего конфигурацию $T^{(z)}$;

$$P_1(T^{(z)}) = \prod_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in T^{(z)}} P(l_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) / r_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) = 1);$$

$$P_0(Q \setminus T^{(z)}) = \prod_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q \setminus T^{(z)}} P(l_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) / r_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) = 0);$$

$Q \setminus T^{(z)}$ – разность множеств Q и $T^{(z)}$, т.е. множество, состоящее только из координат точек фона внутри анализируемой зоны.

Знаменатель отношения правдоподобия (8) уже не зависит от реально наблюдаемых конфигурации и траектории движения объекта, задаваемых множеством T , так как соответствующая условная плотность вероятности формируется по всем точкам анализируемой зоны. Сумма Z_S плотностей распределения, зависящих от параметра $T^{(z)}$, в теории вероятностей называется смесью распределений [8]. Можно показать, что при определенных ограничениях, полученных из условия сохранения вероятности ложной тревоги на уровне не выше P_{fa} , возможен переход от рассмотрения смеси распределения в числителе выражения (8) к её аппроксимации, имеющей более простой вид и тоже формируемой по всем точкам анализируемой зоны. Далее, рассуждая аналогично предыдущему пункту в части перехода

от отношения правдоподобия (6) к статистически оптимальному критерию (7), получаем следующий критерий принадлежности рассматриваемой точки текущего кадра объекту:

$$\sqrt{\sum_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q} \left(l_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) - g_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) \right)^2} > k_Q \cdot \sigma_\xi \quad (9)$$

где $k_Q = \Phi^{-1} \left(\frac{1 + (1 - P_{fa})^{1/num(Q)}}{2} \right);$

$num(Q) = \sum_{\Delta n=0}^N (2(S + V \cdot \Delta n) - 1)^2$ – мощность множества Q .

В целях снижения вычислительных затрат при реализации полученного критерия целесообразно заменить вычисление квадратного корня из суммы квадратов разностей на сумму абсолютных величин разностей, т.е. перейти (9) к рассмотрению критерия вида

$$\sum_{\Delta n=0}^N \sum_{\Delta i=-(S+V \cdot \Delta n-1)}^{S+V \cdot \Delta n-1} \sum_{\Delta j=-(S+V \cdot \Delta n-1)}^{S+V \cdot \Delta n-1} |l_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) - g_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j)| > k_{|Q|} \cdot \sigma_\xi \quad (10)$$

где $k_{|Q|} = k \cdot \sqrt{0,72 \cdot \sum_{\Delta n=0}^N (2(S + V \cdot \Delta n) - 1)^2 + 1,13 \cdot \sum_{\Delta n=0}^N (2(S + V \cdot \Delta n) - 1)^2}; k = \Phi^{-1} \left(1 - \frac{P_{fa}}{2} \right).$

Критерий принадлежности рассматриваемой точки текущего кадра объекту (10) можно назвать квазиоптимальным, так как он получен из рассмотрения аппроксимации отношения правдоподобия (8). Никакой априорной информации о конфигурации и траектории движения объекта для применения критерия (10) не требуется.

При $S = 1$ и $N = 0$ критерий (10) примет вид

$$|l_n(i, j) - g_n(i, j)| > k \cdot \sigma_\xi, \quad (11)$$

соответствующий известному методу выделения движущихся объектов на основе поточечной пороговой обработки [2].

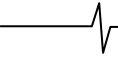
Эвристический критерий

Альтернативный критерий принадлежности рассматриваемой точки текущего кадра объекту может быть получен из рассмотрения законов распределения случайной величины

$$\bar{l}_n(i, j) = \frac{1}{\sum_{\Delta n=0}^N (2(S + V \cdot \Delta n) - 1)^2} \times \quad (12)$$

$$\sum_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q} l_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j)$$

имеющих место в случае наличия и отсутствия объекта внутри анализируемой зоны. В частности, можно показать,



что при наличии внутри анализируемой зоны объекта, имеющего конфигурацию и траекторию движения T , условная плотность вероятности для $l_n(i, j)$ имеет вид

$$P\left(\bar{l}_n(i, j) / \sum_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q} r_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) = num(T)\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_T}} \cdot \exp\left(-\frac{(\bar{l}_n(i, j) - m_T(i, j))^2}{2D_T}\right) \quad (13)$$

т.е. является гауссовой с математическим ожиданием

$$m_T(i, j) = \frac{1}{\sum_{\Delta n=0}^N (2(S + V \cdot \Delta n) - 1)^2} \times \left(\sum_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q \setminus T} g_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) + \frac{h_{\max}}{2} \cdot num(T) \right) \quad (14)$$

$$\left(\sum_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q \setminus T} g_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) + \frac{h_{\max}}{2} \cdot num(T) \right)$$

и дисперсией

$$D_T = \frac{1}{\left(\sum_{\Delta n=0}^N (2(S + V \cdot \Delta n) - 1)^2 \right)^2} \times \left(\sigma_\xi^2 \cdot num(Q \setminus T) + \frac{h_{\max}^2}{12} \cdot num(T) \right) \quad (15)$$

$$\left(\sigma_\xi^2 \cdot num(Q \setminus T) + \frac{h_{\max}^2}{12} \cdot num(T) \right)$$

$$\Lambda_n(i, j) = \frac{\sum_{z=1}^{Z_s} p_z \cdot P\left(\bar{l}_n(i, j) / \sum_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q} r_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) = num(T^{(z)})\right)}{P\left(\bar{l}_n(i, j) / \sum_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q} r_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) = 0\right)} > C_{\bar{l}_n} \quad (19)$$

Преобразуя (19) с учетом ограничения $\sigma_\xi \ll h_{\max}$, получаем эвристический критерий принадлежности рассматриваемой точки текущего кадра объекту в виде

$$\left| \sum_{\Delta n=0}^N \sum_{\Delta i=-(S+V \cdot \Delta n-1)}^{S+V \cdot \Delta n-1} \sum_{\Delta j=-(S+V \cdot \Delta n-1)}^{S+V \cdot \Delta n-1} (l_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) - g_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j)) \right| > k_{\bar{l}_n} \cdot \sigma_\xi \quad (20)$$

$$\text{где } k_{\bar{l}_n} = k \cdot \sqrt{\sum_{\Delta n=0}^N (2(S + V \cdot \Delta n) - 1)^2};$$

$$k = \Phi^{-1}\left(1 - \frac{P_{fa}}{2}\right).$$

Как и в случае с квазиоптимальным критерием (10), никакой априорной информации о конфигурации и траектории движения объекта для применения эвристического критерия (20) не требуется.

При $S = 1$ и $N = 0$ критерий (20) также примет вид (11).

Экспериментальные исследования

Экспериментальное исследование эффективности предлагаемых критериев (10) и (20) проводилось на реальных видеосюжетах, содержащих изображения наземных и воздушных транспортных средств, движущихся с различными скоростями. Оценка яркости фоновой составляющей $g_n(i, j)$ осуществлялась различными методами в зависимости от типа сюжета. При обработке сюжетов, содержащих

а при отсутствии объекта внутри анализируемой зоны – вид

$$P\left(\bar{l}_n(i, j) / \sum_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q} r_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) = 0\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_0}} \cdot \exp\left(-\frac{(\bar{l}_n(i, j) - \bar{g}_n(i, j))^2}{2D_0}\right) \quad (16)$$

т.е. также является гауссовой, но с математическим ожиданием

$$\bar{g}_n(i, j) = \frac{1}{\sum_{\Delta n=0}^N (2(S + V \cdot \Delta n) - 1)^2} \cdot \sum_{(\Delta n, \Delta i, \Delta j) \in Q} g_{n-\Delta n}(i + \Delta i, j + \Delta j) \quad (17)$$

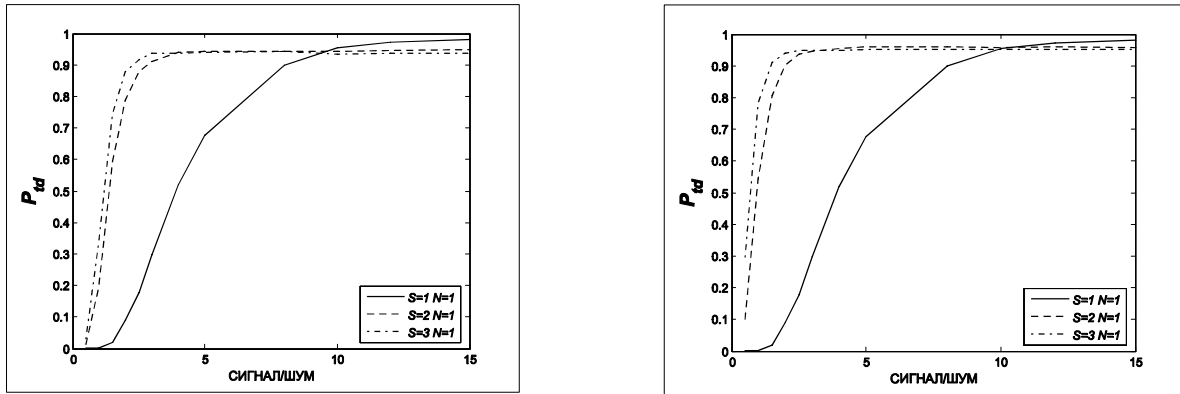
и дисперсией

$$D_0 = \frac{\sigma_\xi^2}{\sum_{\Delta n=0}^N (2(S + V \cdot \Delta n) - 1)^2} \quad (18)$$

При отсутствии априорной информации о множестве T критерий Неймана-Пирсона для наблюдаемых значений $l_n(i, j)$ примет вид

объекты, движущиеся на фоне земного ландшафта, для оценки фона использовался метод на основе анализа изменений яркости точек изображения во времени, описанный в [4]. Для сюжетов, фоновая составляющая которых достаточно однородна на больших участках изображения (случай, характерный для слежения за летательными аппаратами на фоне облачного неба), оценка фона осуществлялась методом, описанным в [5].

Сравнение эффективности предлагаемых критериев с традиционными методами осуществлялось в условиях обнаружения с постоянной частотой ложной тревоги (constant false alarm rate detection или CFAR detection) [9 и др.], предполагающего сравнение частоты правильного выделения точек объекта P_{fd} , демонстрируемой различными методами, при одинаковом значении частоты ложных тревог P_{fa} . Приведенные ниже результаты получены для $P_{fa} = 0,001$. Значения P_{fa} и P_{fd} оценивались по эталонным бинарным изображениям, полученным в результате выборочного анализа части кадров человеком-экспертом. Точки, составляющие внешнюю и внутреннюю границы объекта на эталонном бинарном изображении, при подсчете P_{fa} и P_{fd} не учиты-



а) критерий (10)

б) критерий (20)

Рисунок 1 – Сравнительная эффективность предлагаемых критериев при обработке “наземных” сюжетов



а) один из кадров “наземно-го” сюжета (сигнал/шум = 2)

б) критерий (11) ($P_{td} = 0,0902$)

в) критерий(10), $S = 3$, $N = 1$ ($P_{td} = 0,9028$)

г) критерий (20), $S = 2$, $N = 1$ ($P_{td} = 0,9399$)

Рисунок 2 – Пример обработки “наземного” видеосюжета

вались из-за повышенного риска ошибочной классификации. Приведенные ниже результаты исследований были получены при $V = 0$, что соответствует отсутствию априорной информации о скорости движения объекта (хотя реально наблюдаемая скорость объектов при этом изменялась в пределах от 3-4 до 15-20 точек за кадр).

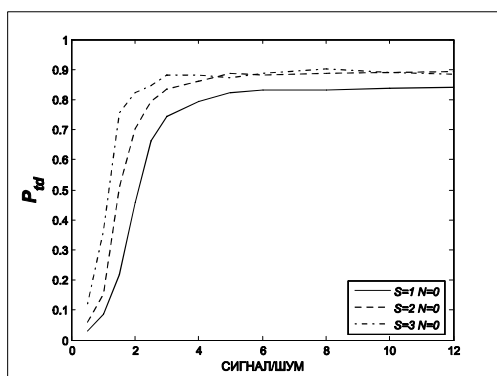
Исследования показали, что предлагаемые критерии (10) и (20) наиболее эффективны при малых значениях отношения сигнал/шум (отношение контраста объекта к среднеквадратическому отклонению шума σ_{ξ}), демонстрируя высокую частоту правильного выделения точек объекта P_{td} в условиях, когда традиционные подходы становятся практически неработоспособными.

На рисунке 1 приведен типичный вид зависимости P_{td} от отношения сигнал/шум при $P_{fa} = 0,001$ для “наземных” сюжетов, характеризующихся пространственно-неоднородной фоновой составляющей. Сплошная линия соответствует применению ранее известного критерия (11), пунктирная – критериями (10) и (20) при $S = 2$ и $N = 1$, штрихпунктирная – критериям (10) и (20) при $S = 3$ и $N = 1$. Как можно видеть из графиков, предлагаемые критерии значительно эффективнее алгоритма [2], предполагающего поточечную пороговую обработку вида (11), в достаточно широком диапазоне значений отношения сигнал/шум и практически не уступают ему при высоких отношениях сигнал/шум (порядка 10 и выше).

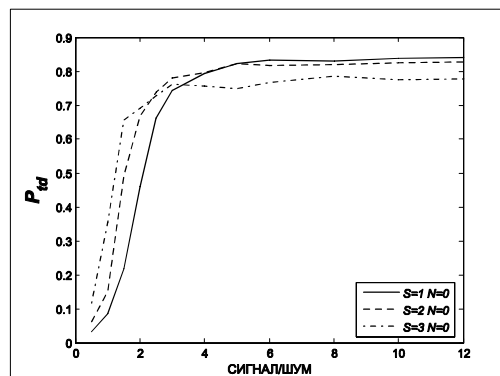
Пример обработки одного из “наземных” видеосюжетов с отношением сигнал/шум, равным 2, показан на рисунке 2. Выделяемый объект – автомобиль размером около 42x15

точек – показан на рисунке 2(а), результат выделения объекта с помощью поточечной пороговой обработки [2] – на рисунке 2(б), на рисунках 2(в) и 2(г) – результат выделения объекта с помощью критериев (10) и (20) соответственно. Значения S и N , а также полученные в результате обработки видеосюжета значения частоты правильного выделения P_{td} указаны под соответствующим рисунком.

При исследовании “воздушных” сюжетов, характеризующихся достаточно однородной фоновой составляющей, эффективность критериев (10) и (20) сравнивалась с результатами применения пространственного алгоритма [5], предполагающего поточечную пороговую обработку. На рисунке 3 приведен типичный вид зависимости P_{td} от отношения сигнал/шум при $P_{fa} = 0,001$ для “воздушных” сюжетов. Сплошная линия соответствует поточечной пороговой обработке [5], пунктирная – применению критериев (10) и (20) при $S = 2$ и $N = 0$, штрихпунктирная – критериям (10) и (20) при $S = 3$ и $N = 0$. Как можно видеть из графиков, эффективность критерия (10) выше, чем у поточечной пороговой обработки, а критерий (20) наиболее эффективен при небольших значениях отношения сигнал/шум (не выше 4). При повышении отношения сигнал/шум эффективность (20) несколько снижается, но, как показывает практика, при P_{td} порядка 0,8 её снижение на 8-10% не приводит к заметному снижению качества автоматического слежения за объектами и является вполне приемлемой платой за повышение эффективности функционирования СВС при низких значениях отношения сигнал/шум.



а) критерий (10)

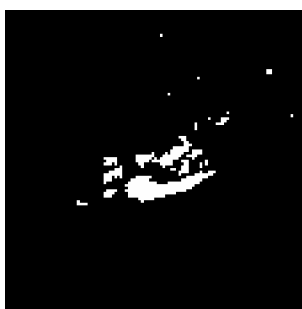


б) критерий (20)

Рисунок 3 – Сравнительная эффективность предлагаемых критериев при обработке “воздушных” сюжетов



а) один из кадров “воздушного” сюжета (сигнал/шум = 2)



б) поточечная пороговая обработка ($P_{id} = 0,4573$)



в) критерий (10), $S = 3, N = 0$ ($P_{id} = 0,8280$)



г) критерий (20), $S = 2, N = 0$ ($P_{id} = 0,6910$)

Рисунок 4 – Пример обработки “воздушного” видеосюжета

Пример обработки “воздушного” видеосюжета с отношением сигнал/шум, равным 2, показан на рисунке 4. Выделяемый объект – самолет размером около 75×40 точек – показан на рисунке 2(а), результат выделения объекта с помощью поточечной пороговой обработки [5] – на рисунке 2(б), на рисунках 2(в) и 2(г) – результат выделения объекта с использованием критериев (10) и (20) соответственно. Значения S и N , а также полученные в результате обработки видеосюжета значения частоты правильного выделения P_{id} и ложной тревоги P_{fa} , указаны под соответствующим рисунком.

Проведенные экспериментальные исследования показали также эффективность предлагаемых критериев (10) и (20) при обработке «космических» сюжетов, полученных со спутника и содержащих различные воздушные и наземные транспортные средства на фоне земного ландшафта.

Заключение

В статье предложены различные критерии принятия решения о принадлежности рассматриваемой точки изображения текущего кадра объекту или фону, полученные с использованием критерия Неймана-Пирсона. Показано, что при низких отношениях сигнал/шум предлагаемые критерии позволяют добиться значительно большей вероятности правильного выделения точек объекта по сравнению с традиционными методами за счет использования априорных сведений о минимальной площади и максимальной скорости движения объекта. Немаловажным достоинством предлагаемых критериев является также их относительная простота, открывающая возможности для их реализации в СВС

в режиме реального времени. Исследования были проведены при поддержке РФФИ, грант 06-01-08021.

Литература

1. Y. Wu, J. Chen. Moving object detection using orthogonal Gaussian-Hermite moments // Proc. Of SPIE Vol. 5308, Visual Communications and Image Processing 2004. – April 2004. – pp.841-849.
2. Алпатов Б.А., Бабаян П.В. Выделение движущихся объектов в условиях геометрических искажений изображения // Цифровая обработка сигналов. – 2004. – №4. – с. 9-14.
3. Jicheng Li, Zhenkang Cheng, Li Biao Detection of small moving objects in image sequences // Proc. of SPIE Vol. 3069, Automatic target recognition VII (Jun 1997). – pp.511-517.
4. Алпатов Б. А. Оптимальное оценивание параметров движущегося объекта в последовательности изображений // Автоматрия. – 1994. – №2. – С. 32-37.
5. Алпатов Б.А. Муравьев С.И., Муравьев В.С. Пространственный алгоритм выделения объектов на основе адаптивной пороговой обработки // Цифровая обработка сигналов и её применение. Материалы 8-й междунар. конф. Том 2. – М.: 2006 – с. 445-448.
6. Акимов П.С. и др. Сигналы и их обработка в информационных системах. – М. Радио и связь, 1994.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М. «Наука», 1964.
8. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и её приложения. В 2-х томах. Т. 2. Пер. с англ. – М. «Мир», 1984.
9. Quoc Henry Pham, Timothy M. Brosnan, and Mark J. T. Smith Sequential Digital Filters for Fast Detection of Targets in FLIR Image Data // Proc. of SPIE Vol. 3069, Automatic target recognition VII (Jun 1997). – pp.62-73.