

ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ НАБЛЮДЕНИЯ

Аксенов О.Ю.

Системы видеонаблюдения, в частности системы обнаружения объектов заданных классов на поверхности земли, обрабатывают последовательности изображений, формируемые телевизионными камерами, и решают задачу определения характеристик обнаруженных объектов. Это означает, что фон, на котором наблюдается объект, может иметь разнообразные свойства, и что способ обработки изображений должен обеспечивать работоспособность системы обнаружения в широком диапазоне условий наблюдения.

В большинстве случаев, имеющих практический интерес, особенно когда речь идет об изображениях естественных сцен, получаемых в «полевых условиях», результаты обнаружения зависят не только от используемых алгоритмов обработки, но и от условий наблюдения, а также от содержания наблюдаемой сцены. Поэтому, прежде всего, следует оговорить понятия «наблюдаемая сцена» и «условия наблюдения», остановиться на способах их формального описания [1].

Наблюдаемая сцена определяет характерный вид объекта и фона, для работы с которыми предназначена рассматриваемая система обработки изображений. На-



Рис. 1. Изображение наблюдаемой сцены

Наиболее полно яркостные характеристики наблюдаемой сцены определяет гистограмма распределения яркости. Для изображения рис.1, такая гистограмма показана на рис.2 темным цветом. Для более компактного описания яркостных характеристик наблюдаемой сцены можно использовать такой параметр, как модуляционный контраст, представляющий собой отношение ширины гистограммы к положению ее середины – средней яркости – $K_m = 2 \cdot D / \bar{B}$ [2]. Здесь: $D = B_{\max} - B_{\min}$ – ширина гистограммы распределения яркости, $\bar{B} = (B_{\max} + B_{\min}) / 2$ – средняя яркость изображения, B_{\min} , B_{\max} – минимальное и максимальное значения яркости на изображении. Величина K_m может изме-

Рассматривается технология создания системы обнаружения объектов на изображениях естественных сцен. Применены два подхода к задаче обеспечения работоспособности системы в широком диапазоне условий наблюдения. Один из них связан с использованием адаптации при обработке изображений, а второй – с применением для тестирования используемых алгоритмов изображений, соответствующих различным условиям наблюдения. Применение обоих подходов демонстрируется на примере системы обнаружения объектов на изоб

блюдаемая сцена характеризуется содержанием и яркостными параметрами. Содержание наблюдаемой сцены может быть задано словесно. Ниже приводится пример описания сцены, изображенной на рис.1. При описании наблюдаемой сцены необходимо определить следующее:

- характерный вид объекта (легковой автомобиль);
- относительный размер объекта (~10% линейного размера изображения);
- число объектов (1);
- минимальное расстояние между краями объектов, если их несколько (относительно линейного размера объекта);
- фон в окрестности объекта (неоднородный, отличный от цвета объекта)

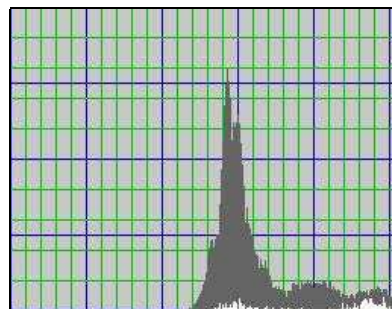


Рис. 2. Гистограмма распределения яркости: объект – светлый, фон – темный

няться в пределах 0...1. Однако, в данном приложении представляется более удобным использовать не значение контраста, а величины D и \bar{B} по отдельности.

На изображениях естественных сцен фон в окрестности объекта может заметно отличаться от фона, расположенного на значительном удалении от объекта. Поэтому в некоторых случаях представляется целесообразным для каждого объекта использовать понятие «локальный фон» – фон в ближайшей окрестности объекта. Положение этой окрестности иллюстрирует рис.3. На нем область локального фона имеет вид темной окантовки вокруг объекта (автомобиля). Эта область получена за счет последовательного утолще-

ния «окантовки равной ширины». Увеличение окантовки проводилось от значения «толщина в 1 пиксел» до тех пор, пока площадь окантовки приблизительно не сравнялась с площадью объекта. В данном случае при формате кадра 384×288 это 960...970 пикселов.

В дальнейшем параметры, соответствующие всему изображению, будут маркироваться индексом "f", объекту – индексом "o", фону – индексом "b", а локальному фону –

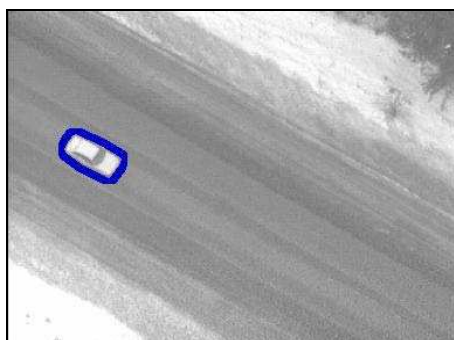


Рис. 3. Область локального фона (темная кайма вокруг автомобиля)

Гистограммы распределения яркости объекта и фона (все изображение за исключением объекта) содержит рис.2. На нем гистограмма для объекта показана белым, для фона – темным. При этом ордината гистограммы объекта увеличена в 10 раз. Для локального фона соответствующую гистограмму отображает рис.4. В этом случае масштаб гистограмм для объекта и для локального фона одинаков.

Таким образом, наблюдаемую сцену предлагается задавать описанием (или типичным изображением) и набором параметров:

$$d_f \approx d_b, d_o, d_1 \leq d_b, \bar{b}_f \approx \bar{b}_b, \bar{b}_o, \bar{b}_1.$$

Можно считать, что этим задано некоторое «эталонное изображение», полученное реальной аппаратурой в

идеальных условиях наблюдения. Так, например, всему изображению будут соответствовать параметры D_f и \bar{B}_f , а объекту - D_o и \bar{B}_o . В рассматриваемом случае, когда яркость отдельной точки изображения может принимать значения 0...255, параметры D и \bar{B} также лежат в указанном диапазоне. Поэтому вместо D и \bar{B} можно использовать нормированные безразмерные значения $d = D/255$ и $\bar{b} = \bar{B}/255$, принимающие значения 0...1.

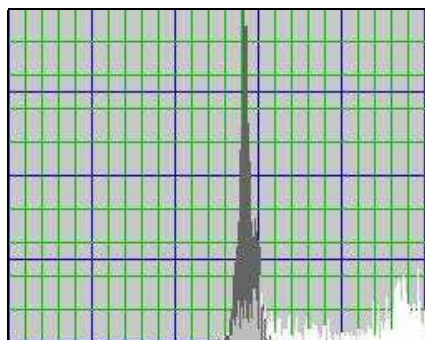


Рис. 4. Гистограммы яркости: объект – светлый, локальный фон – темный

идеальных условиях наблюдения.

Возможные модификации наблюдаемой сцены и способы их параметризации в ходе обработки изображения содержит Таблица 1. Параметризация обеспечивается применением алгоритмов обработки, обеспечивающих инвариантность процесса обнаружения к ожидаемым изменениям наблюдаемой сцены – адаптацию системы обнаружения. Данная таблица не претендует на полноту описания всех возможных способов адаптации, а иллюстрирует приемы, использованные при создании конкретной системы видеонаблюдения, обнаружение в которой основано на распознавании объекта заданного класса по форме.

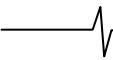
Таблица 1

Возможные модификации наблюдаемой сцены	Способы параметризации модификации наблюдаемой сцены при обработке изображения
Изменение условий наблюдения, влияющих на яркость и контрастность изображения	Нормализация яркости изображения на базе анализа гистограммы распределения яркости
Изменения цвета объекта	Замена полутонового изображения бинаризованным за счет выделения границ перепадов яркости при помощи локального оператора с
Изменение масштаба (размера) объекта на изображении	Выражение размеров элементов объекта в относительных единицах (в частях от наибольшего размера объекта)
Изменение положения объекта на изображении	Выделение для последующей обработки на изображении локальной области объекта
Изменение ориентации объекта на изображении	Приведение изображения объекта к «стандартной» ориентации за счет вращения локальной области изображения
Изменения облика, ракурса объекта (внутри класса)	Использование обучаемого распознавания формы объекта, представляемой в виде «проволочной модели»

Примечания: Увеличение диапазона яркости изображения (или локального участка) до максимально возможного значения. Каждая точка бинаризованного изображения может принимать одно из значений: «0» – в этой точке полутонового изображения нет перепада яркости или «1» – перепад яркости есть.

Чтобы отработать (и/или протестировать) систему видеонаблюдения и, в частности, процедуру нормализации яркости изображения (Таблица 1), требуются тестовые последовательности изображений, отличающиеся условиями наблюдений. Можно сказать, что от рассмотренного выше «идеального»

изображения нужно перейти к изображению, соответствующему условиям наблюдения, которые могут иметь место на практике. Наиболее типичными факторами, вызывающими ухудшение изображения, являются туман, осадки (дождь, снег), недостаток освещения.



Поскольку на практике не всегда есть возможность получить изображения, соответствующие требуемому диапазону указанных факторов, предлагается способ их имитации, позволяющий требуемым образом изменять эталонное изображение. В дальнейшем параметры, соответствующие измененным условиям наблюдения, будут маркироваться дополнительным индексом "r".

Для количественной оценки изменения средней яркости изображения и ширины гистограммы яркости удобно использовать параметры $\Delta B_f = (B_f - B_{fr})$ и $\Delta D_f = (D_f - D_{fr})$ соответственно. Или, переходя к безразмерным величинам, $\Delta \bar{b}_f = (\bar{b}_f - \bar{b}_{fr})$ и $\Delta d_f = (d_f - d_{fr})$.

Обычно телевизионная камера, используемая для формирования изображений, имеет систему автоматической регулировки усиления, поддерживающую значение средней яркости изображения (\bar{B}_f) неизменным. В этих условиях влияние «тумана» при достаточном освещении можно представить как уменьшение ширины гистограммы яркости всего изображения: $\Delta \bar{b}_f = 0$, $\Delta d_f > 0$. При недостаточном освещении влияние тумана можно учесть путем уменьшения ширины гистограммы яркости и одновременного уменьшения средней яркости изображения: $\Delta \bar{b}_f > 0$, $\Delta d_f > 0$.

Недостаток освещения в отсутствие тумана приводит сначала к снижению средней яркости изображения: $\Delta \bar{b}_f > 0$, $\Delta d_f = 0$. После того, как минимальная яркость изображения достигнет нулевого значения, кроме снижения средней яркости изображения начнется уменьшение ширины гистограммы яркости: $\Delta \bar{b}_f > 0$, $\Delta d_f > 0$.

Осадки можно представить в виде композиции тумана и появления на изображении совокупности капель – малоразмерных объектов, по форме близких к кругу, и имеющих яркость B_S (не рассматриваются такие специфические факторы, как блики, имеющие место при наблюдении, например, асфальтового покрытия при дожде или в свете фар транспортных средств). Для актуального случая, когда телевизионная камера, формирующая изображение, смотрит сверху вниз, можно принять, что диаметр отдельных капель имеет значение, равномерно распределенное в пределах

1...S точек изображения. Например, для изображения форматом 384×288 по результатам исследований размер капель принимается равным $S = 5$. При этом общее количество капель задается как вероятность (f_S), с которой каждая из равномерно распределенных по площади изображения $1/S^2$ точек является центром капли. В итоге совокупность капель задается параметрами

$$B_S = B_{\min} \dots B_{\max}, S \approx 5, f_S = 0 \dots 1.$$

Таким образом, для того, чтобы учесть влияние условий наблюдения ($D_{fr}, \Delta \bar{B}_{fr}$) на исходное (эталонное) изображение (D_f, \bar{B}_r) следует скорректировать яркость каждой его точки – $b(x, y)$ в соответствии со следующим алгоритмом:

- оценить среднюю яркость (\bar{B}_f) и ширину гистограммы яркости (D_f) изображения $b(x, y)$;
- скорректировать контрастность изображения $b(x, y)$, используя соотношение

$$b_1(x, y) = \left(b(x, y) \cdot \frac{D_{fr}}{D_f} \right);$$

- оценить \bar{B}_{f1} – среднюю яркость изображения $b_1(x, y)$;

- скорректировать яркость изображения $b_1(x, y)$ в соответствии с выражением

$$b_2(x, y) = b_1(x, y) - \Delta \bar{B}_{f1} + \bar{B}_f - \Delta \bar{B}_{fr}.$$

Изображение $b_2(x, y)$, сформированное из эталонного указанным способом, будет соответствовать заданным условиям наблюдения ($D_{fr}, \Delta \bar{B}_{fr}$). Аналогично можно корректировать и другие указанные выше яркостные характеристики изображения.

Рис.5, 7 и 9 поясняют результаты, полученные рассмотренным способом из изображения, представленного на рис.1. Гистограммы распределения яркости объекта и локального фона для указанных изображений содержат рис.6, 8 и 10, соответственно. Результаты моделирования дождевых капель иллюстрируют рис.11 и 12. Яркостные характеристики рассмотренных изображений содержит Таблица 2.



Рис. 5. Ширина гистограммы уменьшена вдвое, средняя яркость сохранена

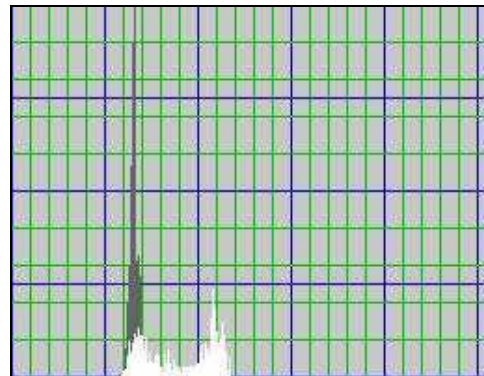


Рис. 6. Гистограммы яркости: объект – светлый, локальный фон – темный



Рис. 7. Ширина гистограммы сохранена, средняя яркость максимально уменьшена

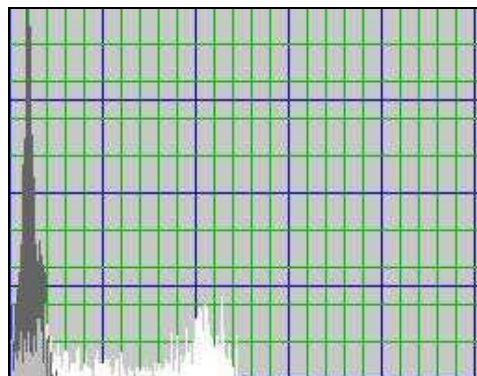


Рис. 8. Гистограммы яркости: объект (светлый), локальный фон (темный)

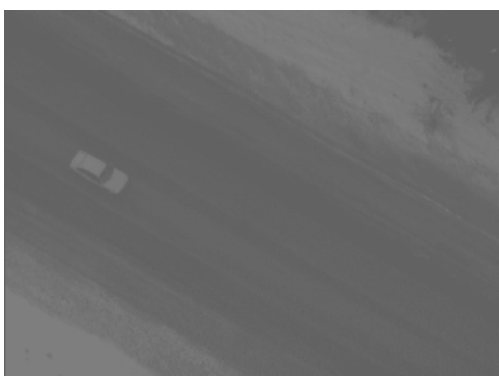


Рис. 9. Ширина гистограммы уменьшена вдвое, средняя яркость максимально уменьшена

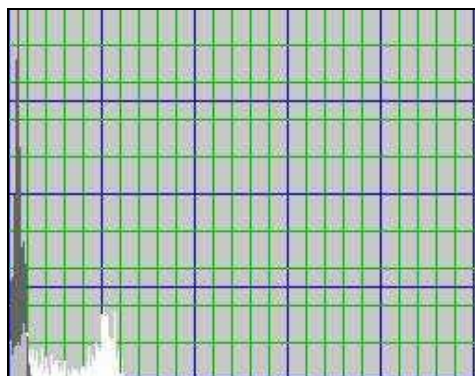


Рис. 10. Гистограммы яркости: объект – светлый, локальный фон – темный



Рис. 11. Осадки 10%



Рис. 12. Осадки 30%

Таблица 2

Количественные характеристики изображений

Изображение	$\bar{B}_{f(r)}$	$\bar{B}_{o(r)}$	$\bar{B}_{l(r)}$	$D_{f(r)}$	$D_{o(r)}$	$D_{l(r)}$	$\Delta\bar{B}_{f(r)}$	$\Delta D_{f(r)}$	B_S	S	f_S
Рис.1	168	196	143	120	120	40	0	0	–	–	0
Рис. 5	169	183	156	60	60	10	0	60	–	–	0
Рис. 7	36	64	11	120	120	20	132	0	–	–	0
Рис. 9	18	31	5	60	60	10	150	60	–	–	0
Рис. 11	168	196	143	120	120	40	0	0	B	5	0,1
Рис. 12	168	196	143	120	120	40	0	0	B	5	0,3

Примечание: $B \approx |\bar{B} - B(x, y)|$



Предложенный подход к учету условий наблюдения позволяет проводить отработку и тестирование алгоритмов обработки изображения с целью обеспечения их работы в широком диапазоне условий наблюдения. При этом скорректированные указанным способом последовательности изображений подаются на вход системы обнаружения объектов.

Качество обнаружения оценивалось в виде отношения f_r / f , где f – число кадров, на которых произошло обнаружение для последовательностей исходных («эталонных») изображений (D_f, \bar{B}_f), а f_r – число кадров, на которых происходило обнаружение для последовательностей изображений, скорректированных для заданных условий наблюдения (D_{f_r}, \bar{B}_{f_r}). Относительная величина f_r / f характеризует изменения качества работы алгоритма обнаружения в заданных условиях наблюдения по сравнению с эталонными.

Результаты оценок величины f_r / f для случаев уменьшения ширины гистограммы яркости (усиление тумана), снижения средней яркости (уменьшение освещенности), увеличения интенсивности осадков содер-

жат Таблица 3, 4 и 5 соответственно. Эти таблицы иллюстрируют степень зависимости использованных алгоритмов обработки изображения от условий наблюдения, что позволяет использовать описанный подход для отработки алгоритмов обработки изображения.

Следует отметить, что Таблица 4 содержит значение $f_r / f > 100\%$. Это говорит о том, что изображение, принятое за эталонное, не является наилучшим с точки зрения обеспечения обнаружения объекта при использовании выбранного способа обработки. Следовательно, используемый подход позволяет не только оценить качество работы конкретной системы видеонаблюдения, но и определить наилучшие для нее условия наблюдения.

Таким образом, работоспособность системы видеонаблюдения в широком диапазоне условий наблюдения предлагается обеспечивать за счет использования при обработке изображений адаптивных алгоритмов, а отработку этих алгоритмов вести по изображениям, полученным на основании изложенного подхода к имитации условий наблюдения.

Таблица 3

Зависимость показателей обнаружения от ширины гистограммы яркости

D_{f_r}	D_{f_r} / D_f	\bar{B}_{f_r}	f_r / f
130	100%	168	100%
104	80% (1/1,25)	168	50%
86	66%(1/1,5)	168	25%
74	57%(1/1,75)	168	0%
65	50%(1/2)	168	0%

Таблица 4

Зависимость показателей обнаружения от средней яркости

D_{f_r}	\bar{B}_{f_r}	$\bar{B}_{f_r} / \bar{B}_f$	f_r / f
130	168	100%	100%
130	138	82%	187%
130	108	78%	100%
130	78	46%	25%

Таблица 5

Зависимость показателей обнаружения от интенсивности осадков

f_s	B_s	S	f_r / f
0	–	–	100%
10	B	5	87%
20	B	5	25%
30	B	5	12%

Литература

1. О.Ю.Аксенов. Описание наблюдаемой сцены. // VIII Международная конференция “Цифровая обработка сигналов и ее применение” (DSPA-2006). // Труды НТОРЭС им. А.С.

2. Попова. Серия “Цифровая обработка сигналов и ее применение”. Выпуск VIII-2, стр.351-356. М.,2006.
3. Ю.И.Фивенский, М.К.Наумкин. Аэрокосмическая фотография. М.,МГУ 1987 г. 140 с.