



Р.Р. Диязитдинов, Н.Н. Васин

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕННОСТИ

(ФГОБУ ВПО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)

Для систем видеоаналитики важной задачей является обнаружение появляющихся на видеоизображении объектов. Алгоритмы, решающие данную задачу, получили название «вычитания фона». Одной из проблем обнаружения объектов в подобных алгоритмах является нестабильность яркостных характеристик, которые приводят к изменениям освещенности, что увеличивает вероятность пропуска цели и ложного обнаружения. Для борьбы с этим явлением используется компенсация изменений освещенности (см. рис. 1 [1]).



Рис. 1. Обнаружение объектов при изменяющейся освещенности:
без компенсации изменений освещенности (а), с компенсацией (б)

Проблема изменений освещенности приводит к тому, что яркость всего изображения меняется (см. рис. 2). На рисунке показаны два кадра с камеры наблюдения в близкие моменты времени и отмечена область изображения, в которой отсутствуют посторонние объекты (автомобили). Заметно, что на рис. 2 а, область светлее, чем на рис. 2 б. Эту мысль подтверждают и гистограммы яркости этих областей. Из них видно, что гистограмма на рис. 2 г смещена влево относительно гистограммы на рис. 2 в и является «более узкой». Подобное явление имеет место тогда, когда происходит изменение яркости и контрастности изображения.

На рис. 3 построена зависимость между яркостями одних и тех пикселей с двух различных кадров. Как можно видеть из рисунка, зависимость хорошо описывается прямой « $y = \alpha x + \beta$ », где α определяет контрастность, β – яркость освещенности.

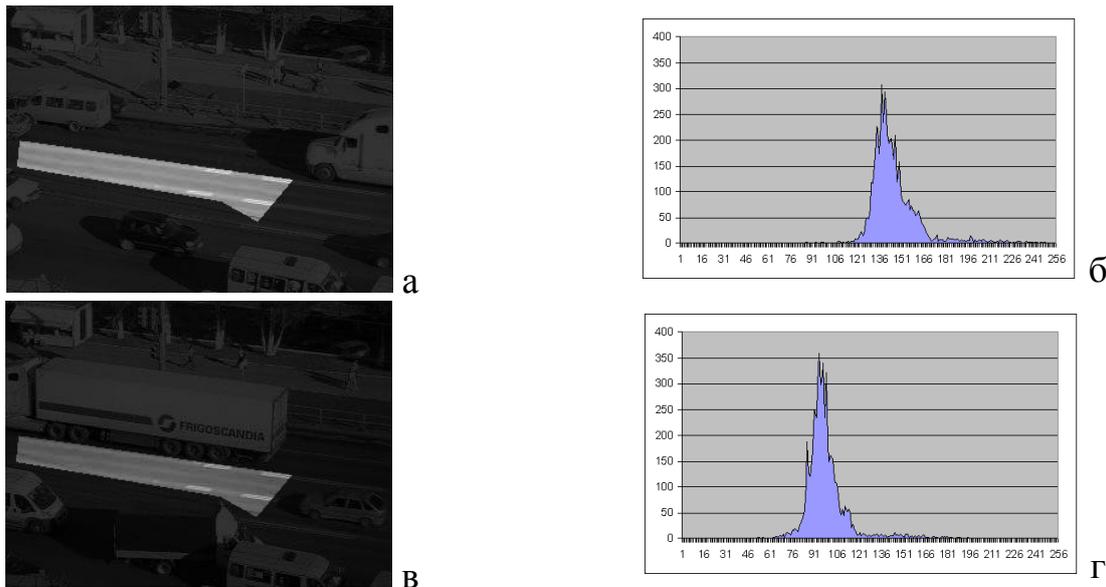


Рис. 2. Изменения освещенности: область изображения (а, в) и их гистограммы (б, г) на двух кадрах, идущих в близкие моменты времени

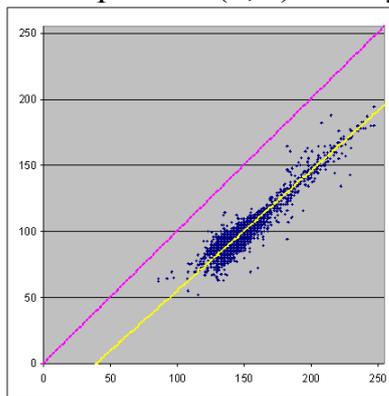


Рис. 3. Точки, выделенные синим цветом, получены следующим образом: координаты X соответствует яркости пикселя на кадре 1 (рис. 2а), координата Y – на кадре 2 (рис. 2в), желтая линия – аппроксимация точек, сиреневая линия соответствует неизменным условиям освещенности

Для решения проблемы изменения освещенности, был разработан алгоритм на основе вероятностных методов, который получил название «байесовского». Подробный вывод выражений байесовского алгоритма описан в статье [2]. Алгоритм состоит из трех этапов (см. рис. 4).

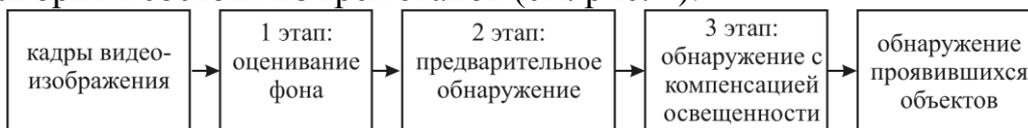


Рис. 4 – Алгоритм вычитания фона с компенсацией освещенности

На первом этапе по последовательности кадров оценивается изображение фона, для каждого пикселя в отдельности с использованием формулы:

$$\hat{m}_b = \arg \max_{m_b} \left[\sum_{i=1}^k \ln \left(P(H_b | x_i) \right) \right] \quad (1)$$

где $P(H_b | x_i)$ и $P(H_f | x_i)$ – плотности распределения яркостей для «фона» и «объекта контроля» при изменяющейся освещенности; $P(H_b)$ и $P(H_f)$ – априорные вероятности наличия сигнала «фона» и «объекта контроля»; \hat{m}_b – оценка яркости фона; x_i – значение яркости пикселя изображения в i -тый момент времени,



$i=1,2..k$, k – количество изображений, используемых для оценки изображения фона.

$$p(H_b, m_b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_\beta^2 + \sigma_n^2 + \sigma_\alpha^2 m_b^2)}} \times \exp\left(-\frac{(I - m_b)^2}{2(\sigma_\beta^2 + \sigma_n^2 + \sigma_\alpha^2 m_b^2)}\right) \quad (2)$$

$$p(H_f) = \frac{C_\alpha}{2(f_{\max} - f_{\min})\sqrt{2\pi\sigma_\alpha}} \times \int_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} \frac{1}{\alpha} \left[\Phi\left(\frac{x - \alpha \cdot f_{\min}}{\sigma_\beta^2 + \sigma_n^2}\right) - \Phi\left(\frac{x - \alpha \cdot f_{\max}}{\sigma_\beta^2 + \sigma_n^2}\right) \right] \times \exp\left(-\frac{(I - m_\alpha)^2}{2\sigma_\alpha^2}\right) d\alpha \quad (3)$$

где $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ – функция Крампа,

$\sigma_\alpha, \sigma_\beta$ – СКО контрастности (α) и яркости (β) изображения при изменении освещенности; $\alpha_{\min}, \alpha_{\max}$ – минимальное и максимальное значение контрастности; f_{\min}, f_{\max} – минимальное и максимальное значение яркости, фиксируемое видеокамерой; σ_n – флуктуации яркости пикселей;

$$C_\alpha = \frac{1}{\int_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_\alpha}} \exp\left(-\frac{(I - m_\alpha)^2}{2\sigma_\alpha^2}\right) d\alpha} - \text{нормирующий множитель.}$$

На втором этапе происходит предварительное обнаружение согласно формулам:

$$\Lambda(H_b) > \eta, \quad \Lambda(H_b) = \frac{p(H_b)}{p(H_f)}, \quad \eta = \frac{P(H_f)}{P(H_b)} \quad (4)$$

где $\Lambda(H_b)$ – отношение правдоподобия, η – порог обнаружения.

На третьем этапе для определения появления объекта контроля с учетом изменений освещенности, чтобы компенсировать влияние α и β , производится их оценка:

$$\hat{\alpha} = \frac{Z \cdot M - S_x \cdot S_b}{E_b \cdot M - S_b^2}, \quad \hat{\beta} = \frac{E_b \cdot S_x - Z \cdot S_b}{E_b \cdot M - S_b^2}, \quad E_b = \sum_{j=1}^M u_{b,j}^2, \quad Z = \sum_{j=1}^M u_{j,m_{b,j}}, \quad S_x = \sum_{j=1}^M u_{j,x}, \quad S_b = \sum_{j=1}^M u_{b,j} \quad (5)$$

Для получения качественных результатов обнаружения, используется итерационная процедура, при которой несколько раз оцениваются $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$, которые используются для повторного обнаружения. Недостатком данной процедуры является низкая скорость обработки вследствие «итерационности». Для повышения скорости обработки был использован фильтр Калмана, позволяющий оценивать параметры $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$ «за один проход».

На рис. 5 представлены временные графики α и β . Как видно из представленных графиков, функции представляют собой случайный процесс, при этом приращение функции при переходе от кадра к кадру достаточно мало. Чтобы определить характер приращений, вычислим разность в соседних отсчетах и построим их гистограммы (см. рис. 6). Как видно из гистограмм, приращения имеют распределения в виде колокола и напоминают нормальное рас-



пределение. С учетом этого, фильтр Калмана будет эффективным для оценки параметров α и β .

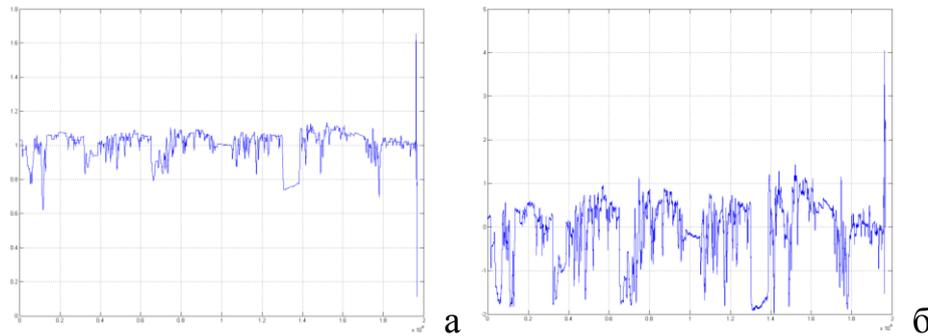


Рис. 5. Графики контрастности α (а) и яркости β (б) от номера кадра

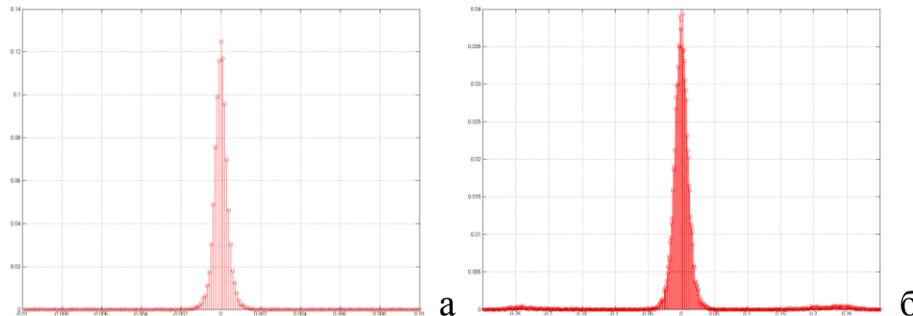


Рис. 6. Гистограммы приращений контрастности α (а) и яркости β (б)

Фильтр Калмана для одного параметра имеет вид:

Предсказание:

$$\hat{x}_k^- = F\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1}$$

$$P_k^- = FP_{k-1}F + Q$$

Корректировка:

$$K_k = \frac{P_k^- H}{HP_k^- H + R}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H\hat{x}_k^-)$$

$$P_k = (I - K_k H) P_k^-$$

F – матрица перехода между состояниями, B – матрица управляющего воздействия, \hat{x}_{k-1}^- – состояние системы в прошлый момент времени, \hat{x}_k^- – состояние системы в текущий момент времени, P_k^- – предсказание ошибки, P_{k-1} – ошибка ковариации в прошлый момент времени, H – матрица определяющая отношение между измерениями и состоянием системы, R – ковариация шума измерения, K_k – усиление Калмана, z_k – измерение в текущий момент времени

Для контрастности α , были подобраны параметры фильтра Калмана:

$$F = [1], Q = [0,001], H = [1], R = [0,003], B = [0].$$

Аналогично, для яркости β :

$$F = [1], Q = [0,017], H = [1], R = [0,040], B = [0].$$

Как показали опыты, использование фильтра Калмана позволило увеличить скорость обработки, при этом результаты обнаружения практически не изменились в сравнении с итерационной процедурой.

Литература

1. ZuWhan Kim, Real Time Object Tracking based on Dynamic Feature Grouping with Background Subtraction, CVPR 2008.



2. Дязитдинов Р.Р. Алгоритм оценивания заднего плана и обнаружения движущихся объектов по критерию байесовского среднего риска при съемке стационарной камерой, Т-Сотт, № 10, г. Москва, 2011