

УДК 629.705 : 621.391.268

Б. А. Алпатов, А. Н. Блохин

(Рязань)

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ВЫДЕЛЕНИЯ  
ДВИЖУЩИХСЯ ФРАГМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

На основе введенных моделей получен алгоритм обнаружения и выделения движущегося фрагмента изображения, использующий процедуры оценки фона, прогноза вероятностей, классификации и логической фильтрации, ориентированный на малые отношения сигнал/шум и неоднородное изображение фона.

В ряде приложений, связанных с обработкой информации в реальном масштабе времени, возникают задачи обнаружения, выделения и измерения координат движущихся объектов в последовательности наблюдаемых изображений. При этом наиболее часто применяются методы, основанные на использовании межкадровых разностей и способах выделения следов [1—3]. Однако эффективность этих методов, имеющих эвристическое происхождение, снижается при обнаружении малококонтрастных объектов.

В данной работе поставленная задача формулируется и решается как задача оценки параметров, связанных с изображением, на основе выявления значимых изменений в наблюдаемой последовательности кадров изображения.

**Модели состояния и наблюдения.** Воспользуемся вариантом нелинейной дискретной модели наблюдения, примененной в [4]:

$$l(i, j, n) = (r_1(i, j, n) + r_2(i, j, n))h(i, j, n) + r_3(i, j, n)g(i, j, n) + \xi(i, j, n), \quad (1)$$

где  $l(i, j, n)$  — наблюдаемые значения яркости в точке  $(i, j)$  в  $n$ -м кадре;  $h(i, j, n)$ ,  $g(i, j, n)$  — соответственно яркости точек объекта и фонового изображения;  $\xi(i, j, n)$  —  $N(0, D)$ -шум, некоррелированный по пространству и времени;  $r_\mu(i, j, n) = \{0, 1\}$ ,  $\mu = \overline{1, 3}$ ;  $r_1(i, j, n) = 1$  соответствует наличию в точке  $(i, j)$  объекта, более яркого, чем фон,  $r_2(i, j, n) = 1$  соответствует тому, что в точке  $(i, j)$  фон ярче объекта;  $r_3(i, j, n) = 1$  означает, что в точке  $(i, j)$  в  $n$ -м кадре объект отсутствует;

$$r_1(i, j, n) \vee r_2(i, j, n) \vee r_3(i, j, n) = 1;$$

$$r_1(i, j, n) \wedge r_2(i, j, n) = 0;$$

$$r_2(i, j, n) \wedge r_3(i, j, n) = 0;$$

$$r_1(i, j, n) \wedge r_3(i, j, n) = 0.$$

Модель состояния яркости фонового изображения принимается в виде

$$g(i, j, n) = g(i, j, n - 1),$$

где  $g(i, j, 0)$  — гауссова пространственно независимая случайная величина с известными положительным средним и дисперсией. С учетом большой априорной неопределенности в отношении параметров (размеры, яркость и т. п.), характеризующих обнаруживаемые объекты, будем считать, что объект представляет собой группу точек и отличается по яркости от фона не менее чем на некоторую величину  $\delta$ , которая может быть как положительной, так и отрицательной.

Введем вероятности  $P(i, j/k, m)$  перемещения объекта из точки  $(k, m)$  в точку  $(i, j)$  за один кадр. Тогда прогнозируемая вероятность присутствия объекта в точке  $(i, j)$  может быть вычислена с помощью выражения

$$\bar{P}(i, j, n) = \sum_{k, m} P(k, m, n - 1)P(i, j/k, m), \quad (2)$$

причем

$$\sum_{k, m} P(i, j/k, m) = 1.$$

Выражение (2) содержит в себе механизм передачи вероятности в направлении движения обнаруживаемого объекта.

Если речь идет об обнаружении появляющегося и движущегося медленно (в сравнении с темпом формирования кадров изображения) объекта, модель (2) может быть упрощена и представлена в виде

$$\bar{P}(i, j, n) = P(i, j, n - 1).$$

**Решение.** Будем решать задачу обнаружения и выделения движущегося объекта как задачу оценки параметров  $g(i, j, n)$  и  $r_\mu(i, j, n)$ .

Пусть прогнозируемое распределение

$$\bar{W}(r_\mu(i, j, n)) = \{\bar{P}_1(i, j, n), \bar{P}_2(i, j, n), \bar{P}_3(i, j, n)\}$$

представляет собой прогнозируемые вероятности для трех отмеченных выше ситуаций в каждой точке. Используя свойства ранее введенных моделей и метод максимума апостериорной плотности, после логарифмирования приходим к необходимости отыскания глобального минимума критерия

$$J = \sum_{i, j \in L_n} ((g(i, j, n) - \bar{g}(i, j, n))^2 / \bar{D}_g(i, j, n) - 2 \ln \bar{W}(r_\mu(i, j, n)) + (l(i, j, n) - S(i, j, n))^2 / D), \quad (3)$$

где

$$S(i, j, n) = r_1(i, j, n)(g(i, j, n) + \delta) + r_2(i, j, n)(g(i, j, n) - \delta) + r_3(i, j, n)g(i, j, n);$$

$\bar{g}(i, j, n)$ ,  $\bar{D}_g(i, j, n)$  — прогнозируемые значения яркостей и дисперсий яркостей точек фона;  $L_n$  — наблюдаемое изображение.

При записи (3) с целью упрощения алгоритма решения задачи сделано допущение о пространственной независимости параметров  $r_\mu(i, j, n)$ .

Будем считать, что к моменту появления движущегося объекта имеются «хорошие» оценки яркости точек фона, т. е.  $g(i, j, n) \approx \bar{g}(i, j, n)$ . Очевидно, что в этом случае возможна поточечная минимизация критерия (3) путем минимизации выражений

$$J_{ij} = -2\ln\bar{W}(r_\mu(i, j, n)) + (l(i, j, n) - r_1(i, j, n)(\bar{g}(i, j, n) + \delta) - r_2(i, j, n)(\bar{g}(i, j, n) - \delta) - r_3(i, j, n)\bar{g}(i, j, n))^2/D; \quad i, j \in L_n. \quad (4)$$

Из (4) следует, что для  $r_1(i, j, n) = 1; r_2(i, j, n) = 0; r_3(i, j, n) = 0$

$$J_{1ij} = -2\ln\bar{P}_1(i, j, n) + (l(i, j, n) - \bar{g}(i, j, n) - \delta)^2/D, \quad (5)$$

для  $r_1(i, j, n) = 0; r_2(i, j, n) = 1; r_3(i, j, n) = 0$

$$J_{2ij} = -2\ln\bar{P}_2(i, j, n) + (l(i, j, n) - \bar{g}(i, j, n) + \delta)^2/D, \quad (6)$$

для  $r_1(i, j, n) = 0; r_2(i, j, n) = 0; r_3(i, j, n) = 1$

$$J_{3ij} = -2\ln\bar{P}_3(i, j, n) + (l(i, j, n) - \bar{g}(i, j, n))^2/D. \quad (7)$$

Из сравнения (5)—(7) выбирается выражение, имеющее минимальное значение, а соответствующее значение  $r_\mu(i, j, n)$  принимается в качестве оценки. Удобнее, однако, сразу вычислить апостериорные вероятности гипотез и по ним принять соответствующее решение по максимуму вероятности. Вычисления проводятся в соответствии с выражением

$$\hat{P}_\mu(i, j, n) = \frac{\bar{P}_\mu(i, j, n)F_\mu}{\sum_\mu \bar{P}_\mu(i, j, n)F_\mu}, \quad \mu = \overline{1, 3},$$

где  $F_1 = F(l(i, j, n)/\bar{g}(i, j, n) + \delta)$ ;  $F_2 = F(l(i, j, n)/\bar{g}(i, j, n) - \delta)$ ;  $F_3 = F(l(i, j, n)/\bar{g}(i, j, n))$  — условные гауссовы распределения с дисперсией  $D$ . При этом предполагается, что дисперсия оценки  $\bar{g}(i, j, n)$  существенно меньше дисперсии шума на изображении. Прогнозируемые вероятности  $\bar{P}_\mu(i, j, n)$  могут быть вычислены на основе модели переходов (2)

$$\bar{P}_\mu(i, j, n) = \sum_{k, m} \hat{P}_\mu(k, m, n-1)P(i, j/k, m), \quad \mu = \overline{1, 2};$$

$$\bar{P}_3 = 1 - \bar{P}_1 - \bar{P}_2.$$

После решения задачи классификации точек изображения на точки фона и объекта дальнейшая оптимизация критерия (3) сводится к минимизации выражения

$$J_G = \sum_{i, j \in G_n} ((g(i, j, n) - \bar{g}(i, j, n))^2/\bar{D}_g(i, j, n) + (l(i, j, n) - g(i, j, n))^2/D)$$

по точкам, классифицированным как точки фона. Минимизация состоит в уточнении оценок яркостей точек фона в соответствии с уравнением линейного фильтра Калмана:

$$\hat{g}(i, j, n) = \bar{g}(i, j, n) + \frac{\bar{D}_g(i, j, n)}{D + \bar{D}_g(i, j, n)} (l(i, j, n) - \bar{g}(i, j, n)), \quad (8)$$

где в соответствии с моделью (2)

$$\begin{aligned} \bar{g}(i, j, n) &= \hat{g}(i, j, n - 1); & \bar{D}_g(i, j, n) &= \hat{D}_g(i, j, n); \\ \hat{D}_g(i, j, n) &= D\bar{D}_g(i, j, n)/(D + \bar{D}_g(i, j, n)). \end{aligned}$$

Для точек фона, которым соответствуют  $\hat{r}_3(i, j, n) = 0$ , оценки яркостей не меняются:  $\hat{g}(i, j, n) = \bar{g}(i, j, n) = \hat{g}(i, j, n - 1)$ .

Необходимо отметить, что на первом этапе работы должны быть получены начальные оценки фона в соответствии с (8). Для отслеживания возможных медленных изменений фонового изображения целесообразно ограничить память фильтров (8) на некотором уровне.

В ходе работы алгоритма нарастает апостериорная вероятность в точках, принадлежащих движущемуся фрагменту изображения. Решение об обнаружении движущегося объекта принимается при превышении вероятностью  $P_\mu(i, j, n)$ ,  $\mu = 1, 2$ , некоторого порогового значения  $P_{\text{пор}}$ , выбираемого исходя из допустимой вероятности ложной тревоги.

Если имеется априорная информация о размерах, площади или других параметрах, характеризующих движущийся объект, то она может быть учтена при принятии решения, так как вычисление этих параметров для выделенных фрагментов не составляет трудностей. При отсутствии априорной информации о скорости и направлении движения обнаруживаемого объекта целесообразным является одновременное использование нескольких матриц переходов с различными элементами  $P(i, j/k, m)$ .

С целью исследования характеристик предложенного алгоритма проводилось статистическое моделирование с использованием искусственных изображений.

Отмечено, что с увеличением размеров обрабатываемого изображения увеличивается количество ложных превышений  $P_\mu(i, j, n)$ ,  $\mu = 1, 2$ , величины  $P_{\text{пор}}$  в отдельных изолированных точках. Поэтому, считая, что обнаруживаемый объект занимает несколько соседних элементов, целесообразным оказалось включение в алгоритм обработки логической фильтрации единичных элементов в матрице, получаемой после сравнения  $P_\mu(i, j, n)$  с  $P_{\text{пор}}$ .

Выбор величины  $\delta$  зависит от точности оценки фонового изображения. Необходимо, чтобы  $\delta$ , по крайней мере, в 2 раза превышала максимально возможное отклонение оценки фона. Среднее время обнаружения зависит от достоверности априорной информации о скорости и направлении движения объекта и снижается с увеличением размеров объектов с 4-5 кадров до одного при отношениях сигнал/шум порядка 1,5—2.

Сравнение с алгоритмами, основанными на вычислении межкадровых разностей, показывает, что предложенный алгоритм, использующий процедуры оценки фона, прогноза вероятностей, классификации на основе апостериорных вероятностей, логической фильтрации, сохраняет в отличие от них работоспособность при малых отношениях сигнал/шум и наличии неоднородного фонового изображения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2538653 Франция, МКИ Н 04 N 3/22, 7/00, 1984.
2. Rajala S. A., Riddle A. H., Snyder W. E. Application of the one-dimensional Fourier transform for tracking moving objects in noisy environments // Comput. VIS. Graph. and Image Process. 1983. 21. P. 280.
3. Gowart A. E., Snyder W. E., Ruedger W. H. The detection of unresolved targets using the Hough transform // Ibid. P. 222.
4. Алпатов Б. А. Оптимальное оценивание параметров движущегося объекта в последовательности изображений // Автометрия. 1994. № 2.

*Поступила в редакцию 20 марта 1995 г.*

---

---

---

**Реклама продукции в нашем журнале — залог Вашего успеха!**