

УДК 004.932.2

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОСТАВЛЕННЫХ ПРЕДМЕТОВ

В. А. Иванов, В. С. Киричук, С. И. Орлов

*Учреждение Российской академии наук
Институт автоматизи и электрометрии Сибирского отделения РАН,
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 1
E-mail: vaivanov@iae.nsk.su*

Предложен новый алгоритм обнаружения оставленных предметов, основанный на анализе пространственно-временных характеристик фона, фона стационарных объектов и текущего изображения видеопоследовательности. Алгоритм сохраняет работоспособность при кратких перекрытиях оставленного предмета, имеет невысокую вычислительную сложность и предназначен для использования в системах видеонаблюдения.

Ключевые слова: алгоритм, изображения, обработка, оставленный предмет, фон, детектор.

Введение. Выделение движущихся объектов по последовательности изображений является базовой задачей для охранных систем. В работе [1] дан обзор подходов к оцениванию стационарного фона, который используется для разделения пикселей текущего изображения на два класса: фон и подвижные объекты. В [2] рассматриваются сложившиеся схемы удаления фона, методы обнаружения подвижных объектов и их распознавания. Конкретные реализации детекторов движения на основе вычисления фона приведены в работах [3–6].

Несмотря на множество предложенных решений [7–11] (в основном эвристических) к настоящему времени не удалось создать полного набора детекторов различных ситуаций, в частности детектора оставленных предметов. Разработка надёжных детекторов обнаружения и распознавания тревожных ситуаций важна для общественной безопасности.

Целью данной работы является создание алгоритма обнаружения оставленных предметов.

Постановка задачи. Необходимо по регистрируемой последовательности изображений $I_t(i, j)$ ($i = \overline{1, H}$, $j = \overline{1, W}$, где H и W — число строк и длина строки изображения соответственно; t — номер кадра в последовательности) анализируемой сцены определить наличие оставленных предметов. Сцена содержит квазистационарный фон, движущиеся объекты, и на сцене возможно появление оставленных предметов. Для построения алгоритма выявления оставленных предметов необходимо анализировать пространственно-временные характеристики кадров видеопоследовательности. Будем полагать, что оставленным предметом считается связная совокупность точек изображения, геометрические характеристики которых лежат в заданных пределах и не меняются в течение заданного интервала времени, их яркость квазипостоянна на том же интервале времени. Квазипостоянство яркости обусловлено медленным изменением характеристик сцены и зависит от вида освещения (естественного или искусственного) и изменения прозрачности окружающей среды. Исходя из характеристик сцены и оставленных предметов необходимо определить принадлежность точек текущего изображения: точки принадлежат фону, движущемуся объекту или оставленному предмету.

Для маркировки точки введём индикатор

$$K_t(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{(принадлежит оставленному предмету),} \\ 0 & \text{(принадлежит фону),} \\ -1 & \text{(принадлежит движущемуся объекту),} \end{cases}$$

где индекс t соответствует текущему кадру, а $(t - 1)$ — предыдущему.

Для определения времени «неподвижности» оставленного предмета требуется ввести счётчик числа кадров, участвующих в формировании изображения оставленного предмета (стационарного объекта) $N_O(i, j)$. Кроме того, необходимо иметь: $F_B(i, j)$ — изображение стационарного фона; $F_O(i, j)$ — изображение стационарных объектов (оставленных предметов); $N_B(i, j)$ — число кадров, участвующих в формировании стационарного фона в точке (i, j) изображения $F_B(i, j)$.

Алгоритм выделения стационарных объектов. Основная идея алгоритма заключается в сравнении текущего изображения $I_t(i, j)$ с изображениями фона и стационарных объектов [7].

Определим критерий близости из двух величин, которые (в нашем случае) для полутонных изображений представляют собой модуль разности фона и текущего изображения ($\Delta_B(i, j) = |F_B(i, j) - I_t(i, j)|$) и модуль разности изображения стационарных объектов и текущего кадра ($\Delta_O(i, j) = |F_O(i, j) - I_t(i, j)|$).

Для RGB-изображений критерий близости рассчитывается в трёхмерном пространстве, например как в [7].

При анализе $\Delta_B(i, j)$, $\Delta_O(i, j)$ возможно возникновение четырёх ситуаций:

- 1) $I_t(i, j)$ близко к фону и стационарному объекту;
- 2) $I_t(i, j)$ близко к фону и отличается от стационарного объекта;
- 3) $I_t(i, j)$ близко к стационарному объекту и отличается от фона;
- 4) $I_t(i, j)$ отличается от фона и стационарного объекта.

Рассмотрим эти ситуации, но в отличие от [7] будем учитывать предысторию принадлежности точек.

1. Яркость точки $I_t(i, j)$ близка к фону и стационарному объекту: $\Delta_O(i, j) < C_O$ & $\Delta_B(i, j) < C_B$, где C_B , C_O — выбранные пороговые уровни. При этом

— если $K_{t-1}(i, j) = 0$, то считается, что текущая точка также принадлежит фону, значение индикатора не меняется и осуществляется накопление фоновой составляющей:

$$F_B(i, j) = (1 - \alpha)F_B(i, j) + \alpha I_t(i, j); \quad N_B(i, j) = N_B(i, j) + 1; \quad K_t(i, j) = 0, \quad (1)$$

где α — задаваемый параметр, отвечающий за время обновления стационарного фона;

— если $K_{t-1}(i, j) = 1$ (точка ранее принадлежала стационарному объекту), то осуществляется накопление изображения этого объекта с тем же значением индикатора:

$$F_O(i, j) = (F_O(i, j) + I_t(i, j))/2; \quad N_O(i, j) = N_O(i, j) + 1; \quad K_t(i, j) = 1; \quad (2)$$

— если $K_{t-1}(i, j) = -1$, это означает, что в предыдущем кадре в данной точке был перепад яркости, а в текущем изображении яркость вернулась к исходному уровню. Тогда очевидно, что при $\Delta_B(i, j) < \Delta_O(i, j)$ значение $K_t(i, j) = 0$, а при $\Delta_B(i, j) > \Delta_O(i, j)$ значение $K_t(i, j) = 1$.

2. Яркость в точке текущего изображения близка к яркости в точке изображения стационарного объекта: $\Delta_O(i, j) < C_O$, $\Delta_B(i, j) > C_B$. В этом случае

— если $K_{t-1}(i, j) = 1$ и текущая точка принадлежит стационарному объекту, то ситуация однозначная и осуществляется пересчёт по формуле (2);

— если $K_{t-1}(i, j) = 0$, то произошёл перепад яркости, поэтому $K_t(i, j) = -1$, а $F_B(i, j)$ и $F_O(i, j)$ остаются без изменения;

— если $K_{t-1}(i, j) = -1$, осуществляется пересчёт по формуле (2).

3. Яркость точки $I_t(i, j)$ близка к фону и отличается от яркости объекта: $\Delta_O(i, j) > C_O$ & $\Delta_B(i, j) < C_B$. Тогда

— если $K_{t-1}(i, j) = 0$, то точка принадлежит фону и $F_B(i, j)$ пересчитывается по формуле (1);

— если $K_{t-1}(i, j) = -1$, в предыдущем кадре в этой точке был перепад яркости, а в текущем кадре точка принадлежит фону, поэтому $K_t(i, j) = 0$ и применяется формула (1);

— если $K_{t-1}(i, j) = 1$, то точка ранее принадлежала стационарному объекту, а в текущем кадре перешла в фон, произошёл перепад яркости, поэтому $K_t(i, j) = -1$.

4. Яркость точки $I_t(i, j)$ отличается от фона и от стационарного объекта: $\Delta_O(i, j) > C_O$ & $\Delta_B(i, j) > C_B$. В данном случае

— если ранее точка принадлежала фону $K_{t-1}(i, j) = 0$, то это означает, что через неё проходит подвижный объект, который в данной точке может стать стационарным, поэтому $K_t(i, j) = 1$, $F_O(i, j) = I_t(i, j)$, $N_O(i, j) = 1$;

— если $K_{t-1}(i, j) = 1$ на предыдущем кадре, то эта точка принадлежала кандидату на стационарный объект и в ней возможны следующие ситуации:

а) через точку стационарного объекта проходит подвижный объект;

б) стационарный объект был построен на шумовых выбросах, а в этой точке появился подвижный объект, который может стать стационарным, поэтому необходимо анализировать величину $N_O(i, j)$: если $N_O(i, j) \leq N_k$ (N_k — некоторый порог), то считается, что в указанной точке появился кандидат на стационарный объект и поэтому $K_t(i, j) = 1$, $F_O(i, j) = I_t(i, j)$, $N_O(i, j) = 1$; если $N_O(i, j) > N_k$, то считается, что через эту точку проходит подвижный объект и $K_t(i, j) = -1$;

— если $K_{t-1}(i, j) = -1$, то значит в этой точке продолжается прохождение подвижного объекта и статус точки не меняется.

Выделение оставленных объектов. После обработки N кадров ($N = T/\Delta t$, где Δt — интервал времени между кадрами, T — интервал наблюдения) начинаем проверять гипотезу о наличии стационарного объекта.

1. Выделяем множество точек, для которых $N_O(i, j) > N_p$ & $K(i, j) = 1$ (N_p — некоторый порог).

2. Выделяем связные множества точек и проверяем их геометрические размеры (осуществляем морфологическую фильтрацию).

3. Если геометрические размеры удовлетворяют заданным условиям, то продолжаем обработку полученных множеств, иначе переходим к обработке следующего кадра.

4. Осуществляем проверку на стационарность (определяем множество Ω точек, которые имеют контакт с точками выделенного объекта, и их число M ; определяем число попаданий m в это множество точек, для которых $K_t(i, j) = -1$, $t \geq T$; если $m/M \leq \beta$ (β — задаваемый параметр), то объект считается оставленным предметом).

Результаты вычислительного эксперимента. Для экспериментов взяты две последовательности. Первая последовательность состоит из 3000 кадров. В качестве фона выбран пятый кадр, не содержащий движущихся объектов (рис. 1). Обработка велась по разреженной последовательности (выбирался каждый пятый кадр, так как на практике частота кадров в системе видеонаблюдения определяется числом камер, подключённых к мультиплексу (до 16 камер)). На рис. 2, *a—c* показаны кадры 1851, 1976, 2106. Обработка начиналась с 1851-го кадра. На рис. 3, *a, b* представлены фон $F_B(i, j)$ и изображение стационарных объектов $F_O(i, j)$ после обработки 2106-го кадра. На рис. 3, *c, d* при-



Рис. 1



Рис. 2

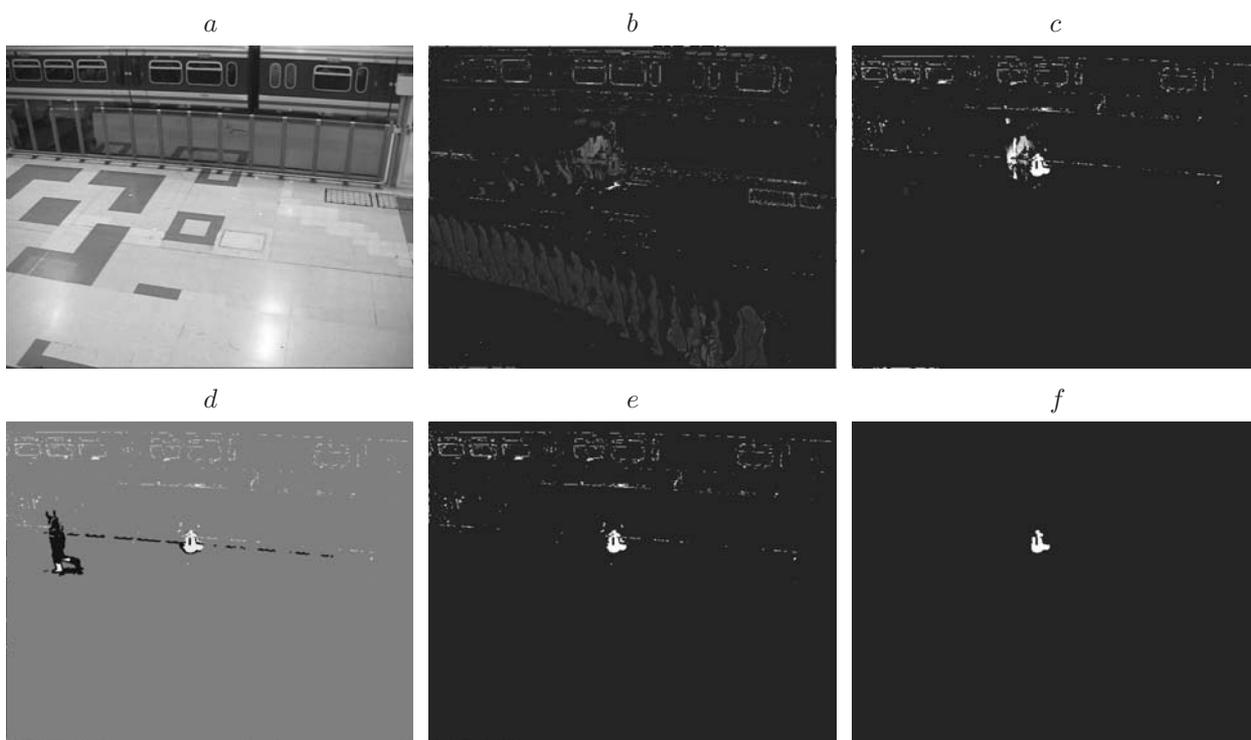


Рис. 3

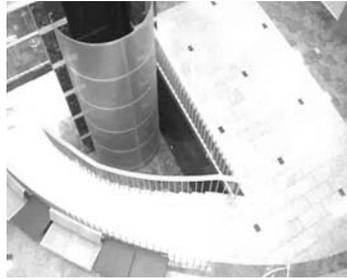


Рис. 4

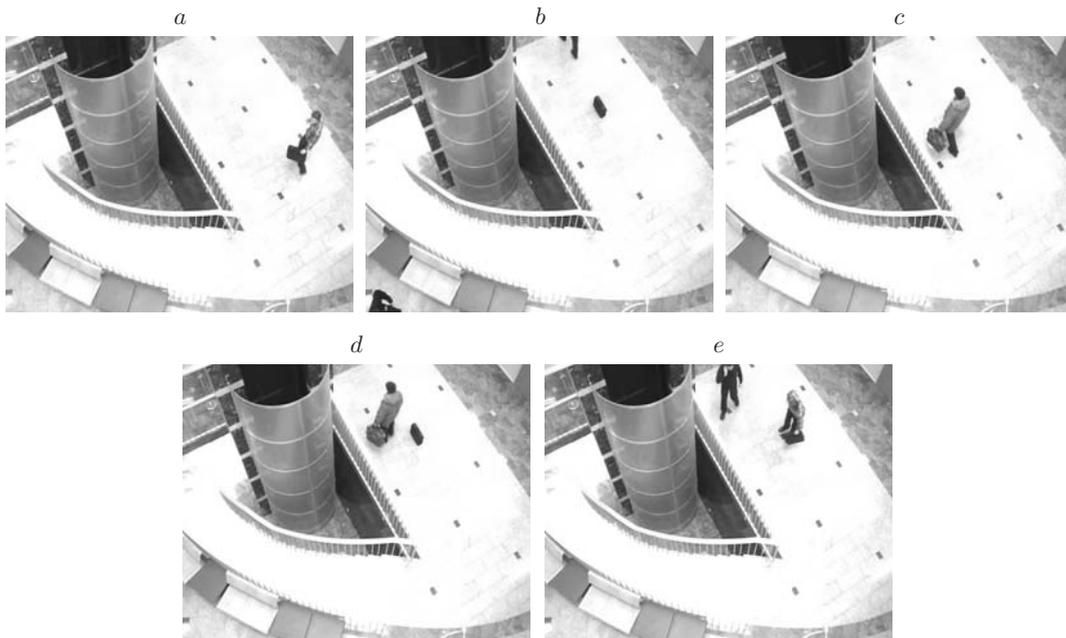


Рис. 5

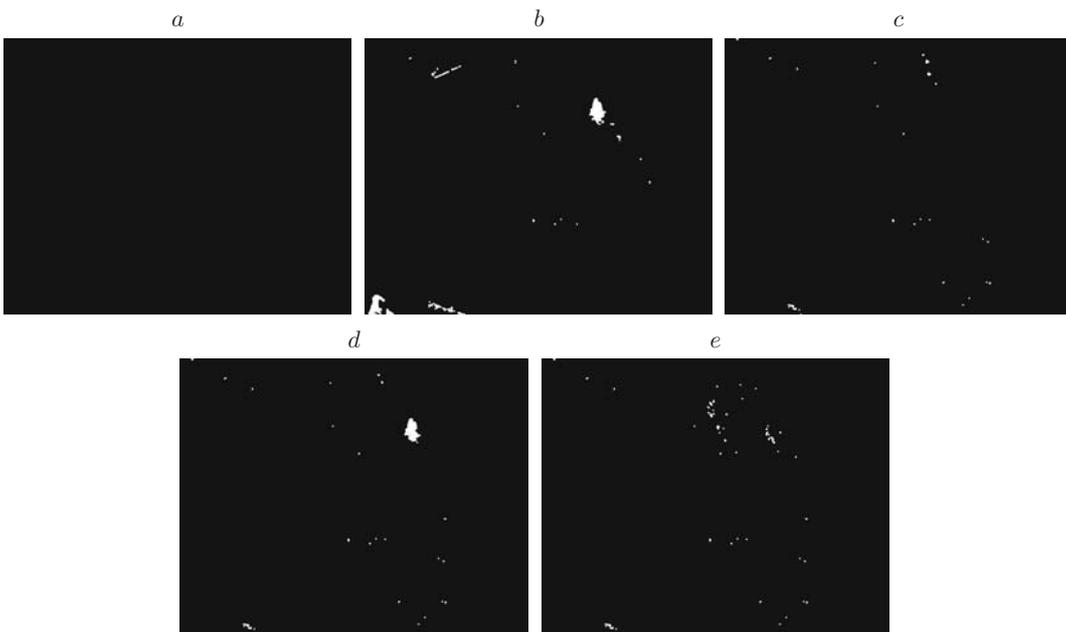


Рис. 6

ведены изображения $N_O(i, j)$ и $K_{2106}(i, j)$. На рис. 3, e, f показано бинарное изображение $N_O(i, j) > N_k \& K(i, j) = 1$ и результат его морфологической фильтрации (удалили мелкие объекты).

Выделенный объект на рис. 3, f считаем оставленным предметом.

Вторая последовательность состоит из 6314 кадров. В качестве фона выбран пятый кадр, не содержащий движущихся объектов (рис. 4). Обработка также велась по разреженной последовательности (выбирался каждый пятый кадр). На рис. 5 представлены кадры 4950, 5100, 5575, 5600, 5710: a — идущий человек с дипломатом, b — оставленный дипломат, c — человек перекрыл дипломат, d — человек прошёл дальше, e — человек забрал дипломат.

Обработка начиналась с 4950-го кадра. На рис. 6, $a—e$ приведены бинарные изображения результатов обработки в моменты, соответствующие кадрам на рис. 5, $a—e$.

Заключение. В данной работе предложен новый алгоритм обнаружения оставленных предметов при временных перекрытиях оставленного объекта, применимый для чёрно-белых изображений и имеющий невысокую вычислительную сложность. Вычислительные эксперименты с реальными видеопоследовательностями подтвердили обоснованность предложенного алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Piccardi M.** Background subtraction techniques: A review // Proc. of the IEEE Intern. Conf. on Systems, Man and Cybernetics. 2004. Vol. 4. P. 3099–3104.
URL: http://profs.sci.univr.it/~cristanm/teaching/sar_files/lezione4/Piccardi.pdf (дата обращения: 1.12.2010).
2. **Elhabian S., El-Sayed K., Ahmed S.** Moving object detection in spatial domain using background removal techniques — State-of-art // Recent Patents on Computer Sci. 2008. 1. P. 32–54.
3. **Cheung S.-C. S., Kamath C.** Robust background subtraction with foreground validation for urban traffic video // EURASIP Journ. Appl. Sign. Process. 2005. 14. P. 2330–2340.
4. **Иванов В. А., Киричук В. С.** Выделение движущихся объектов по последовательности изображений в реальном времени // Автометрия. 2009. 45, № 5. С. 14–21.
5. **He Y., Yang X.** Vehicle detection and tracing based on phase-correlation // Chin. Opt. Lett. 2004. 2, N 6. P. 323–324.
6. **Нужный С. П., Червяков Н. И.** Детектор движения в цифровой системе охранного видеонаблюдения // GraphiCon'2007. Москва, Россия, 23–27 июня, 2007.
URL: http://www.graphicon.ru/2007/proceedings/Papers/Paper_7.pdf (дата обращения: 1.12.2010).
7. **Porikli F., Ivanov Y., Haga T.** Robust abandoned object detection using dual foregrounds // EURASIP Journ. Adv. Sign. Proc. 2008. N 1. 197875.
8. **Beynon M., van Hook D., Seibert M. et al.** Detecting abandoned packages in a multi-camera video surveillance system // Proc. of the IEEE Conf. Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS'03). Miami, Florida, 2003. P. 221–228.
9. **Spagnolo P., Caroppo A., Leo M. et al.** An abandoned/removed objects detection algorithm and its evaluation on PETS datasets // IEEE Intern. Conf. Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS'06). 22–24 November, 2006. Sydney, Australia. P. 17.

10. **Tian Y., Feris R., Намраpur A.** Real-time detection of abandoned and removed objects in complex environments // Proc. of the 8th IEEE Intern. Workshop on Visual Surveillance. Marseille, France, 2008. URL: <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/32/57/75/PDF/VS2008-Poster-b.pdf> (дата обращения: 1.12.2010).
11. **Bird N., Atev S., Caramelli N. et al.** Real time, online detection of abandoned objects in public areas // Proc. of the IEEE Intern. Conf. Robotics and Automation. Orlando, Florida, May, 2006. P. 3775–3780.

Поступила в редакцию 22 ноября 2010 г.
