

## ИНФОРМАТИКА

УДК 681.3

### ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИНИМАКСНОЙ ФУНКЦИИ СХОЖЕСТИ

канд. техн. наук, доц. Р.П. БОГУШ, канд. техн. наук С.В. МАЛЬЦЕВ  
(Полоцкий государственный университет)

*Рассматривается технология обнаружения динамических объектов на видеопоследовательностях с использованием функций схожести корреляционного типа. По мере совершенствования алгоритмов и расширения области применения обработки изображений коэффициент корреляции претерпел существенные видоизменения, которые позволили сформировать на его основе ряд методов оценки близости и сходства, отличающихся по свойствам и характеристикам. Новизна заключается в том, что для повышения точности позиционирования таких объектов на видеопоследовательностях предлагается использовать минимаксную функцию схожести. Представлены результаты экспериментальных исследований по их обнаружению на основе предложенного критерия схожести. Показано, что по сравнению с нормированной корреляцией предложенная минимаксная функция обеспечивает также уменьшение вычислительных затрат в два раза.*

**Введение.** В настоящее время системы видеонаблюдения в различных спектральных диапазонах все шире используются для решения ряда практических задач в промышленности, медицине, науке и других областях. При этом обнаружение и сопровождение объектов на видеопоследовательностях является одной из основных задач обработки видеопотоков. Для автоматической локализации динамических объектов на динамических изображениях используется ряд функций (мер, метрик) [1 – 3], позволяющих оценить степень схожести фрагментов изображений. Среди известных мер сходства наиболее широко используется нормированная функция корреляции, обладающая достаточно устойчивой характеристикой при поиске объектов как при большом, так и при малом объемах выборки.

Корреляционные характеристики видеоизображений, как правило, далеки от идеальных, т.е. характеризуются значительным уровнем боковых лепестков и размытостью основного пика [2, 4]. Это приводит либо к ложным опознаниям объекта, либо к неточному позиционированию объекта на изображении. Подобные недостатки в значительной мере проявляются как при обработке низкоконтрастных изображений, так и в случае наличия шумовой компоненты на изображении. По мере совершенствования алгоритмов и расширения области применения обработки изображений коэффициент корреляции претерпел существенные видоизменения, которые позволили сформировать на его основе ряд методов оценки близости и сходства, отличающихся по свойствам и характеристикам. В работе [2] предпринята попытка на основе детального анализа существующих методов измерения различных параметров сигнала сформировать устойчивые к различным воздействиям алгоритмы оценки схожести объектов.

Анализ рассмотренных методов свидетельствует о том, что можно говорить лишь о квазиоптимальности любого из рассмотренных алгоритмов оценки схожести в зависимости от внешних условий и типа анализируемых данных. Для подавляющего большинства методов основной проблемой остается точность позиционирования, которая ограничивается размытостью основного корреляционного пика и наличием интенсивных боковых выбросов при анализе изображения в смеси с шумом. Кроме этого следует отметить проблемы вычислительной сложности, которые возникают в ряде случаев даже для изображений малого размера, ограничивая динамику анализируемого изображения. Следовательно, задача поиска новых критериев схожести для обнаружения динамических объектов на видеопоследовательностях является актуальной.

**1. Технология обнаружения движущихся объектов.** Известно, что признаком наличия движения являются изменения в изображениях соседних кадров видеоряда [1, 5, 6]. Поэтому для качественного детектирования движения объектов и исключения шумовой составляющей осуществляется предварительная обработка видеопоследовательности, предполагающая наличие фильтрации, корректировки яркости и контрастности сокращения вычислительных затрат, сегментации и других показателей [1, 5].

Рассмотрим задачу корреляционного обнаружения динамических объектов на видеопоследовательностях. Исходя из обозначенного подхода детектирования движения, корреляционный метод в общем случае предполагает, что два соседних кадра видеопоследовательности разбиваются на блоки определенного размера и для соответствующих блоков смежных изображений определяется их схожесть на

основе некоторой математической величины. Для этого выбирается порог, при превышении которого считается, что в данном блоке присутствуют изменения. Анализ всех составляющих блоков изображений позволяет выявить изменения в кадре, а следовательно и наличие движения. При этом одним из критериев эффективности являются временные затраты, так как необходимо проводить обработку в реальном масштабе времени, а некоторые функции схожести предполагают необходимость значительных вычислительных затрат. Поэтому для повышения быстродействия одним из первых этапов предобработки является процедура уменьшения размера кадра.

В общем виде алгоритм детектирования движения на основе функций корреляционного типа требует выполнения следующих шагов:

- 1) захват двух соседних кадров размером  $M_1 \times M_2$   $A^k$  и  $A^{k+1}$  видеопоследовательности;
- 2) выполнение процедур предварительной обработки;
- 3) выделение фрагментов изображений  $D_{pv}^k$  и  $D_{pv}^{k+1}$  ( $p \in 0..M_1 - N$ ,  $v \in 0..M_2 - N$ ) размером  $N \times N$ , начиная с левого верхнего угла кадра;
- 4) вычисление функции схожести  $R$  для двух соответствующих фрагментов  $D_{pv}^k$  и  $D_{pv}^{k+1}$  соседних кадров  $A^k$  и  $A^{k+1}$ :

$$R = F(D_{pv}^k, D_{pv}^{k+1}),$$

где  $F$  – оператор математического преобразования;

- 5) анализ результата по правилу:

$$\begin{cases} \text{если } (1 - R) > T, \text{ то фрагмент принадлежит мобильному объекту,} \\ \text{иначе движение в обрабатываемом фрагменте отсутствует,} \end{cases} \quad (1)$$

где  $T$  – уровень порога;

- б) сдвиг вправо ( $p + N$ ) или вниз ( $v + N$ ) на размер обрабатываемого блока изображения и переход к пункту 2, если число сдвигов меньше  $(M_1 - N) \times (M_2 - N)$ , в противном случае процесс поиска завершен. Общее число анализируемых фрагментов определяется как  $(M_1 - N + 1) \times (M_2 - N + 1)$ .

**2. Функции корреляционного типа для детектирования движения.** Для сравнения двух фрагментов изображений  $D^k = \{d_{ij}^k\}$  и  $D^{k+1} = \{d_{ij}^{k+1}\}$  при детектировании движения можно использовать следующие типы функций схожести [1, 3, 7]:

- 1) классическая нормированная функция корреляции:

$$R^{COR}(D^k, D^{k+1}) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} d_{ij}^k d_{ij}^{k+1}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (d_{ij}^k)^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (d_{ij}^{k+1})^2}};$$

- 2) функция на основе суммы квадратов разностей:

$$R^{SSD}(D^k, D^{k+1}) = 1 - \frac{1}{GN^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (d_{ij}^k - d_{ij}^{k+1})^2,$$

где  $G$  – диапазон допустимых значений яркости;

- 3) функция на основе взвешенной суммы квадратов разностей:

$$R^{SSD'}(D^k, D^{k+1}) = 1 - \frac{1}{G} \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (d_{ij}^k - d_{ij}^{k+1})^2}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (d_{ij}^k)^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (d_{ij}^{k+1})^2}};$$

- 4) функция на основе метрики Хаусдорфа:

$$R^H(D^k, D^{k+1}) = 1 - \frac{1}{G} \max_{ij} |d_{ij}^k - d_{ij}^{k+1}|,$$

где  $i \in 0..N-1$ ,  $j \in 0..N-1$ ;

5) функция на основе городской метрики:

$$R^C(D^k, D^{k+1}) = 1 - \frac{1}{GN^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} |d_{ij}^k - d_{ij}^{k+1}|;$$

6) функция на основе усредненной городской метрики:

$$R^C(D^k, D^{k+1}) = 1 - \frac{1}{GN^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} |d_{ij}^k - d_{ij}^{k+1} - \overline{d_{ij}^k} + \overline{d_{ij}^{k+1}}|,$$

где  $\overline{d_{ij}^k}$  и  $\overline{d_{ij}^{k+1}}$  – средние значения изображений  $D^k$  и  $D^{k+1}$ ;

7) функция на основе среднеквадратичной погрешности:

$$R^e(D^k, D^{k+1}) = 1 - \frac{1}{GN} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (d_{ij}^k - d_{ij}^{k+1})^2}.$$

**3. Минимаксная функция схожести.** В результате исследований по повышению разрешающей способности корреляционных методов обнаружения объектов на изображениях предложена функция  $R^M$  [8] для оценки сходства изображения  $A = \{a_{ij}\}$  размером  $N_1 \times N_2$  и изображения  $B = \{b_{ij}\}$  размером  $N_1 \times N_2$ , которую будем называть мультипликативной минимаксной функцией схожести корреляционного типа

$$R^M = \prod_{i=0}^{N_1-1} \prod_{j=0}^{N_2-1} \frac{\min(a_{ij}, b_{ij})}{\max(a_{ij}, b_{ij})},$$

где  $\min(a_{ij}, b_{ij})$  – минимальное значение из двух анализируемых;  $\max(a_{ij}, b_{ij})$  – максимальное значение из двух анализируемых.

Аддитивная минимаксная функция схожести  $R^S$  корреляционного типа определяется согласно выражению:

$$R^S = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} \frac{\min(a_{ij}, b_{ij})}{\max(a_{ij}, b_{ij})}.$$

Аддитивная степенная минимаксная функция схожести  $R^{SD^p}$  определяется по формуле:

$$R^{SD^p} = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} \frac{\min(a_{ij}^p, b_{ij}^p)}{\max(a_{ij}^p, b_{ij}^p)},$$

где  $p \geq 2$ .

Минимаксная функция схожести определяется как

$$R^{SM} = \min_{i,j \in 0, N-1} \left( \frac{\min(a_{ij}, b_{ij})}{\max(a_{ij}, b_{ij})} \right).$$

Для уменьшения чувствительности предложенной функции к уровню постоянной составляющей сигнала следует использовать усредненную аддитивную модификацию  $\overline{R^S}$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } |a_{ij} - \overline{a}| > |b_{ij} - \overline{b}|: \overline{R^S} = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} \frac{b_{ij} - \overline{b}}{a_{ij} - \overline{a}}, \\ \text{иначе} \quad \overline{R^S} = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} \frac{a_{ij} - \overline{a}}{b_{ij} - \overline{b}}, \end{array} \right.$$

где  $\overline{a} = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} a_{ij}$ ;  $\overline{b} = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} b_{ij}$ .

Для предложенной функции очевидны следующие основные свойства для изображений  $A$  и  $B$  :

$$R^M(A, B) = 1, \Leftrightarrow A = B;$$

$$R^M(A, B) = R^M(B, A);$$

$$R^M(A, B) = 0, \Leftrightarrow a_{ij} = 0 \text{ и } b_{ij} = G,$$

где  $G$  – диапазон допустимых значений яркости.

Следовательно, любая из рассмотренных минимаксных функций может быть использована для детектирования движущихся объектов на видеопоследовательностях. Проведем оценку вычислительной сложности аддитивной минимаксной функции схожести.

Для вычисления минимаксной функции схожести двух фрагментов изображения размером  $N \times N$  требуется выполнить  $N^2$  операций сравнения,  $N^2$  операций деления и  $N^2 - 1$  операций сложения, таким образом, вычислительная сложность оценивается величиной  $3N^2$ .

Для вычисления корреляционной функции двух фрагментов изображения размером  $N \times N$  требуется выполнить  $3N^2 + 1$  операций умножения,  $3(N^2 - 1)$  операций сложения и одну операцию деления, т.е. вычислительная сложность оценивается величиной  $6N^2$ . Вычислительная сложность функции на основе взвешенной суммы квадратов разностей оценивается величиной  $7N^2$ .

Таким образом, по сравнению с нормированной корреляцией предложенная минимаксная функция обеспечивает также уменьшение вычислительных затрат в два раза.

**4. Результаты экспериментов.** Для исследования предложенной технологии обнаружения динамических объектов на динамических изображениях программно реализован алгоритм, представленный в разделе 1 с возможностью применения различных мер сходства для сравнения соответствующих фрагментов соседних кадров видеопоследовательности. Предложенная мультипликативная минимаксная функция схожести обеспечивает более высокую контрастность функции при обработке изображений, однако характеризуется значительной чувствительностью к воздействию шума. Так как на видеопоследовательностях всегда присутствуют шумы различного уровня и характера, для локализации движущихся объектов следует использовать аддитивную минимаксную функцию.

Результаты исследований представлены на рисунках 1, 2.

В качестве входного видеоряда использовалась последовательность с размером кадра  $640 \times 480$ .

В качестве предварительной обработки применена процедура уменьшения кадра путем вычисления среднего арифметического значения с размером апертуры  $4 \times 4$  (рис. 1).

На рисунках 1, б и 1, в показан обнаруженный объект с использованием правила (1). Размер сравниваемых фрагментов изображений –  $2 \times 2$ .

Следует отметить, что в общем случае уровень порога выбирается экспериментально, в зависимости от условий видеонаблюдения: уровня освещения и шума, типа освещения, допустимых размеров контролируемых динамических объектов и т.д. В данном случае уровень порога выбран исходя из минимизации обнаружения шумов и ложных объектов.

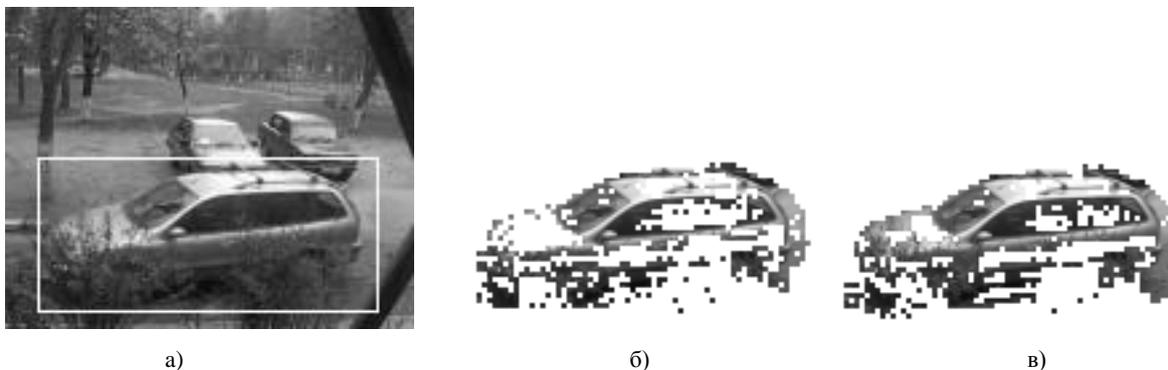


Рис. 1. Результат детектирования движения:  
 а – динамический объект; б – выделенный объект на основе корреляции;  
 в – выделенный объект на основе минимаксной аддитивной функции

Представленные на рисунках 2, 3 графики стандартной нормированной корреляции и предложенной аддитивной минимаксной функции схожести говорят о более высоком уровне контраста аддитивной минимаксной функции при локализации динамических объектов на движущихся видеопоследовательностях.

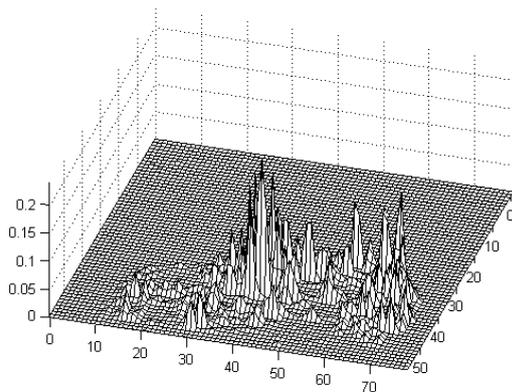


Рис. 2. Нормированная функция корреляции

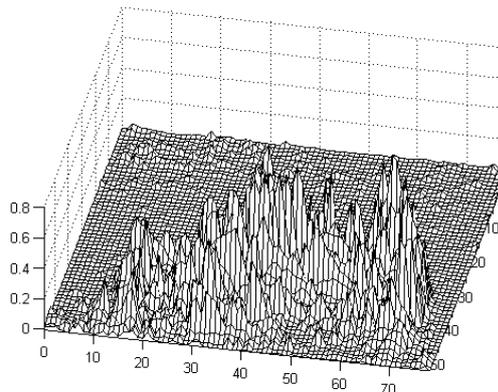


Рис. 3. Минимаксная аддитивная функция схожести

### Заключение

Предложен алгоритм обнаружения движущихся объектов на видеопоследовательностях на основе минимаксной функции схожести корреляционного типа. Формальная сущность алгоритма заключается в выделении и последующем сравнении фрагментов текущего и предыдущего кадров для всех возможных смещений окна в кадре. Разработанный алгоритм предполагает минимаксный анализ выделенных блоков соседних кадров видеоряда. Решение о принадлежности фрагмента изображения динамическому объекту принимается на основе сравнения значений минимаксной функции схожести с пороговым значением. Для повышения чувствительности к шуму следует использовать аддитивную минимаксную функцию схожести. Таким образом, предложенная минимаксная функция схожести, обладая усовершенствованными качественными характеристиками, позволяет повысить эффективность методов обработки динамических изображений в целом.

Эксперименты выполнены для полутоновых изображений. Результаты исследований свидетельствуют о том, что предложенная минимаксная функция схожести корреляционного типа может обеспечивать улучшенную разрешающую способность при обработке динамических изображений по сравнению с известными мерами сходства. Следовательно, алгоритм является перспективным для использования в системах видеонаблюдения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Nixon, M.S. Feature Extraction and Image Processing / M.S. Nixon, A.S. Aguado. – Oxford: Newnes. – 2002.
2. Chambon, S. Dense matching using correlation: new measures that are robust near occlusions / S. Chambon, A. Crouzil // British Machine Vision Conference. – Norwich, Great Britain. – Vol. 1. – September 2003. – P. 143 – 152.
3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М: Техносфера, 2005. – 1072 с.
4. Zitova, B. Image registration methods: a survey / B. Zitova, J. Flusser // Image and Vision Computing. – 2003. – № 21. – P. 977 – 1000.
5. A Robust Vision-based Moving Target Detection and Tracking System / A. Behrad [et. al.] // Proc. of Image and Vision Computing conference (IVCNZ2001), University of Otago, Dunedin, New Zealand, 26th – 28th November, 2001.
6. Радченко, Ю.С. Многоальтернативное обнаружение изменений в динамических изображениях / Ю.С. Радченко // Цифровая обработка сигналов и ее применение: докл. 7-й Междунар. конф., 16 – 18 марта 2005 г. – Т. 2. – С. 47 – 50.
7. Старовойтов, В.В. Локальные геометрические методы цифровой обработки и анализа изображений / В.В. Старовойтов. – Минск: ИТК НАН Беларуси, 1997. – 284 с.
8. Bogush, R. Minimax Criterion of Similarity for Video Information Processing / R. Bogush, S. Maltsev // IEEE Proc. of Int. Conf. on Control and Communications, SIBCON – 2007, Tomsk, April 20 – 21, 2007. – Tomsk, 2007. – P. 120 – 126.

Поступила 13.06.2007