

УДК 004.9

ОБНАРУЖЕНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПОДВИЖНОЙ СИСТЕМОЙ НАБЛЮДЕНИЯ*

С. М. Борзов¹, О. И. Потатуркин^{1,2}

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

² Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Новосибирский государственный университет»,
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2

Предложено для оценивания фоновой составляющей при обнаружении малоразмерных динамических объектов (в случае неизвестного движения системы наблюдения) использовать алгоритм оперативного определения локальных смещений фрагментов (блоков), учитывающий пространственную и временную связность движения. Проведено сравнение эффективности данного метода и методов на основе аффинных преобразований изображения как целого. Показано, что предложенный подход более эффективен и приводит к подавлению фона в разностном кадре при условии, что он представлен крупными зонами, деформирующимися или смещающимися относительно друг друга.

Ключевые слова: поиск динамических объектов, малоразмерные объекты, видеопоследовательность, компенсация фона.

Введение. Методы автоматического обнаружения динамических объектов применяются в различных системах наблюдения. Для большинства приложений одним из принципиальных требований является оперативность обработки. В основу используемых алгоритмов положено, как правило, определение фоновой составляющей изображений и её вычитание из текущего кадра видеоряда с последующим выделением подвижных объектов. Так, в [1] предложен оптимальный в статистическом смысле алгоритм реального времени, адаптивный к изменениям содержания сцены и условий наблюдения. В [2] рассматривается алгоритм обнаружения точечных динамических объектов при движении камеры, основанный на оценке геометрических искажений фона в виде сдвига с помощью разложения яркости изображения в ряд Тейлора.

Этот класс алгоритмов показал свою перспективность при анализе последовательностей изображений со стационарным или медленноменяющимся фоном (смещение фона на кадрах не превосходит величины шага дискретизации). Однако при обработке изображений с подвижных камер (при их неизвестной траектории) необходимо выделять отличия между кадрами видеоряда с учётом существенного изменения поля зрения [3, 4].

В настоящее время широкое распространение получили два подхода к оценке параметров преобразований фона. Первый из них основан на вычислении межкадровой корреляции некоторой центральной области кадров, чтобы найти величины вертикальных и горизонтальных сдвигов изображения сцены в текущем кадре относительно предыдущего.

*Работа выполнена при поддержке Сибирского отделения РАН (проект № 71) и Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 11-07-00202, № 11-07-12083-офи-м-2011).

Для определения поворота используются несколько периферийных областей. Вторым подходом основан на оценке смещения каждого небольшого фрагмента (блока) и последующем анализе набора полученных векторов локального движения для нахождения параметров преобразования изображения с помощью процедуры голосования.

Однако на практике нередко возникают ситуации, когда данные методы оказываются малоэффективными. Это может быть связано со значительным изменением фоновой составляющей изображений от кадра к кадру, с наличием изотропных или периодически повторяющихся фрагментов. Ещё более сложная ситуация возникает, если параметры движения фона на отдельных участках наблюдаемой сцены различны, в частности при наблюдении пересечённой местности или земной поверхности с большим перепадом высот. В таких условиях в последовательности регистрируемых изображений помимо изменений, вызванных движением обнаруживаемых объектов, происходят постоянные смещения различных участков фона, расположенных на разной дальности. Компенсация смещения фона без учёта его возможных пространственных искажений в подобной ситуации, очевидно, не позволяет эффективно выделить малоразмерные динамические объекты. Для решения этой проблемы целесообразно использовать поблочную компенсацию деформации фона на основе анализа предыдущих и (или) последующих кадров и полей локальных смещений.

Данная работа направлена на исследование эффективности перечисленных методов компенсации смещения фона в задачах обнаружения малоразмерных динамических объектов при неизвестных параметрах движения системы наблюдения.

Метод поблочной компенсации движения фона. Проблеме оценки локального движения посвящено большое количество публикаций [4–6]. Например, в [7] разработан метод, учитывающий пространственную и временную связность движения и позволяющий осуществлять эту процедуру в темпе поступления данных. На стадии анализа путём сличения блоков и определения векторов движения оценивается деформация фона. Изображения разделяются на малые фрагменты (8×8 – 16×16 пикселей), и для каждого из них в текущем кадре ищется наиболее подобный блок в предыдущем (или последующем) кадре. Относительное смещение этих фрагментов и определяет вектор движения. Основной мерой подобия является сумма абсолютных разностей (SAD — Sum of Absolute Differences) всех пикселей двух сравниваемых блоков.

При реализации этой процедуры, как правило, применяются иерархические многоуровневые методы анализа изображения (от крупного масштаба к мелкому) с учётом временной и пространственной связности движения. Первоначально определяется набор векторов-кандидатов. За первый принимается вектор данного блока в предыдущем кадре. Следующий кандидат — средний вектор для текущего кадра на более крупном масштабе. Третьим, четвёртым и пятым являются векторы, полученные для соседних, уже обработанных, блоков кадра (при последовательном анализе с верхнего левого угла изображения это левый верхний и правый верхний). Последний (шестой) формируется как вектор, компоненты которого равны медианам компонент третьего—пятого кандидатов. Кандидат с максимальной мерой подобия задаёт наиболее вероятное смещение данного блока в текущем кадре, далее оно уточняется путём минимизации SAD по локальной (в пределах нескольких пикселей) зоне.

Полученное поле смещений анализируется с целью устранения ошибок в вычислении величины и направления отдельных векторов. Так, векторы, параметры которых существенно отличаются от соседних, замещаются соседними. Эта процедура получила название фильтрации векторов. Далее вычисляются векторы движения каждого пикселя с помощью билинейной интерполяции векторов текущего и трёх ближайших блоков (с учётом положения пикселя относительно их центров). Затем каждый пиксель предыдущего (последующего) кадра смещается вдоль полученного вектора движения на некоторую

величину, чтобы сформировать компенсированный кадр, соответствующий по времени текущему.

Первоначально [7] метод разрабатывался для преобразования частоты кадров видеопоследовательности путём построения промежуточных интерполированных кадров. В данной работе предлагается использовать его для выделения малоразмерных динамических объектов при неизвестном движении фона (или системы наблюдения). Изложенные процедуры в значительной степени позволяют восстановить фоновую составляющую текущего кадра на основе предыдущего (последующего) с попиксельной (а не поблочной) компенсацией движения. В то же время положение малоразмерных объектов на каждом из них будет соответствовать предыдущим (следующим) точкам их траекторий. Действительно, движение таких объектов вследствие незначительных размеров и применения процедуры фильтрации векторов не влияет на результат построения полей смещений и, следовательно, не будет скомпенсировано (размер блоков при построении полей смещений больше размера объектов). Это позволяет оценивать фоновую составляющую (при неизвестных параметрах движения системы наблюдения) с помощью совместного анализа нескольких последовательных изображений сцены. Для снижения уровня шума предлагается вычислять медиану отсчётов, как минимум, пары компенсированных (по движению вперёд и назад) и текущего кадров. Вычитая сформированный таким образом кадр из текущего, можно подавить фон и выделить динамические объекты.

Отметим, что для многих практических задач методы анализа изображений, основанные на расчёте векторов смещений, недостаточно эффективны при обработке реальных данных из-за высокого уровня ошибок в вычислении направлений и величин векторов. Однако при обнаружении малоразмерных динамических объектов не требуется высокой точности построения истинных полей смещений, поскольку предлагаемый метод определения блоков с минимальной мерой подобия SAD приводит к тому, что уровень фона в разностном кадре оказывается низким.

Моделирование методов компенсации движения фона. Исследование эффективности различных методов подавления фоновой составляющей при обнаружении малоразмерных динамических объектов осуществлялось на трёх модельных последовательностях длительностью 100 кадров. При формировании первой последовательности в качестве стационарного фона использовалось многоградационное изображение (рис. 1), полученное при сканировании земной поверхности (радиометр «Агрос», размер 640×480 пикселей, 256 градаций яркости, $\lambda = 8\text{--}12$ мкм, среднее значение яркости 105, СКО яркости 27,7). Для



Рис. 1. Изображение земной поверхности

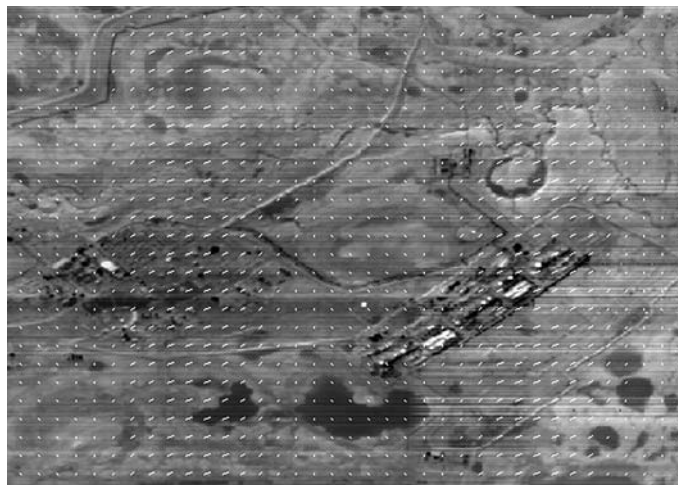


Рис. 2. Поле смещений блоков

второй последовательности в качестве динамического фона использована серия изображений реальной сцены (размер 720×576 пикселей, 256 градаций яркости, среднее значение яркости 104, СКО яркости 60,0), зарегистрированных подвижной телевизионной камерой. Фоновая составляющая для третьей последовательности формировалась также из изображения земной поверхности (см. рис. 1) путём внесения геометрических искажений, вид которых (сжатие и растяжение отдельных зон изображения) продемонстрирован векторами локальных смещений (рис. 2).

Подобный тип искажений характерен, например, для случая наблюдения горной поверхности с движущегося летательного аппарата. В эти кадры вносились малоразмерный движущийся объект и случайный аддитивный шум. Далее выполнялось смещение изображений по определённому закону, имитирующему движение системы наблюдения.

Оценивание фоновой составляющей осуществлялось тремя методами. Первые два учитывали смещение и поворот изображения как целого (с использованием процедур корреляции или голосования блоков), а в третьем реализована предложенная попиксельная компенсация движения фона на основе анализа полей локальных смещений. Для определения эффективности исследуемых методов выполнялось подавление стационарной составляющей последовательностей (путём вычисления модуля разности значений отсчётов сформированного фона и текущих кадров) и рассчитывалось СКО в разностных кадрах.

Результаты подавления фона в каждой из последовательностей с использованием корреляции для оценки общего движения при различном уровне СКО шума приведены на рис. 3. Из рисунка следует, что такой метод работоспособен для стационарных изображений в широком диапазоне СКО, но обладает низкой эффективностью в случае динамического фона. При этом кривые для последовательностей с реальным динамическим фоном и фоном с внесёнными геометрическими искажениями практически совпадают.

Данные обработки последовательности с геометрическими искажениями фоновой составляющей представлены на рис. 4, *a*. Видно, что наличие деформации привело к увеличению СКО сигналов в разностных кадрах, однако для широкого диапазона изменения шума компенсация локального движения, как минимум в 2 раза, эффективнее методов компенсации общего смещения. На рис. 4, *b* приведены результаты, полученные при использовании в качестве фона последовательности изображений реальной сцены. Характер зависимостей аналогичен показанным на рис. 4, *a*. Для этой последовательности эффективность компенсации локального движения выше на 20–30 %.

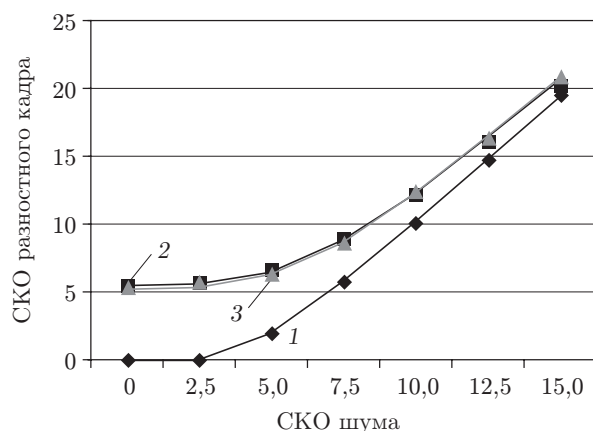


Рис. 3. Эффективность подавления фона с использованием корреляции для оценки общего движения при различном уровне аддитивного шума (кривая 1 — стационарный фон, 2 — реальный динамический, 3 — с геометрическими искажениями)

В заключение приведём пример применения исследуемых методов оценивания фоновой составляющей при обнаружении малоразмерных динамических объектов. Для обработки использовалась последовательность с геометрическими искажениями фоновой составляющей и уровнем СКО случайного шума 7,5 единиц. (Среднее значение фона для данной последовательности 105, СКО 27,7, яркость объекта 155.) Обнаружение объекта осуществлялось путём пороговой обработки полученных разностных кадров. Для разных значений порога подсчитывалось количество ложных тревог и пропусков цели по всем кадрам последовательности.

Зависимости вероятности ложной тревоги от вероятности пропуска цели (рис. 5) при различных способах формирования фоновой составляющей показывают, что применение метода, реализующего попиксельную компенсацию движения на основе анализа полей ло-

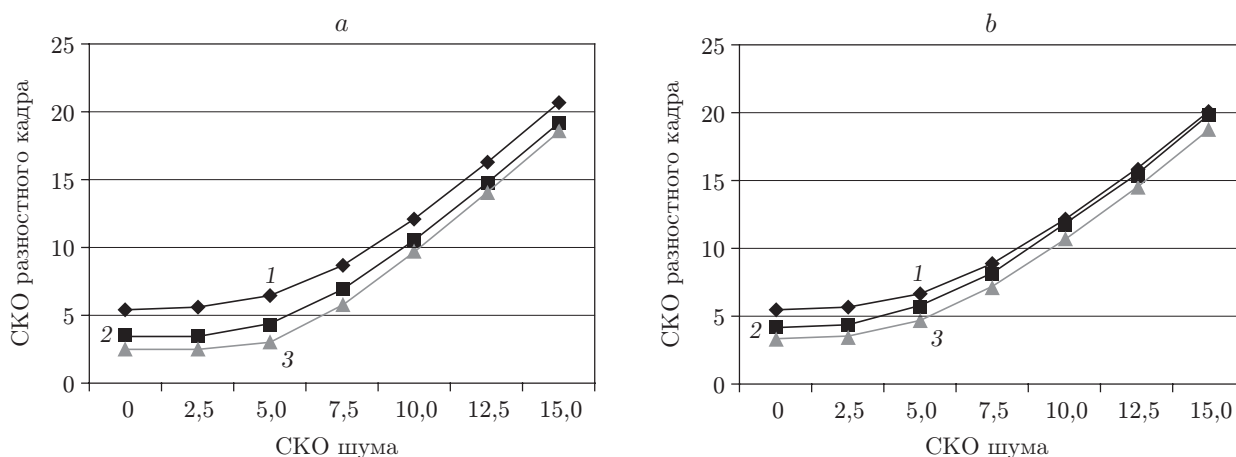


Рис. 4. Эффективность подавления фона: при наличии геометрических искажений изображения (a) и на реальном динамическом фоне (b) при различном уровне аддитивного шума (кривые 1 — оценка общего движения с использованием корреляции, 2 — оценка общего движения голосованием блоков, 3 — оценка локального движения)

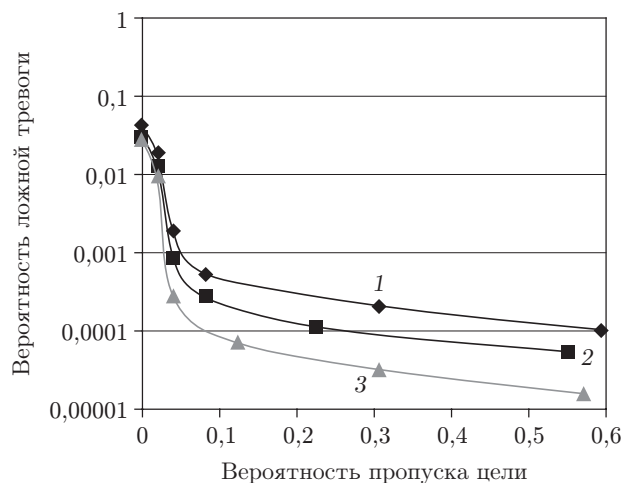


Рис. 5. Эффективность выделения малоразмерного динамического объекта при наличии геометрических искажений изображения (кривая 1 — оценка общего движения с использованием корреляции, 2 — оценка общего движения голосованием блоков, 3 — оценка локального движения)

кальных смещений, позволяет в несколько раз повысить эффективность обнаружения динамических малоразмерных объектов.

Заключение. В данной работе для обнаружения малоразмерных динамических объектов при неизвестном движении системы наблюдения предложено осуществлять оценивание фоновой составляющей с помощью оперативного алгоритма формирования полей локальных смещений фрагментов, учитывающего пространственную и временную связность движения. Проведено исследование эффективности методов, основанных на определении смещения и поворота изображения как целого (с использованием корреляции или голосования блоков), и метода, реализующего попиксельную компенсацию локального движения.

Показано что при применении предложенного подхода вычитание усреднённого и текущего кадров приводит к подавлению не только стационарного, но также в значительной степени и нестационарного фона при условии, что он представлен крупными зонами, деформирующимися или смещающимися как целое относительно друг друга. Компенсация локального движения при наличии геометрических искажений фоновой составляющей в широком диапазоне изменения уровня шума позволила вдвое снизить СКО в разностных кадрах. При использовании в качестве фона реальной динамической сцены достигнуто снижение этого параметра на 20–30 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В. А., Киричук В. С. Выделение движущихся объектов по последовательности изображений в реальном времени // Автометрия. 2009. 45, № 5. С. 14–21.
2. Киричук В. С., Шакенов А. К. Обнаружение точечных динамических объектов, регистрируемых движущейся камерой // Автометрия. 2004. 40, № 1. С. 3–14.
3. Horn B. K. P., Schunck B. G. Determining optical flow // Artif. Intel. 1981. 17. P. 185–203.
4. Murray D., Basu A. Active tracking // Proc. of the IEEE/RSJ Intern. Conf. in Intelligent Robot and Systems. Yokohama. Japan, 1993. Vol. 2. P. 1021–1028.

5. **De Haan G., Huijgen H.** New algorithm for motion estimation // Signal Processing of HDTV /Ed. L. Chiariglione. Elsevier, 1990. Vol. II. P. 109–116.
6. **De Haan G., Huijgen H.** Motion estimation for TV picture enhancement // Signal Processing of HDTV /Eds. H. Yasuda, L. Chiariglione. Elsevier, 1992. Vol. III. P. 241–248.
7. **Braspenning R. A., de Haan G.** True-motion estimation using feature correspondence // SPIE Proc. VCIP. 2004. **5308**. P. 396–407.

Поступила в редакцию 17 марта 2011 г.
