

УДК 004.932.2

Л. А. КРАСНОВ, С. Э. ЛЯМЦЕВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АЛГОРИТМОВ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПО ВИДЕОДАНЫМ

Исследована помехоустойчивость корреляционно-экстремальных алгоритмов оценки параметров движения объекта по результатам видеонаблюдения методом моделирования в программе Matlab. Оценены пороги устойчивости процедур измерения дальности, угловых и скоростных параметров наблюдаемого объекта на фоне действия гауссовых, импульсных и мультипликативных шумов. Приведены рекомендации по применению процедуры фильтрации с целью повышения порога устойчивой работы используемых алгоритмов. Результаты проведенных исследований необходимо учитывать при проектировании систем технического зрения различного назначения.

Ключевые слова: анализ помехоустойчивости, траекторные измерения, порог устойчивой работы алгоритмов.

Введение

В настоящее время разработка и использование эффективных алгоритмов обработки изображений и видео в системах технического зрения является актуальной научно-исследовательской задачей. Одно из основных направлений – это создание систем, предназначенных для установки на подвижных носителях, таких как самолеты, вертолеты, автомобили, беспилотные летательные аппараты, роботы и другие транспортные средства. Подобные системы решают комплекс вопросов обнаружения движущихся объектов, оценки параметров, распознавания и построения траекторий их движения по видеоданным. Эта достаточно сложная задача получила название видеотрекинга.

Основная цель трекинга состоит в сопоставлении положений объекта наблюдения на последовательности кадров, особенно в тех случаях, когда объект движется быстро относительно частоты смены кадров. Принято использовать адекватные модели движения, описывающие, как может изменяться изображение объекта при всевозможных его движениях. Существуют различные способы определения смещений между двумя соседними кадрами. Это оценка движения объектов по методу сопоставления блоков, оценка оптического потока (по Лукасу-Канаде), корреляционно-экстремальные алгоритмы [1 – 3]. Преимущество последних – простота реализации и большое быстродействие.

К настоящему времени достигнута достаточная эффективность и устойчивость работы этих алгоритмов в лабораторных условиях при анализе тестовых видеопоследовательностей и незначительных

изменениях освещенности сцены. В то же время, использование и размещение видеорегистраторов на подвижных носителях и работа в естественных условиях приводит к существенному изменению освещенности в зависимости от времени суток, состояния атмосферы, осадков, тумана, влажности, силы ветра. Это порождает ухудшение качества обнаружения объекта наблюдения при снижении яркости объекта по отношению к фону. Такие факторы создают помехи, приводящие к ошибочным результатам распознавания движения с недопустимым уровнем аномальных ошибок при оценке траекторных параметров.

Постановка задачи

Целью данной работы является исследование помехоустойчивости алгоритмов траекторных измерений, основанных на использовании корреляционно-экстремального метода оценки положения объекта наблюдения в кадре. Воздействие помех моделируется гауссовыми, импульсными и мультипликативными шумами. Оцениваются статистические характеристики погрешностей оценки траекторных параметров (дальности, угловых координат и скорости движения объекта), возникающие в результате действия помех, определяются шумовые пороги устойчивой работы.

Для надежной работы используемых алгоритмов необходимо обеспечить существенное превышение в кадре яркости наблюдаемого объекта по отношению к яркости фона [4 – 5]. Для этого предварительно выделяется нужная цветовая компонента кадра, наилучшим образом соответствующая цвету

наблюдаемого объекта (в нашем случае отслеживается движение синего шара), а затем по положению максимума функции взаимной корреляции этой компоненты с шаблоном, размеры которого сопоставимы с размерами объекта, осуществляется его пространственная локализация в кадре.

Взаимная корреляционная функция двух изображений $\mathbf{K}(\mathbf{m}, \mathbf{n})$ описывается соотношением:

$$\mathbf{K}(\mathbf{n}, \mathbf{m}) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M [\mathbf{A}(\mathbf{i}, \mathbf{j}) \mathbf{B}(\mathbf{i}, \mathbf{j})],$$

где $\mathbf{A}(\mathbf{i}, \mathbf{j})$ и $\mathbf{B}(\mathbf{i}, \mathbf{j})$ – двумерные массивы чисел, определяющие яркость пикселей изображения кадра размером $\mathbf{M} \times \mathbf{N}$ и шаблона размером $\mathbf{p} \times \mathbf{p}$ точек; \mathbf{n}, \mathbf{m} – координаты точки, для которой вычисляется значение корреляционной функции. В Matlab эта процедура выполняется с помощью стандартной функции $\mathbf{k} = \mathbf{xcorr2}(\mathbf{a}, \mathbf{b})$, которая вычисляет двумерную взаимную корреляционную функцию двух изображений по выборкам, заданным в матрицах \mathbf{a} и \mathbf{b} . Для точной локализации положения объекта в кадре далее необходимо нормировать функцию взаимной корреляции на единицу и провести её бинаризацию с высоким порогом отсечения по яркости. Для определения положения объекта с точностью до пикселя значение порога обычно устанавливают равным 0,999.

Далее необходимо определить координаты точки максимума корреляционной функции в системе координат кадра видео. Поскольку начало координат кадра соответствует левому верхнему углу снимка, нужно методом параллельного переноса перейти к центральной прямоугольной системе координат с началом в точке, координаты которой равны половине размера кадра. Такой переход, обеспечивающий удобство расчета и отображения параметров траектории и вычисления нужных показателей (дальности, угловых координат и скорости), затруднений не вызывает.

Однако действие шумов в условиях видеосъемки на натуре приводит к существенному ухудшению отношения яркости объекта наблюдения к яркости фона. Это было промоделировано в Matlab наложением на исходное изображение кадров видео различного вида шумов (гауссовых, импульсных и мультипликативных). На рис. 1 приведен пример кадра, в котором положение объекта замаскировано гауссовым шумом высокой интенсивности.

При обработке видеопоследовательности восстанавливалась траектория движения синего шара при отсутствии и наличии помех различного характера и интенсивности. На рис. 2 видно, что под воздействием шума происходит смещение точек, определяющих положение объекта в каждом кадре, а при

высокой плотности шумов появляются аномальные ошибки. Это обусловлено появлением на фоновых участках изображения в кадре шумовых фрагментов, яркость которых превосходит яркость наблюдаемого объекта, что приводит к появлению ложных интенсивных компонент функции взаимной корреляции, и, следовательно, порождает ошибки обнаружения.

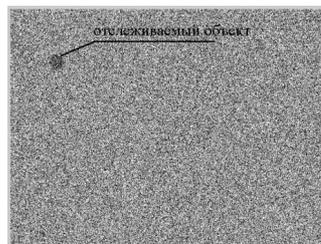


Рис. 1. Объект в кадре при высоком уровне шумов

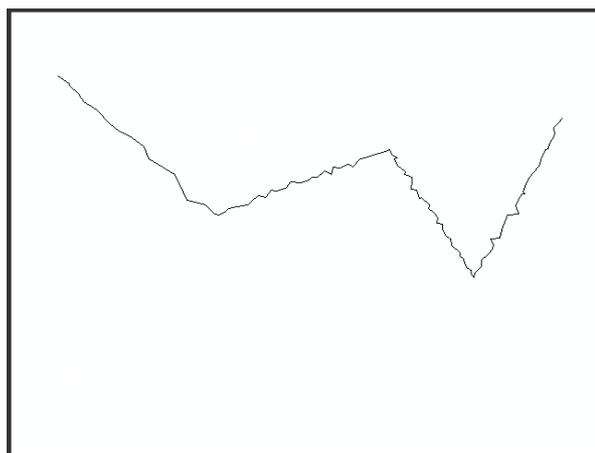
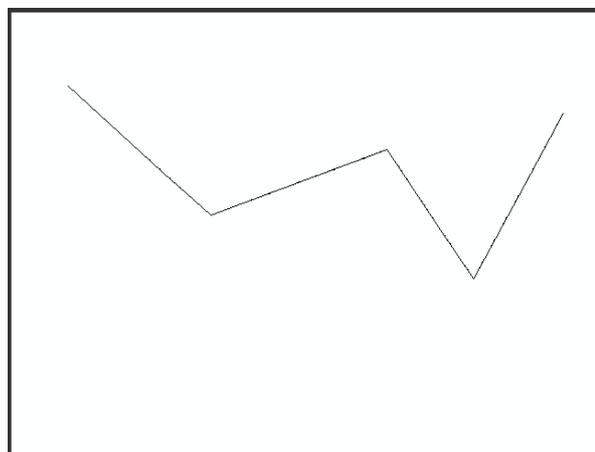


Рис. 2. Влияние помех на качество траекторных измерений

Поэтому в данной работе определялась степень влияния различных помех на качество оценки траекторных параметров и выявлялись пороги устойчивой работы алгоритмов в зависимости от плотности действующих шумов. Кроме этого сформулированы

рекомендации по фильтрации кадров видео от помех, что позволяет заметно повысить диапазон устойчивой работы используемых алгоритмов обработки данных.

Результаты экспериментальных исследований

При проведении исследований в качестве критерия оценки влияния помех на качество определения информационных параметров использовалась величина среднеквадратической ошибки **MSE** (mean square error). Однако для наглядности представления результатов моделирования был применен показатель среднеквадратического отклонения рассчитываемых параметров $SKO = \sqrt{MSE}$, отражающий степень разброса оценок в пикселях. При привязке кадра к реальным координатам достаточно умножить значение **SKO** на масштабирующий коэффициент, зависящий от условий проведения съемки.

На рис. 3 а приведены результаты моделирования влияния гауссовых шумов различной интенсивности на качество оценки траекторных параметров (дальности наблюдаемого объекта от начала координат кадра и его углового положения). Кроме этого оценивалась степень разброса оценки координат объекта в кадре в зависимости от дисперсии гауссова шума **q**.

Анализ показал, что наиболее чувствительной к действию шума является оценка параметра дальности объекта, а устойчивая работа алгоритма лежит в диапазоне дисперсий внешнего шума $q = 0 - 0,45$. Дальнейшее повышение уровня шумов приводит к возникновению аномальных ошибок и дисперсия

оценок траекторных параметров существенно возрастает. Однако применение обычной процедуры низкочастотной фильтрации зашумленных кадров видео увеличивает порог устойчивой работы до $q = 0,55$ (рис. 3 б).

Аналогичные результаты получены и при анализе действия импульсных шумов с различной плотностью распределения (рис. 4). В этом случае применение процедуры медианной фильтрации кадров позволяет обеспечить увеличение порога устойчивой работы алгоритма до значений плотности шумов $p = 0,6$

Исследование влияния мультипликативных помех показало, что порог устойчивой работы алгоритмов близок к показателям, рассмотренным в предыдущих случаях (рис. 5), а лучшим способом повышения эффективности является проведение предварительной винеровской фильтрации кадра.

Заключение

В данной работе методом моделирования в Matlab проведен анализ устойчивости корреляционно-экстремальных алгоритмов оценки траекторных параметров по результатам видеонаблюдения к воздействию шумов. Получены количественные оценки порогов устойчивой работы для гауссовых, импульсных и мультипликативных помех, а также сформулированы рекомендации по фильтрации кадров видео для повышения эффективности использования алгоритмов в сложной помеховой обстановке.

Полученные данные будут полезны для адаптации алгоритмов и программного обеспечения оптических систем траекторных измерений при работе в условиях сложной динамики изменения освещенности области сцены.

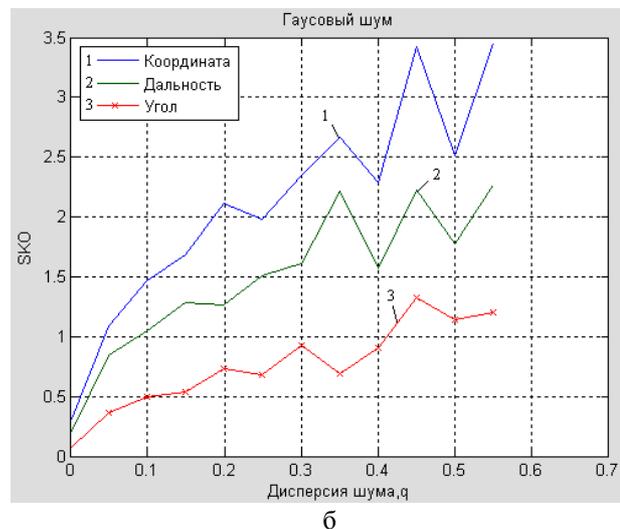
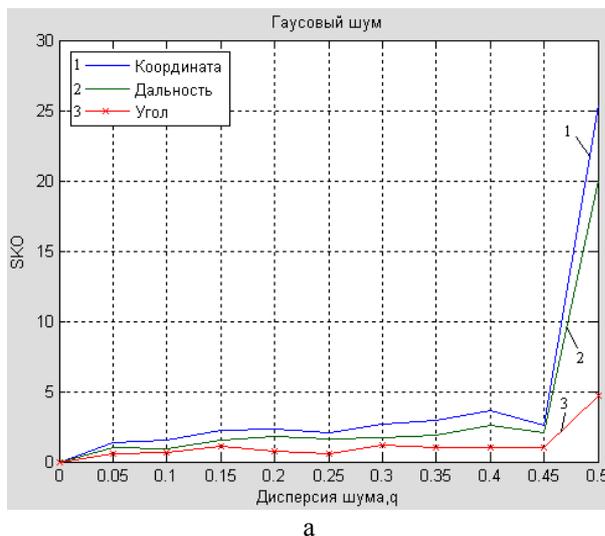


Рис. 3. **SKO** оценок координат (1), дальности (2) и углового положения (3) объекта при действии гауссовых шумов: а – без использования фильтров, б – с использованием фильтров

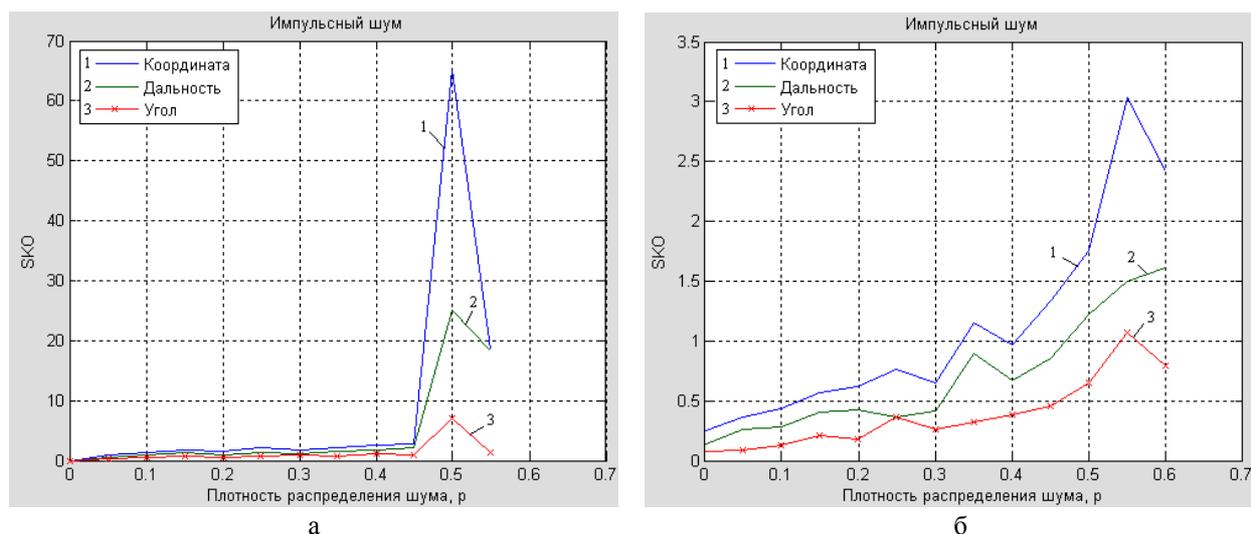


Рис. 4. SKO оценок координат (1), дальности (2) и углового положения объекта (3) при действии импульсных шумов: а – без использования фильтров, б – с использованием фильтров

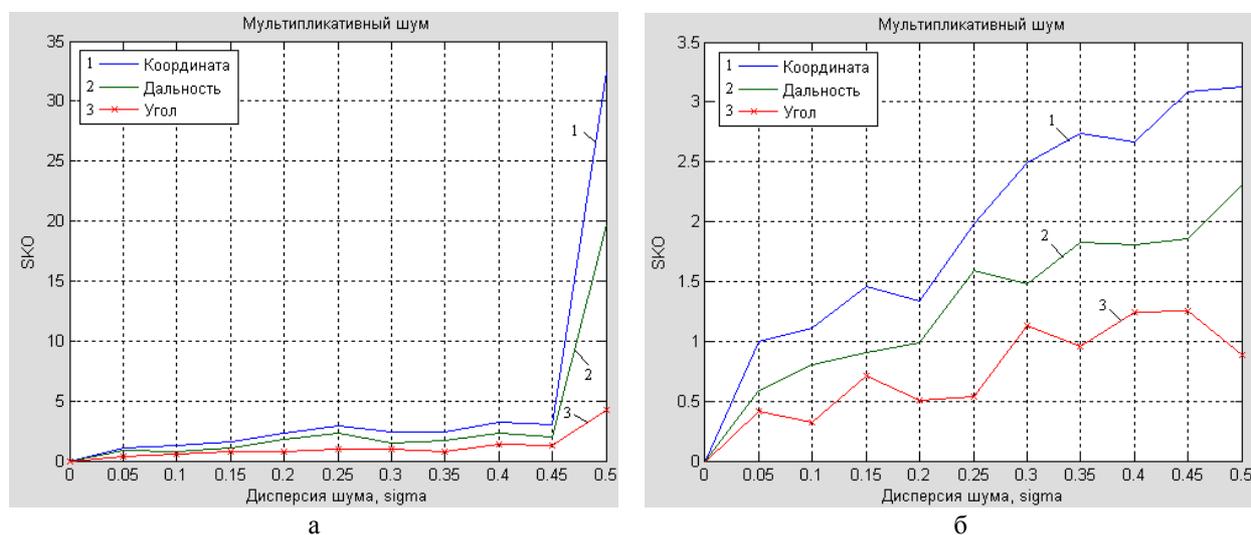


Рис. 5. SKO оценок координат (1), дальности (2) и углового положения объекта (3) при действии мультипликативных шумов: а – без использования фильтров, б – с использованием фильтров

Литература

1. Определение координат и параметров движения объекта на основе обработки изображений [Текст] / Л. А. Мартынова, А. В. Корякин, К. В. Ланцов, В. В. Ланцов // Компьютерная оптика. – Самара, 2012. – Т. 36, № 2. – С. 266 – 273.

2. Lucas, B. An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision [Text] / B. Lucas, T. Kanade // 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI): materials of the international seminar, 24-28 august, 1981. – Vancouver, 1981. – P. 123-129.

3. Нгуен, В. Ч. Иерархический адаптивный алгоритм шаблонного поиска для оценки движения при анализе видеопоследовательности [Текст] / А. А. Тропченко // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – СПб, 2016. – Т. 16, № 3. – С. 474-481.

4. Patterson, M. Gpops-ii: A matlab software for solving multiple-phaseoptimal control problems using hp-adaptive gaussian quadrature collocation methods and sparse nonlinear programming [Text] / M. Patterson, A. Rao // ACM Transactions on Mathematical Software. – 2013. – vol. 39, no. 3. – P. 1:1-1:41.

5. Detecting Moving Objects, Ghosts, and Shadows in Video Streams [Text] / R. Cucchiara, C. Grana, M. Piccardi, A. Prati // Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions. – Oct. 2013. – Vol.25, Iss. 10. – P. 1337 – 1342.

References

1. Martynova, L. A., Koryakin, A. V., Martynova, L. A., Lantsov, K. V., Lantsov, V. V. Opredelenie koordinat i parametrov dvizheniya obiekta na osnove obrabotki izobrazheniy [Determination of coordinates and parameters of movement of an object on the basis of

image processing]. *Computer optics*, 2012, vol. 36, no. 2, pp. 266 – 273.

2. Lucas, B., Kanade, T. An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision *Proc. of 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI). Materials of the international seminar, 24-28 august, 1981*, Vancouver Publ., pp. 123-129.

3. Nguyen, Van Truong, Tropchenko, A. A. Ier-arhicheskiy adaptivniy algoritm shablonogo poiska dlya ocienki dvijeniya pri analize videoposledovatel-nosti [Hierarchical adaptive rood pattern search for motion estimation at video sequence analysis]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies*,

Mechanics and Optics, 2016, vol. 16, no. 3, pp. 474–481.

4. Patterson, Michael, Rao, Anil. Gpops-ii: A matlab software for solving multiple-phaseoptimal control problems using hp-adaptive gaussian quadrature collocation methods and sparse nonlinear programming. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 2013, vol. 39, no. 3, pp. 1:1–1:41.

5. Cucchiara, R., Grana, C., Piccardi, M., Prati, A. Detecting Moving Objects, Ghosts, and Shadows in Video Streams. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions*, Oct. 2013, vol. 25, iss. 10, pp. 1337 – 1342.

Поступила в редакцію 11.11.2016, рассмотрена на редколлегии 9.12.2016

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕШКОДОСТІЙКОСТІ АЛГОРИТМІВ ТРАЄКТОРНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПО ВІДЕОДАНИМ

Л. О. Краснов, С. Е. Лямцев

Досліджено перешкодостійкість кореляційно-екстремальних алгоритмів оцінки параметрів руху об'єкта за результатами відео спостереження методом моделювання в програмі Matlab. Оцінено пороги стійкості процедур вимірювання дальності, кутових і швидкісних параметрів на фоні дії гаусових, імпульсних та мультиплікативних шумів. Наведено рекомендації щодо застосування процедури фільтрації з метою підвищення порога стійкої роботи. Результати проведених досліджень необхідно враховувати при проектуванні систем технічного зору різного призначення.

Ключеві слова: аналіз перешкодостійкості, траєкторні вимірювання, поріг стійкої роботи алгоритмів.

RESEARCH NOISE-IMMUNITY OF ALGORITHMS FOR TRAJECTORY MEASUREMENTS BASED ON VIDEO DATA

L. A. Krasnov, S. E. Lyamtsev

The noise-immune algorithms for estimating parameters of moving objects by video data are presented by modeling in Matlab, the noise immunity of correlation-extremal algorithms needed to estimate parameters of moving objects by video data has been investigated. Thresholds of stability of procedures of measurement of range, angular and high-speed parameters against the background of action of Gaussian, pulse and multiplicative noise are estimated. Recommendations about application the procedure of a filtration for the purpose of increase in a threshold of steady work are provided. Results of the conducted researches need to be considered at design of systems technical sight of different function.

Key words: noise-immunity analysis, trajectory measurements, threshold of steady work of algorithms.

Краснов Леонид Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедри систем управління летательних апаратів, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: leonid_krasnov@mail.ru.

Лямцев Сергей Эдуардович – студент кафедри систем управління летательних апаратів, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: sergey.lyamtsev.00@mail.ru.

Krasnov Leonid Alekandrovich – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. control systems of aircraft, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: leonid_krasnov@mail.ru.

Liamtsev Serhii Edvardovich – student, faculty control systems of aircraft, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: sergey.lyamtsev.00@mail.ru.