

УДК 004.932.2

**СОПРОВОЖДЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯХ С ПОМЕХАМИ**

К.А. ВОЛКОВ, Д.И. КИРИЛЮК, А.А. НАСТИН,  
Н.В. СТЕПАНОВ, Ч. ЦИХУЭЙ, А.Р. АЛЬ-РИФАИ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 30 ноября 2017*

Рассмотрены вопросы сопровождения объектов на видеоизображениях с помехами. Предложен адаптивный метод сопровождения объектов на основе анализа уровня шума в кадре. Проведено практическое исследование применимости метода.

*Ключевые слова:* сопровождение объектов, видеоизображение, помеха.

**Введение**

Активное применение беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для решения ряда практических задач по мониторингу дорожного движения, охране объектов и обнаружению нарушителей границ, осуществлению аэрофото- и кино съемки, разведки и корректировки огня в условиях военных действий делает необходимым использование алгоритмов автоматического сопровождения подвижных объектов на видеоизображении с бортовой камеры [1]. Однако БЛА малого и сверхмалого классов имеют существенные ограничения на массогабаритные параметры и как следствие, – ограниченную мощность и емкость бортовых энергосистем. В свою очередь, это обуславливает применение аналоговых трактов передачи видеоданных от БЛА к оператору, а также невозможность реализации сложных систем видеоаналитики непосредственно на борту. Потому реализация алгоритмов сопровождения и систем автоматического дистанционного управления БЛА во многих случаях производится на наземных пунктах управления, вынужденно оперирующих с видеопотоком, имеющим значительную задержку и содержащим помехи. Таким образом, актуальной является задача разработки алгоритма сопровождения подвижных объектов на видеоизображениях с помехами.

**Анализ особенностей видеоизображения**

Видеоизображение, передаваемое по аналоговому радиоканалу с последующей оцифровкой, имеет ряд особенностей, которые затрудняют использование существующих алгоритмов сопровождения объектов. Проведенный в работе анализ множества записей полученных с бортовой камеры БЛА видеоизображений позволил выявить следующие закономерности.

1. Видеоизображение может содержать помехи вида «соль-перец» и рассинхронизацию строк в виде «гребенки» (построение математических моделей помех, а также их статистическая оценка не производились). Также могут присутствовать эффект пропадания или искажения цвета.

2. Помехи присутствуют не на всех кадрах видеопоследовательности, однако обычно кадры с помехой сгруппированы подряд в последовательность из 5–30 кадров, которая повторяется через несколько минут, что обусловлено работой поворотной антенной системы.

3. Помеха может присутствовать на значительном числе кадров или на всей видеопоследовательности, что обуславливается особенностями рельефа в зоне полета БЛА,

метеоусловиями, источниками электромагнитных помех, низким качеством наземных кабельных систем и блока оцифровки.

В литературе представлен ряд методик по оценке уровня шума на видеоизображениях, использующих данные одного или нескольких кадров [1, 2].

Применение метрики на основе нескольких кадров обычно подразумевает наличие неподвижного фона изображения (для формирования модели усредненного фона и вычисления разности между ним и кадром), что для БЛА в чистом виде не применимо. Экспериментально установлено, что предварительное совмещение кадров (даже с субпиксельной точностью) для эмуляции неподвижности фона сцены приводит к значительному искажению значения метрики, что обуславливается погрешностью алгоритмов пиксельной аппроксимации, а также естественными эффектами параллакса для видеоизображения с подвижной камеры. Таким образом, значительные вычислительные затраты на совмещение кадров, расчет метрики, а также низкая презентативность этой группы методов для аэросъемки делают ее малоперспективной для использования в видеоаналитических системах БЛА.

Метрики уровня шума на основе одиночного кадра считаются менее точными, однако обычно требуют меньших вычислительных затрат. Методы этой группы можно разделить на 2 вида: методы на основе анализа спектра изображения (требуют больших вычислительных затрат) и методы на основе вычитания исходного и размытого изображений (математически более грубые). Важно отметить, что физический смысл методов этой группы сводится к оценке мощности высокочастотной составляющей спектра на изображении, причем разграничить влияние на нее объектов сцены и шумов затруднительно или невозможно.

Для оценки применимости метрики оценки уровня шума на основе одного кадра для обнаружения помех были проведены эксперименты с реальными видеозаписями бортовой камеры во время полета БЛА, а также видеозаписи с искусственным добавлением шума.

В результате анализа реальных полетных видеозаписей установлено, что значения метрики уровня шума для соседних кадров различают незначительно (1–20% в зависимости от формулы вычисления, видимых объектов сцены, скорости движения БЛА, наличия колебаний по крену и др.). В то же время для кадра с помехами метрика вырастает на 80–300% и более, что позволяет однозначно определять ситуации, когда после серии обычных кадров начинается серия кадров с помехами.

Для проверки применимости данного подхода также была разработано программное средство (ПС), осуществляющее изменение кадров, согласно выбранной модели шума с последующим вычислением метрики (рис. 1).



Рис. 1. Интерфейс программы для вычисления метрики уровня шумов

В ПС были реализованы параметризуемые генераторы искажений изображения на основе пространственных моделей шума (Гауссова, экспоненциального, равномерного, импульсного, шумов Рэлея, Эрланга) и частотных моделей шума (белого, красного, синего, серого). В результате анализа видеозаписей с искусственным добавлением шума установлено, что значение метрики по одному кадру наиболее презентативно для гауссовского и импульсного шумов и их комбинации, что визуально соответствует искажениям на реальных видеозаписях с бортовой камеры. В зависимости от используемой модели и ее параметров изменение метрики между исходным и зашумленным кадрами составило 50–300%. Также было отмечено, что другие модели шума могут детектироваться, но результаты их применения зрительно отличаются от встречающихся на полетных видеозаписях.

### **Анализ применимости существующих методов сопровождения**

В настоящее время разработано и эффективно используется на практике значительное число алгоритмов сопровождения подвижных объектов [3]. Обобщенно каждый из них включает следующие этапы.

1. Выбор объекта на кадре для сопровождения. При этом производится ручное или автоматическое определение контуров или ограничивающего прямоугольника для сопровождаемого объекта.

2. Расчет параметров сопровождаемого объекта, используемых для метрики схожести при сравнении с возможными объектами-кандидатами на следующих кадрах.

3. Определение области поиска объекта на очередном кадре видеопоследовательности.

4. Поиск объектов-кандидатов в определенной области поиска и сравнение их с параметрами сопровождаемого объекта.

5. Определение координат объекта в кадре на основе метрики схожести или фиксации потери объекта.

6. Итерационное повторение шагов 3–6 для всех кадров видеопоследовательности, пока объект не будет потерян или сопровождение не будет прервано оператором.

Анализируя наиболее популярные способы определения метрики схожести объекта и кандидата, используемые на практике, можно выделить следующие основные из них:

- пространственная корреляция областей внутри ограничивающих прямоугольников (например, методы поиска шаблона, Лукаса-Канаде);

- схожесть ковариационных матриц, вычисленных для областей внутри ограничивающих прямоугольников;

- фазовая корреляция областей внутри ограничивающих прямоугольников;

- корреляция яркостных или цветовых диаграмм областей внутри ограничивающих прямоугольников;

- схожесть форм-факторов и/или геометрических параметров сегментов изображения, соответствующих проекции объекта;

- схожесть расположения внутренних особых точек и/или внешних контурных точек (SIFT, SURF, ORB, STAR и др.).

Для оценки применимости различных методов сопровождения подвижных объектов на основе библиотеки OpenCV 3.2 [4–6] был создан ряд программных реализаций автоматов сопровождения, которые были подключены к приложению управления целевой нагрузкой БЛА (рис. 2). Эксперименты проводились со следующими записями видеоизображения реальных полетов полученного с помощью цветной, черно-белой и тепловизионной камерами переданного по аналоговому радиоканалу с последующей оцифровкой; видеоизображения в реальном времени, полученного с помощью с цветной камеры; видеозаписью симуляции полета в среде моделирования X-Plane с программным эмулированием помех. Анализ полученных результатов позволил выявить следующие закономерности.

1. При увеличении на изображении количества помех любого типа увеличивается количество ошибок первого и второго рода (потеря объекта, переход на другой объект), при этом зависимость является нелинейной.

2. Уровень помех оказывает наибольшее влияние на качество сопровождения малоразмерных объектов, вплоть до невозможности захвата сопровождаемого объекта.

3. Наименее чувствительными к уровню шума являются методы на основе ковариационных матриц и фазовой корреляции. Наиболее чувствительными – методы на основе поиска ключевых точек. Исключением являются методы сопровождения на основе выделения особых точек, которые очень чувствительны к шумам.

4. Наилучшим образом сопровождается объект, при захвате которого кадр имел минимальный уровень помех. Это справедливо и для алгоритмов с перезахватом объекта в процессе сопровождения.



Рис. 2. Интерфейс программы управления целевой нагрузкой БЛА со включенным автоматом сопровождения

### Адаптивный метод сопровождения объектов на виде с помехами

С учетом выявленных особенностей в работе был предложен адаптивный метод сопровождения объектов на видеоизображениях с помехами. Он включает в себя следующие шаги.

Шаг 1. Определение среднего уровня помех  $L_{AVG}$  за последние  $N$  кадров ( $N = 10..100$ ) по выбранной метрике. Если уровень помех выше порогового ( $L_{AVG} > L_{Corr}$ ), необходимо запретить захват (перезахват) объекта.

Шаг 2. Определение уровня помех в текущем кадре  $L_{Frame}$ . Если уровень помех  $L_{Frame}$  в текущем кадре значительно превышает средний уровень помех  $L_{AVG}$  ( $L_{Frame}/L_{AVG} > n_{Accept}$ , где  $n_{Accept}$  – пороговое значение), необходимо запретить захват (перезахват) объекта.

Шаг 3. Если разрешен захват объекта (выделение объекта-шаблона для поиска), то проведение первого захвата объекта в кадре по координатам, указанным оператором, или по найденным при сопровождении координатам.

Шаг 4. Расчет вектора параметров  $\vec{P}_{Template}$  объекта-шаблона для сравнения с возможными объектами-кандидатами на следующих кадрах.

Шаг 5. Переход к следующему кадру и определение области поиска объектов-кандидатов.

Шаг 6. Поиск объектов-кандидатов и вычисление для каждого из них вектора параметров

$$\vec{P}_{Candidate}^i$$

Шаг 7. Выделение вектора  $\vec{P}_{GoodCandidate}$  наиболее близкий к  $\vec{P}_{Template}$  по выбранной метрике для сравнения из множества векторов параметров  $\{\vec{P}_{Candidate}^i\}$ .

Шаг 8. Если величина метрики сходства векторов параметров ниже порогового значения  $n_{Similarity}$ , – то фиксирование факта потери объекта при сопровождении и переход к шагу 1.

Шаг 9. Вычисление экранных координат найденного объекта.

Шаг 10. Если число кадров с момента захвата цели превышает пороговое значение  $n_{Recapture}$ , – то разрешение перезахвата цели.

Шаг 11. Если оператор отменил сопровождение – выход, иначе – переход к шагу 1.

### Заключение

В работе проанализированы особенности использования алгоритмов сопровождения подвижных объектов на видеоизображениях, полученных по аналоговому радиоканалу с последующей оцифровкой. Предложен адаптивный метод сопровождения подвижных объектов, позволяющий значительно снизить количество случаев потери цели (до 8 раз) и случаев перехода на другой объект (до 3 раз) по сравнению с используемым прототипами за счет использования метрики уровня шума в кадре при осуществлении захвата и перезахвата объекта для сопровождения.

## OBJECT TRACKING ON VIDEO IMAGES WITH INTERFERENCE

K.A. VOLKOV, D.I. KIRYLUK, A.A. NASTIN,  
N.V. STEPANOV, Z. QIHUI, A.R. AL-RIFAI

### Abstract

The issues of tracking objects on videoimages with interference are considered. An adaptive method for tracking objects on the basis of noise level analysis in the frame is proposed. Practical study of the applicability of the method is carried out.

*Keywords:* object tracking, videoimages, interference.

### Список литературы

1. *Бабаян П.В., Алпатов Б.А., Стапаншин А.И. и др.* Системы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. М., 2008.
2. *Amit Y.* 2D Object Detection and Recognition: models, algorithms and networks. The MIT Press, 2002.
3. *Maggio E., Cavallaro A.* Video Tracking: Theory and Practice. New York, 2011.
4. *Bradski G., Kaehler A.* Learning OpenCV Computer Vision with OpenCV Library. O' Reilly Media Publishers, 2008.
5. *Baggio D., Escriva D., Mahmood N. et. al* Mastering OpenCV with Practical Computer Vision Projects. Birmingham, 2012.
6. *Gady A.* Introduction to programming with OpenCV. Chicago, 2006.