

УДК 629.735:621.391.837.3

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯРКОСТИ ПИКСЕЛЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОПТИКО-ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

ЦУПРИК С. В., СОЛОНАР А. С.

Военная академия Республики Беларусь
(г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: Serhio.Observer@yandex.ru, andsnew@yandex.ru

Аннотация. Разработана методика исследования статистических свойств яркости пикселей изображений, позволяющая повысить качество выбора требуемой математической модели. В соответствии с данной методикой приведены результаты анализа видеозаписей наземной фоно-целевой обстановки, полученные бортовой оптико-локационной системой беспилотного летательного аппарата. Сформулированы требования, предъявляемые к математической модели яркости в условиях наземной фоно-целевой обстановки.

Abstract. A technique has been developed for studying the statistical properties of the brightness of image pixels, which makes it possible to improve the quality of choosing the required mathematical model. In accordance with this technique, the results of the analysis of video recordings of the ground background-target environment, obtained by the onboard optical-location system of an unmanned aerial vehicle, are presented. The requirements for the mathematical model of brightness in the conditions of ground-based phono-target environment is formulated.

Введение

Вопросам эффективного использования информации, полученной от бортовой оптико-локационной системы (ОЛС) с целью слежения за наземными объектами посвящено множество отечественных и зарубежных публикаций [1,2,4-7]. К таким объектам относятся наземный транспорт гражданского и военного назначения, люди, объекты инфраструктуры и другие. При этом проблемы слежения в ОЛС усугубляются наблюдением объектов на сложном и неоднородном фоне (дорожное покрытие, ландшафт, растительность, другие наземные объекты). Так же, для наземной фоно-целевой обстановки, характерно присутствие большого количества объектов в кадре ОЛС одновременно, что усложняет решение задачи слежения в ручном режиме оператором.

В случае многоцелевой ситуации эффективным решением является автоматизация процесса слежения за наземными объектами по данным бортовой ОЛС. Чаще всего, процесс автоматизации реализуется при помощи нескольких широко известных подходов, основанных на контурном анализе изображений, выделении опорных (реперных) точек, экстремально-корреляционном анализе, а также применении нейросетевых алгоритмов [3]. Однако вопрос их эффективного применения в условиях наземной фоно-целевой обстановки остаётся актуальным, ввиду большого многообразия получаемых изображений. В свою очередь многообразие привело к появлению ряда общепринятых математических моделей изображений [1-5]. Большинство из них обеспечивают возможность анализа и синтеза алгоритмов слежения для относительно простых условий наблюдения, характеризующихся однородным фоном и стационарностью параметров наблюдаемых объектов. Для иных условий степень адекватности применения существующих математических моделей яркости изображения может быть определена путём исследования статистических свойств яркости пикселей.

В работе представлена методика исследования статистических свойств яркости пикселей изображений, позволяющая выбрать математическую модель с наибольшей степенью адекватности. Приведены результаты анализа видеозаписей наземной фоно-целевой обстановки, полученные бортовой оптико-локационной системой, позволяющие предъявить требования к выбранной математической модели.

Методика исследования статистических свойств яркости

Предлагаемая методика исследования статистических свойств яркости состоит из следующих этапов:

1. Формирование банка данных, содержащего однотипные видеозаписи для заданных условий наблюдения;

2. Извлечение из банка данных изображений, принадлежащих интересующим объектам. Формирование яркостных срезов пикселей;

3. Оценка закона и числовых параметров распределения яркости изображений методом гистограмм. Анализ распределений яркости отдельных пикселей. Построение и анализ автокорреляционных функций (АКФ);

4. Оценка динамической устойчивости яркости пикселей изображения (оценка стационарности).

Для проведения исследований в соответствии с изложенной методикой, разработан программный комплекс экспериментальных исследований, структурная схема которого приведена на рисунке 1.

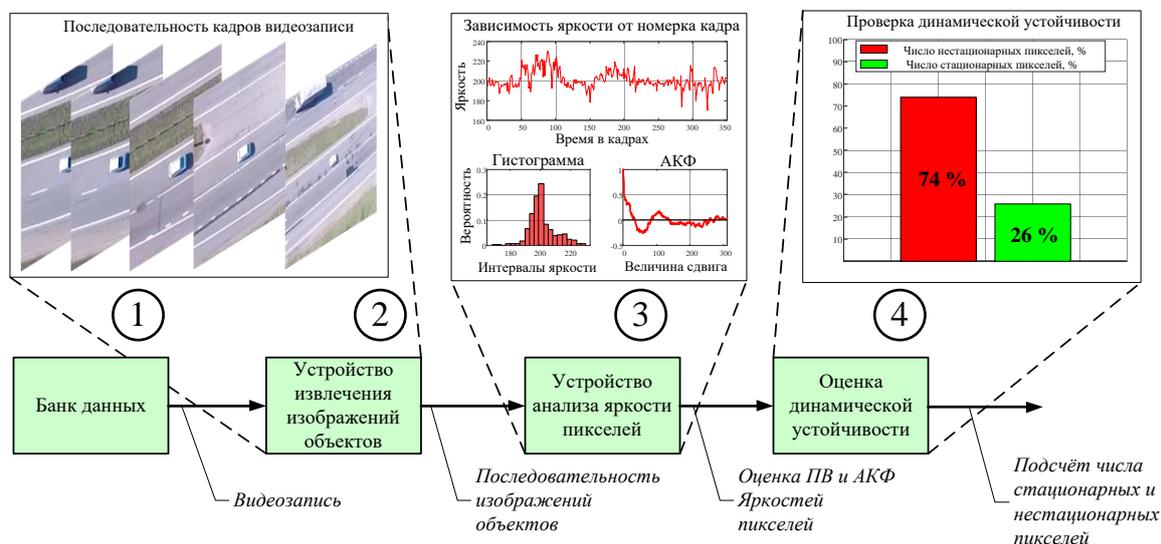


Рис. 1. Структурная схема программного комплекса экспериментальных исследований

В структуру программного комплекса входят следующие элементы: банк данных, устройство извлечения изображений объектов, устройство анализа яркости пикселей, устройство оценки динамической устойчивости.

Формирование банка данных. В банк данных записываются только те записи, которые удовлетворяют требованиям наблюдаемости отдельных объектов на неоднородном фоне. К таким записям можно отнести результаты наблюдения транспортных средств, движущихся по оживленной магистрали или пересечённой местности. В качестве фона могут выступать дорожное покрытие с нанесённой разметкой, дорожные знаки, а также участки с зелёными насаждениями. Изображения объекта и фона, как правило, носят мультипликативный характер, что приводит к возможности полного или частичного затенения объектами друг друга в кадре. Для обеспечения объективности анализа записи должны быть сделаны для однотипных условий наблюдения одной камерой. Для обеспечения наблюдаемости объектов записи должны проводиться в светлое время суток при отсутствии осадков и прочих условий, мешающих наблюдению. Устойчивое наблюдение объектов на пестром фоне при размере объекта не менее 8 пикселей по каждой координате, но не более чем размер кадра.

Извлечение изображений объектов из видеозаписей банка данных. Извлечение изображений объектов из видеозаписей происходит последовательно на каждом кадре. Выбор области на изображении, принадлежащей объекту, осуществляет оператор в ручном режиме путём выдачи целеуказания на изображении кадра видеозаписи. При этом должно выполняться требование наблюдаемости объекта (объект не затеняется другими объектами или элементами фона). Размеры объекта на протяжении всей записи не должны существенно изменяться, и считаются равными размерам изображения на первом кадре. Выделенные изображения объекта упорядоченно во времени запоминаются в буфер для дальнейшей обработки.

Анализ яркостей пикселей изображений объектов, хранящихся в буфере. Процедура анализа яркости пикселя осуществляется в трёх цветовых каналах RGB и включает в себя 3 этапа:

1. Извлечение значений яркости пикселей на последовательно каждом кадре (зависимости яркости от номера кадра). Формирование яркостных срезов пикселей;
2. Построение гистограмм яркости. Оценка числовых характеристик распределения яркости;
3. Построение и анализ автокорреляционной функции яркости;

Оценка динамической. Оценка динамической устойчивости (стационарности) осуществляется независимо в каждом пикселе в трёх цветовых каналах RGB методом выделения интервалов стационарности. Для определения границ интервалов стационарности применяется метод тестирования временного ряда на стационарность KPSS (Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin) [8]. Выбор данного метода обусловлен высокой точностью и независимостью от закона распределения. Яркость пикселя считается динамически устойчивой во времени, если длительность интервала стационарности равна времени наблюдения объекта в кадре. В противном случае процесс изменения яркости пикселя считается нестационарным. Итоговая оценка динамической устойчивости определяется путём подсчёта пикселей изображения объекта, являющихся стационарными и нестационарными. Так, процесс изменения яркости изображения объекта считается динамически устойчивым, если более 60% всех пикселей являются стационарными, а наличие случайной динамики во времени не оказывает существенного влияния.

Результаты экспериментальных исследований

Исходными данными для проведения экспериментальных исследований являются видеозаписи, полученные бортовой ОЛС. На записях изображены движущаяся наземная техника, как военного, так и гражданского назначения (рис. 3). Съёмка производилась в светлое время суток в условиях хорошей видимости и отсутствия мешающих факторов (дождь, снег, туман и т.д.). Запись осуществлялась с разрешением 1920×1080 пикселей и 29 кадров в секунду.



а



б



в



г

Рис. 2. Условия наблюдения наземных объектов по данным бортовой ОЛС: а),б) – движение гражданской техники по автомагистрали; в),г) – военная техника на марше

В соответствии с пунктами 1 и 2 методики сформирован банк данных изображений объектов, состоящий из 18 записей. Общий размер анализируемой выборки составил более 100000 отсчётов яркости. Размеры изображений объектов фиксированы и составили 32x32 пикселей. При этом считается, что в процессе наблюдения размеры изображений объектов остаются неизменными. Объекты наблюдаются с различных ракурсов за счёт собственного движения, движения БЛА и поворота ОЛС. Фон имеет сложную структуру, поскольку включает в себя различные элементы, такие как дорогу с нанесённой разметкой, участки растительности, а также другие проезжающие мимо автомобили. Считается, что часть пикселей фона принадлежит изображениям объектов и составляет не более 10 % от общего числа пикселей.

В соответствии с пунктом 3 методики проведён анализ распределения яркостей пикселей и их корреляционных свойств по данным яркостных срезов (рисунок 3). Анализ распределения осуществлялся методом гистограмм. Число интервалов группировки для построения гистограмм составило 50. Полученные гистограммы показывают, что распределения яркости пикселей и изображения носят многомодовый характер, что означает изменение параметров распределения в процессе наблюдения. В основном, изменения параметров распределения происходит за счёт изменения ориентации наблюдаемого объекта в пространстве, что приводит к искажению его изображения.

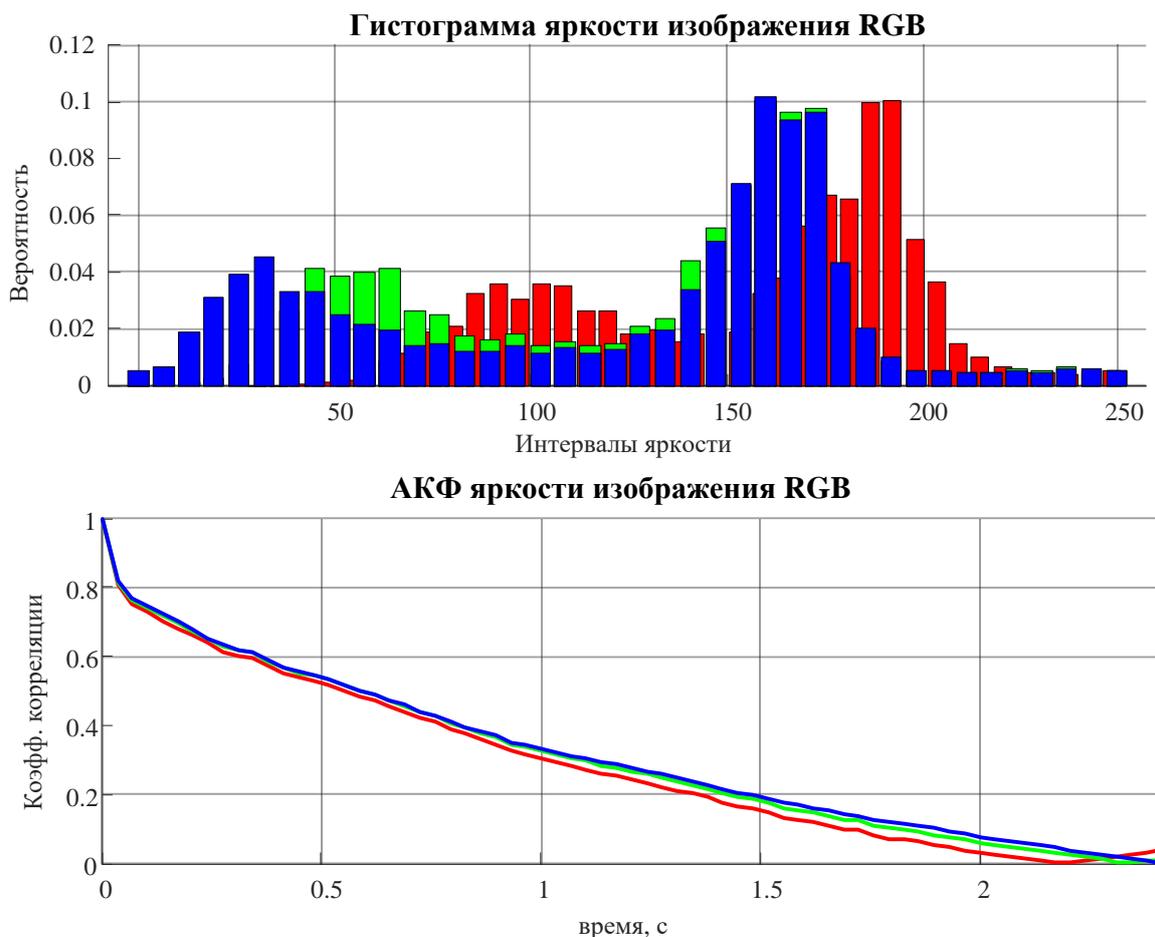


Рис. 3. Гистограммы яркости и АКФ изображения наземного объекта в трёх цветовых каналах RGB

Для оценки корреляционных связей между значениями яркости в разные моменты времени анализировались АКФ яркости изображения по всем пикселям на всём интервале наблюдения. Анализируя форму АКФ яркости, можно сделать вывод о том, что она может быть аппроксимирована экспоненциальной корреляционной функцией. Однако для каждого отдельного пикселя время корреляции может существенно отличаться. Поэтому для аппроксимации экспоненциальной АКФ время корреляции следует выбирать как среднее по всем пикселям изображения.

Изменение параметров распределения свидетельствует о нестационарности наблюдаемого процесса. Для подтверждения данной гипотезы произведена оценка динамической устойчивости KPSS. Результаты проверки приведены на рисунке 4 а). На графике видно, что 74% пикселей изображений, составляющих банк данных, являются нестационарными, что значительно больше, чем допустимый процент, определённый методикой проведения исследований. Оценка длительности интервалов стационарности приведена на рисунке 4 б). Полученная оценка распределения свидетельствует о высокой степени соответствия показательному закону. Для оценки степени соответствия использован известный

статистический критерий согласия хи-квадрат Пирсона. В результате установлено, что полученное распределение интервалов стационарности с доверительной вероятностью не меньше 0.9 соответствует показательному закону.

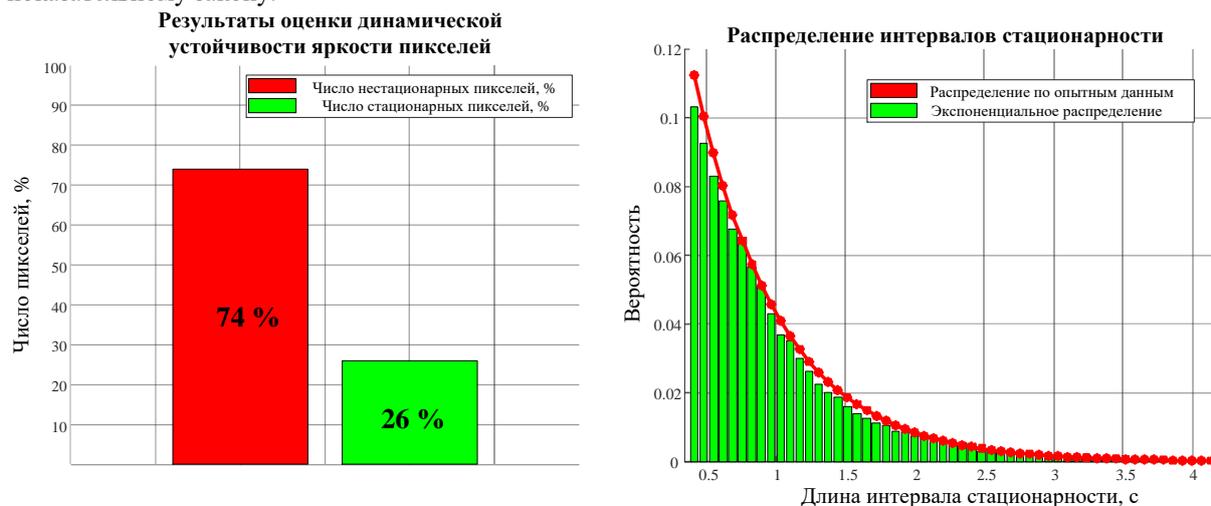


Рис. 4. Результаты оценки динамической устойчивости и распределения интервалов стационарности яркости пикселей

Соответствие длительностей временных интервалов показательному закону говорит о том, что процесс изменения яркости во времени может быть получен при помощи модели марковской последовательности с непрерывным временем, задаваемым Пуассоновским потоком событий.

Результаты экспериментальных исследований

Таким образом, в соответствии с предложенной методикой исследований статистических свойств яркости пикселей изображений, формируемых бортовой ОЛС, математическая модель яркости пикселя, принадлежащего изображению наземного объекта должна обладать следующими свойствами:

1. Закон распределения яркости пикселей не известен и имеет многомодовую структуру;
2. Процесс изменения яркости во времени носит преимущественно нестационарный характер (74 %) и обладает свойствами динамической системы, параметры которой изменяются во времени;
3. Длительности интервалов стационарности распределены по показательному закону, а смена состояний происходит в случайные моменты времени по Пуассоновскому закону;
4. Автокорреляционные свойства яркости во времени могут быть описаны АКФ экспоненциальной формы, время корреляции которой соответствует среднему значению времени корреляции в каждом пикселе изображения объекта.

Список использованных источников

1. Прэт, Э. Цифровая обработка изображений / Э. Прэт; перевод с английского под ред. Д.С. Лебедева. – М.: Мир; 1992 – 312 с.
2. Ягольников, С.В. Автоматическое обнаружение и сопровождение динамических объектов на изображениях, формируемых оптико-электронными приборами в условиях априорной неопределённости. Методы и алгоритмы / О.Б. Гузенко, А.Н. Катулев, А.А. Храмычев, С.В. Ягольников. – М.: Радиотехника, 2015. – 280 с.
3. Сойфер, В.А. Методы компьютерной обработки изображений / В.А. Сойфер и др. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
4. Алпатов, Б.А. Системы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.
5. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; пер. с англ. под ред. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
6. Крашениников, В.Р. Статистические методы обработки изображений: учебное / В.Р. Крашениников. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 167 с.
7. Артемьев, В.М. Основы автоматического управления систем РЭС. Теория динамических систем со случайными изменениями структуры.
8. Kwiatkowski D. Testing of the Null Hypothesis of Stationary against the Alternative of a UnitRoot / D. Kwiatkowski, P.C.B. Phillips, P. Schmidt, Y. Shin (1992) // Journal of Econometrics, 54, 159-178.