

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

Гаврилов Д.А.*

Ключевые слова: программно-алгоритмический комплекс, моделирование оптико-электронных систем, переработка визуальной информации, эффективность, показатели, алгоритмы первичной обработки видеосигнала, алгоритмы детектирования и локализации.

Аннотация.

Цель работы: совершенствование научно-методической базы оценки эффективности и качества сложных технических систем как элемента нормативно-правового регулирования в области стандартизации.

Метод: моделирование процессов переработки визуальной информации, позволяющее автоматизировать процесс проверки работы сложной информационно эффективной автоматизированной оптико-электронной системы аэрокосмического мониторинга.

Результаты: разработана интегрированная структура решения задачи оценки информационной эффективности сложной автоматизированной оптико-электронной системы аэрокосмического мониторинга и формально-математический аппарат оценки эффективности и функционального диагностирования. Для решения поставленной задачи разработан генератор, при помощи которого по набору определенных параметров регистрируется входящий видеоряд, параметрами могут являться траектории движения объектов, траектория движения камеры и искажения изображения кадра.

Достигнутым результатом решения задачи оценки информационной эффективности и функционального диагностирования является соответствие между параметрами входного видео и численными коэффициентами оценки качества работы сложной автоматизированной оптико-электронной системы аэрокосмического мониторинга.

DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-29-39

Введение

Автоматическое сопровождение цели (АСЦ) – режим работы автоматизированной оптико-электронной системы (АОЭС) наземно-космического мониторинга (НКМ), при котором без участия человека-оператора, а только под его контролем обеспечивается изменение ориентации оси или направления движения некоторых элементов комплекса вслед за изменениями траекторий и скоростей движения наблюдаемых объектов. Обнаружение и захват цели предшествуют задаче автоматического сопровождения цели [1]. В процессе АСЦ вычисляются текущие координаты и углы упреждения. Естественные или искусственные помехи могут вызвать необходимость перехода с режима АЦ на ручное сопровождение, что приводит к снижению устойчивости сопровождения [7].

АСЦ может быть основано на радиолокационном, фотооптическом, инфракрасном, квантово-оптическом, акустическом, магнитном и других принципах излучения и приёма сигналов, обрабатываемых счётно-решающим устройством по заданной программе [3, 8, 14].

Существенное значение имеет тестирование и оценка качества работы АОЭС НКМ в процессе разработки [2, 3]. Универсальным способом тестирования является сравнение вероятностей ошибок алгоритма. Оценки вероятностей ошибок могут быть получены эмпирически или с помощью тестирования на некоторой базе примеров или образцов [20]. Известны методы исследования *устойчивости* алгоритмов обнаружения и локализации объектов к различным искажениям, основанные на вычислении оценки вероятности ошибок с использованием метода Монте-Карло [15]. Используя наложение шума на изображение, возможно вычисление изменений качества алгоритма в зависимости от уровня зашумленности.

* Гаврилов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, докторант Института точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева Российской академии наук, Российская Федерация, г. Москва.

E-mail: gavrlov.da@mipt.ru

Кроме того, для оценки качества алгоритмов могут быть использованы имитаторы шумового сигнала или многоцелевой сцены. Недостатками известных имитаторов является имитация работы исключительно радиолокационного оборудования и невозможность тестирования и контроля систем, работающих в видимом и/или инфракрасном диапазонах длин волн, и/или основанных на квантово-оптическом, акустическом, магнитном и других принципах излучения, а также невозможность симуляции искусственного видеосигнала, позволяющего воспроизводить сгенерированный файл в системе автоматического и/или полуавтоматического обнаружения местонахождения и сопровождения цели [17].

Для оценки эффективности и функционального диагностирования реализованы следующие мероприятия: симуляция входных сигналов для АОЭС НКМ; визуальный и численный контроль результатов работы АОЭС НКМ [18, 19]. Интегрированная структура решения задачи оценки информационной эффективности и функционального диагностирования включает решение нескольких независимых подзадач. *Во-первых*, симуляция, в процессе которой осуществляется формирование входящего визуального информационного сигнала, а также запись *Ground Truth* – информации о нахождении отметок на каждом кадре, т.е. положения их центров и маски. *Во-вторых*, визуализация, в процессе которой формируется визуальный информационный сигнал с маркерами отметок, обнаруженных АОЭС НКМ. *В-третьих*, оценка, в результате которой обеспечиваются количественные показатели качества работы АОЭС НКМ. На вход подзадачи оценки подаются *Ground Truth* и результат работы АОЭС НКМ. Решением является проверка близости исходных значений результатам работы АОЭС НКМ [13].

Целью работы является моделирование процессов переработки визуальной информации¹ [9], позволяющее автоматизировать проверку работы АОЭС НКМ. Результат достигается тем, что обеспечивается возможность оценки соответствия между параметрами входного видео и численными коэффициентами оценки качества сопровождения объекта интереса, а также возможность модификации видеосигнала для создания уникальных параметров исходного видео, что дает возможность повышать качество оценки информационной эффективности АОЭС НКМ [5, 12].

Методика оценки информационной эффективности и функционального диагностирования АОЭС НКМ

Для достижения поставленной цели разработан программно-алгоритмический комплекс оценки каче-

ства работы АОЭС НКМ, при помощи которого по набору определенных параметров регистрируется входящий видеоряд. Параметрами могут являться траектории движения объектов, траектория движения камеры и искажения изображения кадра.

Разработанная методика оценки информационной эффективности [10] и функционального диагностирования АОЭС НКМ включает следующие этапы (рис. 1):

1. Формирование входящего видео, запись исходных данных о движении камеры и целей.
2. Определение объективных параметров информационного потока, влияющих на качество трекинга, включая конфигурацию траекторий объектов и камеры, конфигурацию динамических параметров, параметры входного информационного потока, искажения потока, телеметрия тряски камеры.
3. Математическое моделирование входного информационного видеопотока.
4. Формирование эталонных данных.
5. Вычисление числовых параметров оценки качества сопровождения объекта.
6. Сопоставление вычисленных и эталонных значений.
7. Оценка эффективности АОЭС НКМ на основе сопоставления вычисленных и эталонных значений.

Разработанный программно-алгоритмический комплекс (рис. 2) оценки качества работы АОЭС НКМ, в зависимости от содержания входного визуального сигнала, состоит из следующих независимых модулей:

симулятор – формирует входящее видео, а также записывает исходные данные о движении камеры и целей (в иностранной литературе *Ground Truth*) – информацию о нахождении отметок на каждом кадре, т.е. положения их центров и маски;

визуализатор – формирует видео с маркерами отметок, обнаруженные АОЭС НКМ;

оценщик – предоставляет количественные показатели качества работы телеавтомата; оценщик принимает на вход *Ground Truth* и результат работы АОЭС НКМ, затем проверяет, насколько близки исходные значения к тем, что выдает АОЭС НКМ.

Формирование набора объективных параметров, влияющих на качество трекинга, осуществляется на этапе подготовки исходного видеоизображения. Результатом работы программно-алгоритмического комплекса является соответствие между параметрами входного видео и численными коэффициентами оценки качества сопровождения объекта интереса (трекинга).

Описание симулятора

Симулятор (рис. 3) входного видео состоит из трех отдельных модулей, включая: интерполятор траекторий; интерполятор динамических параметров; генератор видео по модели 2,5-мерной сцены.

Интерполятор траекторий осуществляет преобразование входного набора ключевых точек траек-

¹ Ловцов Д. А. Информационные оценки технологической эффективности переработки информации // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информ. процессы и системы. – 1997. – № 11. – С. 22 – 26.

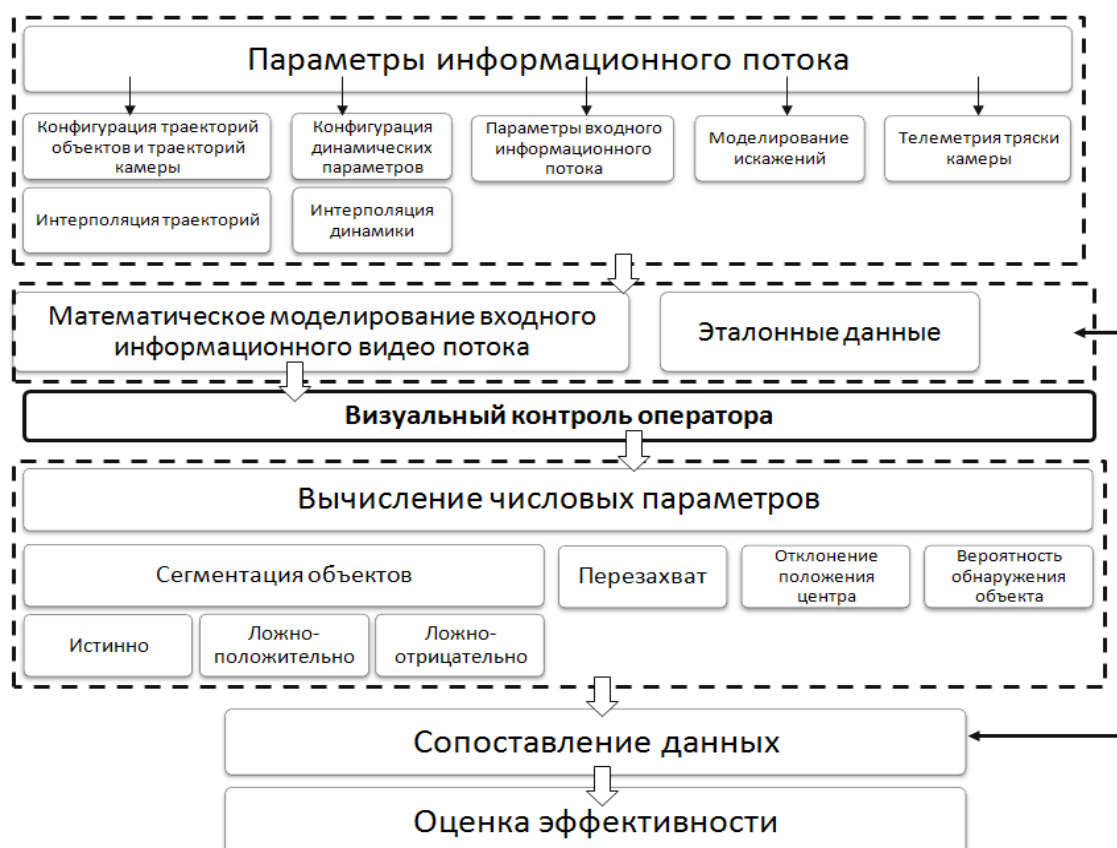


Рис. 1. Методическая диаграмма оценки информационной эффективности и функционального диагностирования АОЭС НКМ

торий движения, а также скоростей целей и камеры в плавные траектории, разбитые на кадры с заданной частотой видео.

Интерполятор динамических параметров преобразует набор ключевых точек временной диаграммы динамических параметров в наборы параметров для каждого кадра. Интерполяция между ключевыми точками осуществляется линейно.

Генератор видео по набору дискретных траекторий производит формирование изображения для каждого кадра. Кроме того, с помощью генератора выполняется запись полной информации о сцене, которая в дальнейшем используется для оценки качества трекинга.

Моделью 2,5D сцены называется сцена, составленная из упорядоченных по удаленности от наблюдателя двумерных слоев. Большинство элементов сцены явля-

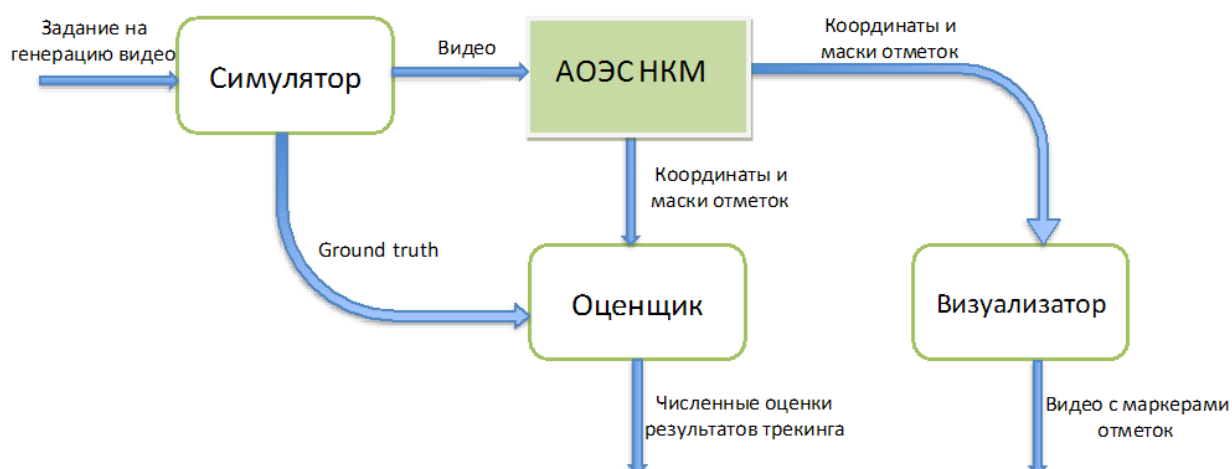


Рис. 2. Архитектура программно-алгоритмического комплекса оценки качества работы АОЭС НКМ



Рис. 3. Высокоуровневая схема симулятора

ются спрайтовыми, т.е. представляют собой не объёмные модели, а анимированные двухмерные изображения, претерпевающие проективные преобразования. В общем случае элементы сцены могут подменяться в зависимости от положения (ракурса) объекта относительно наблюдателя.

В реализации 2,5-мерной модели сцены модель описывается следующими характеристиками:

- камера фиксирована в одной точке, траекторией камеры является совокупность поворотов на направления ее оптической оси;
- изображение фона «прикреплено» к бесконечно удаленной сфере;
- изображения целей не меняют ракурс, спрайты целей могут лишь поворачиваться вокруг оптической оси камеры, приближаться и удаляться. При этом удаление цели от наблюдателя можно заменить масштабом спрайта. Данная степень свободы является 2,5-мерным пространством.

Генератор видео представляет собой модуль, реализованный в среде *Matlab*, осуществляющий формирование изображения кадра для каждого момента времени.

Основные функции генератора:

1) определение области фона, попадающей в кадр – для осуществления данной функции изображение масштабируется с учетом удаленности объекта от камеры и фокусного расстояния объектива, далее к нему применяется вектор трансляции и поворот.

2) для каждой траектории цели выполняются следующие действия:

- изображение спрайта цели масштабируется и поворачивается в соответствии с заданными значениями масштаба и угла;
- изображение спрайта накладывается на изображение фона текущего кадра по заданным координатам.

Интерполятор траекторий предназначен для преобразования траектории движения цели в 2,5D-модель. Схема интерполятора траекторий представлена на рис. 4.

Входные данные для симулятора готовятся специально разработанной утилитой, решающей задачу создания плавной траектории движения цели. На рис. 5 изображен пример построения плавной траектории по опорным точкам.

В конфигурации также указывается тип траектории – камера или цель, а также частота кадров видео. Декартовы координаты и скорости указываются в метрах и в метрах в секунду соответственно.

Основной задачей *генератора видео* является создание видеопоследовательности по траекториям движения объектов и камеры. Объекты представлены в виде спрайтов и перемещаются на фоне панорамного изображения. Траектория движения камеры в данном случае описывает связь системы координат кадра и реальной системы отсчета. Кроме того, генератор видео добавляет в каждый кадр искажения в виде помех, параметры которых указаны во входящем задании.

На траекторию движения камеры накладываются вибрации, загруженные из файлов телеметрии. В файле телеметрии представлена информация как о движении



Рис. 4. Вычислитель траекторий

машины относительно земли, так и о вибрациях камеры относительно машины. Таким образом, вычисляется суммарная вибрация камеры относительно земли, которая накладывается на траекторию.

На выход симулятора подаются собираемые в видеопоследовательность изображения сцены, разбитые на кадры, а также набор параметров и *Ground Truth* (запись движений камеры и целей).

Формально-математический аппарат оценки эффективности и функционального диагностирования

На вход АОЭС НКМ подается набор ключевых точек, по которым строится аппроксимированная сплайнами кривая, а также свойства спрайта цели. Ключевые точки траектории цели задаются в земной системе координат. Для определенности считается, что начало координат совпадает с положением камеры, ось Ox направлена на север, ось Oy – на запад, ось Oz – вдоль внешней нормали к земной поверхности.

Для расчета изображения, видимого камерой, требуется ориентация камеры. Для задания направления

камеры используются азимутальный и зенитный углы, т.е. в промежуточных расчётах используются сферические координаты. В сферической системе координат (ССК) для задания положения точки в трёх измерениях используются три координаты (r, Θ, φ) , где r – расстояние до начала координат; Θ и φ – зенитный и азимутальный углы соответственно.

Если заданы сферические координаты точки, то переход к декартовым осуществляется по формулам

$$\begin{cases} x = r \sin\Theta \cos\varphi, \\ y = r \sin\Theta \sin\varphi, \\ z = r \cos\Theta. \end{cases}$$

Обратный переход от декартовых к сферическим координатам осуществляется по формулам:

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \\ \Theta = \arccos\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}\right) = \arctg\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}\right), \\ \varphi = \arctg\left(\frac{x}{y}\right). \end{cases}$$



Рис. 5. Построение плавной траектории по опорным точкам

Панорама представляет собой изображение бесконечно удаленных предметов в эквидистантной цилиндрической проекции. Преобразование в координаты в растре панорамы осуществляется следующим образом:

$$x = (\varphi - \varphi_0) \sin \theta, \quad y = \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right)$$

Матрицы вращения вокруг оси декартовой системы координат на угол α в трёхмерном пространстве представлены в виде выражений:

- вращение вокруг оси X (приведена матрица поворота от результирующей системы координат к исходной):

$$M_x(\alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}.$$

- вращение вокруг оси Y (приведена матрица поворота от результирующей системы координат к исходной):

$$M_y(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix}.$$

- вращение вокруг оси Z (приведена матрица поворота от результирующей системы координат к исходной):

$$M_z(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$R = M_z(\omega) \cdot M_x\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \cdot M_y(\varphi) \cdot P,$$

$$K = \text{diag}(f, f, 1),$$

$$T = K^{-1} \cdot R.$$

Для формирования нового кадра с помощью генератора выполняется преобразование из земной системы координат (*метры*) в систему координат картинной плоскости (*пиксели*).

Выполнено математическое моделирование помех и эффектов:

- *туман* (уменьшение контрастности) – создает полутоновое изображение путем контрастирования исходного полутонового изображения;
- *ошибка экспозиции* – добавляет к значению интенсивности каждой точки исходного изображения величину коррекции экспозиции (*correction*), которая может принимать значения в диапазоне $[-1 \dots 1]$;
- *неоднородная засветка* – моделируется точечный источник света, расположенный в левом верхнем углу кадра. Распределение интенсивности от источника в зависимости от расстояния описывается выражением:

$$I = A \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}},$$

$$\sigma = \max(w, h) \cdot S$$

где S – коэффициент масштаба засветки, принимающий значения в диапазоне $[0 \dots 1]$, единица соответствует засветке всего кадра целиком; A – амплитуда засветки, принимающая значения в диапазоне $[0 \dots 1]$; w, h – размеры изображения кадра.

- *ошибка фокусировки* симулируется размытием границ объектов;
- *смазанное изображение*, вызванное движением камеры, симулируется путем наложения усредняющего двумерного фильтра, параметризуемого длиной (амплитуда) и углом наклона.

Некоторые типы помех могут приводить к улучшению значений выбранных случайным образом параметров, например, создавать дополнительную текстуру. Для выделения особенностей, созданных искажениями, необходимо осуществить оценку значения каждого параметра до и после наложения искажений. Норма разности данных параметров принимается как компонент метрики величины искажений. Таким образом, «артефактные» ключевые точки учитываются в качестве компонента шума.

Построена физически корректная математическая модель шумов камеры. Процесс возникновения и считывания сигнала имеет следующие особенности. В монохромном изображении пиксели расположены в узлах квадратной сетки. При полном отсутствии света в ячейку стекает темновой ток $i_{i,j}^t$. После окончания экспозиции происходит считывание величины накопленного в каждом пикселе заряда $q_{i,j}$. Основными источниками шумов матрицы являются флуктуации числа фотонов, темновой шум и шум считывания. Число фотонов n , переносимых в единицу времени, представляет собой случайную величину с распределением Пуассона $P(\lambda, n)$. Данный вид шума становится заметным при малой интенсивности света. Шум, вызванный флуктуациями темнового сигнала, определен в виде:

$$n^t = \sqrt{N_t},$$

где N_t – значение темнового сигнала, выраженное в электронах.

Шум считывания связан с тем, что работа электронной схемы считывания сигнала с фоточувствительной матрицы также является источником шума.

Входными параметрами разработанной модели являются:

1) матрица темнового кадра $q_{i,j}^d$ – представляет собой запись темнового сигнала, накопленного за фиксированное время в отсутствие света;

2) матрица калибровки чувствительности пикселей матрицы (*flat field*) – чувствительность пикселей $S_{i,j}$ достаточно однородна и содержит единицы «битых» пикселей r_b , интенсивность которых *flat field* генерируется симулятором в начале очередного прогона и в течение прогона не измеряется;

3) коэффициент преобразования числа накопленных электронов в отсчеты матрицы k ;

4) исходный кадр $I_{i,j}$ – исходный кадр рассмотрен как запись интенсивностей света, падающего на каж-

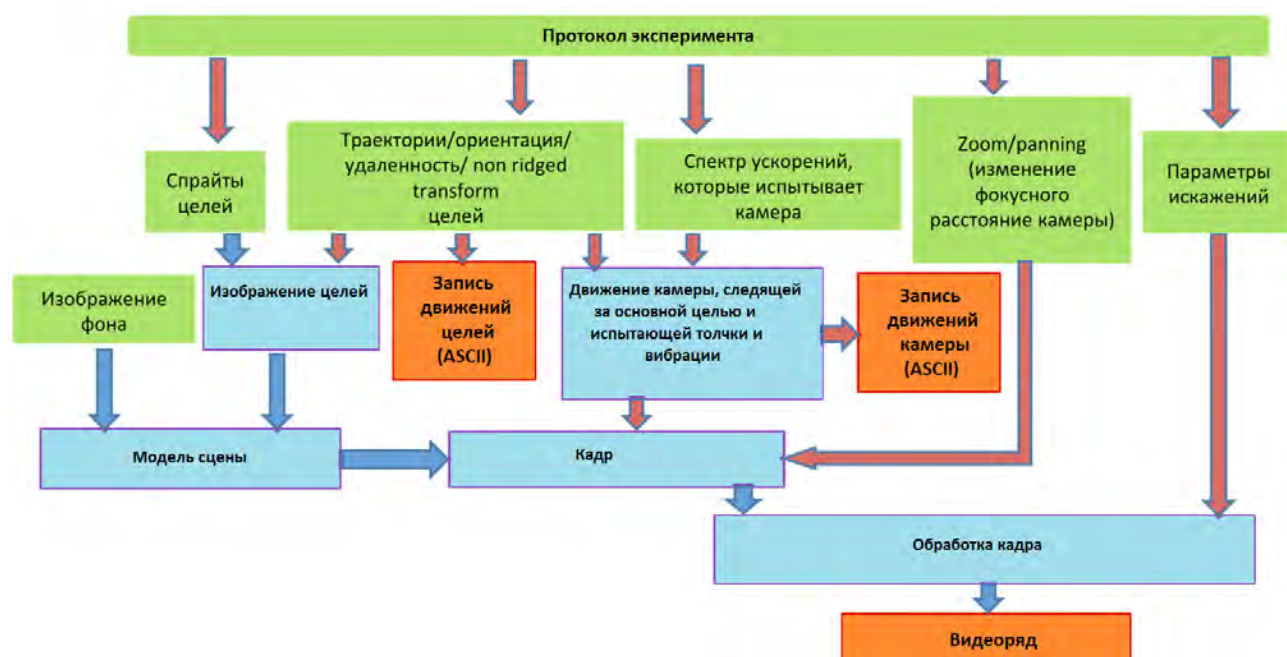


Рис. 6. Генерация видеоряда и Ground Truth

дый пиксель изображения, выраженных в отсчетах камеры за единичное время экспозиции;

5) величина экспозиции – для применения модели из исходного кадра определено количество электронов, накопленных в каждой ячейке матрицы

$$N_{i,j}^{e,l} = k \cdot \tau \cdot I_{i,j}.$$

Вычислены средние количества «темновых» электронов

$$N_{i,j}^{e,t} = k \cdot q_{i,j}^d \cdot \tau,$$

где τ – время экспозиции.

На траекторию движения камеры накладываются вибрации, загруженные из файлов телеметрии. В файле телеметрии представлена информация как о движении машины относительно земли, так и о тряске камеры относительно машины. Таким образом, вычисляется суммарная вибрация камеры относительно земли, которая накладывается на траекторию.

На выход симулятора подаются собираемые в видеопоследовательность изображения сцены, разбитые на кадры.

Кроме того, на выходе симулятор формирует: набор параметров; *Ground Truth* (запись движений камеры и целей).

Процесс формирования видеоряда и *Ground Truth* представлен на рис. 6.

Оценка информационной эффективности АОЭС НКМ

В качестве результата оценки рассматривается маска переднего плана или области изображения, занятые отметками. Задачей АОЭС в данном случае явля-

ется формирование сегментированной по отметкам маски переднего плана для каждого кадра входного видео.

Основными компонентами оценки результата работы являются: сегментация объектов, перезахват, отклонение положения центра, вероятность обнаружения объекта. Общий принцип системы оценки качества работы АОЭС представлен на рис. 7.

В результате сегментации происходит присвоение ярлыков-меток (*labels*) принадлежности к той или иной отметке. Номером отметки считается метка-ярлык большинства видимых пикселей данной отметки.

Вычисляются следующие характеристики оценки:

- доля пикселей, ошибочно отнесенных к данной отметке (*false positive*);
- доля пикселей, ошибочно не отнесенных к данной отметке (*false negative*).

Коэффициенты оценки сегментации численно описываются следующим образом:

- коэффициент истинно задетектированных пикселей отметок:

$$TP = \frac{Fs \cap Ft}{As}.$$

- коэффициент ложно-положительно задетектированных пикселей отметок:

$$TP = \frac{Ft - Fs \cap Ft}{As}.$$

- коэффициент ложно-отрицательно задетектированных пикселей отметок:

$$FN = \frac{-Ft \cap Fs}{As}.$$



Рис. 7. Принцип работы системы оценки качества АОЭС НКМ

где F_s – матрица размера $N \times M$, содержащая исходную бинарную маску переднего плана, полученную в результате симуляции; F_t – матрица размера $N \times M$, содержащая бинарную маску переднего плана, полученную в результате трекинга; A_s – количество точек F_s со значением 1; A_t – количество точек F_t со значением 1.

Перезахватом считается ситуация изменения номера отметки. В качестве количественной характеристики определено среднее количество перезахватов, приходящееся на один кадр.

Для определения отклонения положения центра для каждой отметки вычисляется расстояние между ее истинным центром и центром, который вычислил трекер. Затем вычисляется усредненная характеристика по числу отметок и кадров.

Для каждого кадра оценивается успешность q обнаружения объекта в зависимости от размера окрестности ε . При этом успешным обнаружением считается событие, при котором для истинной отметки есть хотя бы один обнаруженный объект, центр которого лежит в радиусе заданной окрестности.

Экспериментальные исследования

С помощью разработанного программно-алгоритмического комплекса проведены экспериментальные

исследования алгоритмов первичной обработки видеосигнала:

- 1) алгоритм выделения уникальных фрагментов (А-1);
- 2) алгоритм досвязывания совместно движущихся фрагментов объекта (А-2);
- 3) пирамидальный алгоритм выделения и вычисления свойств объектов, отличающихся от средней интенсивности локального фона [6] (А-3);
- 4) алгоритм и вычисления свойств объектов, отличающихся от локального фона по уровню серого [16] (А-4).

Основными метриками оценки алгоритмов являются вероятности обнаружения цели и вероятность «ложной тревоги». В ходе эксперимента проводились испытания алгоритмов с помощью имитатора видеосигнала на синтетическом видео и реальных видеозаписях фоноцелевой обстановки, а также исследовалась пропускная способность видеосигнала. В результате осуществлялась визуализация и количественная оценка результатов работы каждого из испытываемых алгоритмов. Контроль качества работы алгоритма осуществляется оператором визуально с помощью видеофайла, генерируемого модулем «Визуализатор». В ходе проверки фиксируются количественные характеристики качества работы алгоритма и статистические данные, вычисляемые модулем «Оценщик».

Результаты испытаний в виде усредненных ознакомительных данных представлены в табл. 1.

Таблица 1
Результаты испытаний алгоритмов

Метод первичной обработки	Усредненная вероятность обнаружения	Усредненная вероятность «ложной тревоги»
Алгоритм А-1	0,72	0,31
Алгоритм А-2	0,79	0,28
Алгоритм А-3	0,71	0,35
Алгоритм А-4	0,68	0,38

В табл. 1 приведены значения усредненной вероятности обнаружения и усредненной вероятности «ложной тревоги» каждого из испытываемых алгоритмов. В общем случае, ложная тревога – это ситуация, когда отображается наличие цели, в то время как в действительности цели нет. Вероятность ложной тревоги оценивается значением частоты ложной тревоги. Разработанный программно-алгоритмический комплекс обеспечивает *статистический анализ* [11] и оценку информационной эффективности переработки визуальной информации в АОЭС НКМ, а также сравнение с заданными значениями вероятности правильного обнаружения цели и ложной тревоги. Полученные количественные характеристики качества работы алгоритмов позволяют скорректировать их функциональные характеристики и осуществить выбор оптимальных параметров в зависимости от цели дешифрирования.

Заключение

Таким образом, разработан программно-алгоритмический комплекс оценки информационной эффективности и качества многоуровневой автоматизированной оптико-электронной системы наземно-космического мониторинга, основанный на информационно-математических методах симуляции входного

сигнала и визуализации информационного сигнала, включающих методы математического моделирования динамических параметров, конфигураций траекторий и шумов камеры и объекта; определены и обоснованы количественные показатели качества и численного контроля результатов работы АОЭС НКМ, включающие интегрированную структуру решения задачи оценки.

Разработана методологическая диаграмма оценки информационной эффективности и функционального диагностирования АОЭС, учитывающая специфические параметры входного информационного потока, а также функциональные характеристики АОЭС, обеспечивающая оценку эффективности АОЭС с помощью сопоставления вычисленных данных и результатов математического моделирования, с обеспечением выбора оптимальных характеристик в зависимости от цели дешифрирования.

Разработан формально-математический аппарат оценки информационной эффективности АОЭС НКМ, основанный на информационно-математических методах симуляции входного сигнала и визуализации информационного сигнала, включающих методы математического моделирования динамических параметров, конфигураций траекторий и шумов камеры и объекта, определены и обоснованы количественные показатели качества и численного контроля результатов работы АОЭС НКМ.

Рецензент: Цимбал Владимир Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор кафедры автоматизированных систем управления Филиала военной академии имени Петра Великого, г. Серпухов, Российская Федерация.

E-mail: tsimbalva@mail.ru

Литература

1. Бойков В. А., Колючкин В. Я. Алгоритм автоматического сопровождения изображений объектов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2017. – № 5. – С. 4 – 13.
2. Бурый А. С. Тестирование качества программного обеспечения в процессе его сертификации // Правовая информатика. – 2019. – № 1. – С. 46 – 55. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-1-46-55.
3. Бурый А. С. Информационно-математическое обеспечение контроля качества компьютерных программ // Правовая информатика. – 2019. – № 2. – С. 15 – 25. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-2-15-25.
4. Ворошилина Е. П., Тисленко В. И. Анализ методов автоматического сопровождения целей по дальности // Известия Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2006. – № 8. – С. 67 – 72.
5. Гаврилов Д. А. Программно-аппаратный комплекс тестирования алгоритмов детектирования и локализации объектов в видеопоследовательностях // Научное приборостроение. – СПб.: ИАП РАН, 2019. – Т. 29. – № 1. – С. 149 – 156.
6. Гаврилов Д. А. Нейросетевой алгоритм автоматического обнаружения и сопровождения объекта интереса в видеосигнале // Тр. 16-й нац. конф. по искусственному интеллекту (24 – 27 сентября 2018 г.) В 2-х тт. – Т. 2 / ФИЦ ИУ РАН. – М.: РКП, 2018. – С. 188 – 190.
7. Гаврилов Д. А., Павлов А. В., Щелкунов Д. Н. Аппаратная реализация сжатия динамического диапазона цифровых изображений на ПЛИС Xilinx // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. – М.: ИРЭ РАН, 2018. – № 10. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/oct18/6/text.pdf>, DOI 10.30898/1684-1719.2018.10.6
8. Корзунов О. В., Лужинский А. И. Анализ алгоритмов обнаружения и измерения координат объектов в оптико-электронных системах // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. – Т. 3. – № 12. – С. 164 – 171.
9. Ловцов Д. А. Ситуационное планирование процесса переработки измерительной информации в сети АСУ // Теория и системы управления. – 1995. – № 5. – С. 239 – 247.
10. Ловцов Д. А. Эффективность правовых эргасистем в инфосфере // Правовая информатика. – 2020. – № 1. – С. 4 – 14. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-1-04-14.

11. Ловцов Д. А., Богданова М. В., Паршинцева Л. С. Основы статистики / Под ред. Д. А. Ловцова. – М.: Росс. гос. ун-т правосудия, 2017. – 160 с. ISBN 978-5-93916-576-1.
12. Ловцов Д. А., Гаврилов Д. А. Формализация проблемы обеспечения эффективности автоматизированной оптико-электронной системы специального назначения // Тр. XXXVIII Всеросс. науч.-техн. конф. «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем» (27 – 28 июня 2019 г.). В 8-ми ч. Ч. 3 / Филиал ВА им. Петра Великого. – Серпухов: ФВА, 2019. – С. 100 – 105.
13. Ловцов Д. А., Гаврилов Д. А. Моделирование оптико-электронных систем дистанционно пилотируемых аппаратов: Монография. – М.: «Технолоджи-3000». – 2019. – 164 с. ISBN 978-5-94472-036-8.
14. Мазо А. М., Маркова Е. И., Лаптева Р. Р. Система наведения РЛС сопровождения на цель // Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем: Сб. науч. тр. – Ульяновск: УлГТУ. – 2016. – С. 105 – 107.
15. Перевалов Д. С. Исследование алгоритмов обнаружения и локализации объекта на изображениях в условиях структурных искажений // Вычислительные технологии. – 2009. – Т. 1. – № 14. – С. 94 – 106.
16. Пунь А. Б., Гаврилов Д. А., Щелкунов Н. Н., Фортунатов А. А. Алгоритм адаптивной бинаризации объектов в видеопоследовательности в режиме реального времени // Успехи современной радиоэлектроники. – М.: Радио-техника, 2018. – № 8. – С. 40 – 48.
17. Савченко В. В. Информационная система автоматизации процесса поиска известных (подтвержденных) уязвимостей программного обеспечения // Правовая информатика. – 2011. – № 1. – С. 42 – 45.
18. Щелкунов Н. Н., Гаврилов Д. А., Щелкунов Д. Н. Прикладной программный модуль «Игра» как пример мульти-агентного подхода к моделированию действий виртуального противника // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. – 2018. – № 3. – С. 85 – 94.
19. Щелкунов Н. Н., Гаврилов Д. А., Щелкунов Д. Н. Программно-аппаратный комплекс моделирования, анализа и оценки поведения виртуального противника // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. – 2018. – № 2. – С. 73 – 79.
20. Courtney P., Thacker N.A. Performance characterisation in computer vision: the role of statistics in testing and design // Imaging Vis. Syst. Theiry.– Assess. Appl. – January 2001. – <https://www.researchgate.net/publication/2441144>.

A SOFTWARE AND ALGORITHMIC COMPLEX FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF AN AUTOMATED ELECTRONIC OPTICAL SYSTEM

Dmitrii Gavrilov, Ph.D. (Technology), doctoral student at the Lebedev Institute of Precision Mechanics and Computer Engineering of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Moscow.

E-mail: gavrilov.da@mipt.ru

Keywords: software and algorithmic complex, electronic optical systems modelling, visual information processing, efficiency, indicators, primary video signal processing algorithms, detection and localisation algorithms.

Abstract.

Purpose of the work: improving the scientific and methodological basis for evaluating the efficiency and quality of complex technical systems as an element of legal regulation in the field of standardisation.

Method used: visual information processing modelling, allowing to automate the process of testing the functioning of a complex, informationally efficient, automated electronic optical system for aerospace monitoring.

Results obtained: an integrated structure for solving the problem of evaluating the information efficiency of a complex automated electronic optical system for aerospace monitoring as well as a formal mathematical apparatus for evaluating efficiency and functional diagnostics are developed. For solving this problem a generator is constructed for registering the input video sequence using a set of certain parameters, these can be the object and camera movement trajectories and the distortion of the frame image.

The achieved result of solving the problem of evaluating the information efficiency and functional diagnostics is the correspondence between the parameters of the input video and the numerical coefficients evaluating the quality of functioning of a complex automated electronic optical system for aerospace monitoring.

References

1. Boikov V. A., Koliuchkin V. Ia. Algoritm avtomaticheskogo soprovozhdeniia izobrazhenii ob"ektov. Vestnik MGTU im. N.E. Bauman, ser. Priborostroenie, 2017, No. 5, pp. 4-13.

2. Buryi A. S. Testirovanie kachestva programmno obespichenii v protsesse ego sertifikatsii. Pravovaia informatika, 2019, No. 1, pp. 46-55. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-1-46-55.
3. Buryi A. S. Informatsionno-matematicheskoe obespechenie kontrolya kachestva komp'yuternykh programm. Pravovaia informatika, 2019, No. 2, pp. 15-25. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-2-15-25.
4. Voroshilina E. P., Tislenko V. I. Analiz metodov avtomaticheskogo soprovozhdeniya tselei po dal'nosti. Izvestiya Tomskogo politekhn. un-ta, Inzhiniring georesursov, 2006, No. 8, pp. 67-72.
5. Gavrilov D. A. Programmno-apparatnyi kompleks testirovaniya algoritmov detektirovaniya i lokalizatsii ob'ektov v videoposledovatel'nostyakh. Nauchnoe priborostroenie. SPb. : IAP RAN, 2019, t. 29, No. 1, pp. 149-156.
6. Gavrilov D. A. Neirosetevoi algoritm avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob'ekta interesa v videosignale. Tr. 16-i nats. konf. po iskusstvennomu intellektu (24-27 sentiabria 2018 g.), v 2-kh tt., t. 2, FITs IU RAN. M. : RKP, 2018, pp. 188-190.
7. Gavrilov D. A., Pavlov A. V., Shchelkunov D. N. Apparatnaia realizatsiya szhatiya dinamicheskogo diapazona tsifrovyykh izobrazheniy na PLIS Xilinx. Zhurnal radioelektroniki [elektronnyi zhurnal]. M. : IRE RAN, 2018, No. 10. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/oct18/6/text.pdf>. DOI: 10.30898/1684-1719.2018.10.6.
8. Korzunov O. V., Luzhinskii A. I. Analiz algoritmov obnaruzheniya i izmereniya koordinat ob'ektov v optiko-elektronnykh sistemakh. Izvestiya TulGU, Tekhnicheskie nauki, 2017, t. 3, No. 12, pp. 164-171.
9. Lovtsov D. A. Situatsionnoe planirovanie protsessa pererabotki izmeritel'noi informatsii v seti ASU. Teoriya i sistemy upravleniya, 1995, No. 5, pp. 239-247.
10. Lovtsov D. A. Effektivnost' pravovykh ergasistem v infosfere. Pravovaia informatika, 2020, No. 1, pp. 4-14. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-1-04-14.
11. Lovtsov D. A., Bogdanova M. V., Parshintseva L. S. Osnovy statistiki. Pod red. D. A. Lovtsova. M. : Ross. gos. un-t pravosudiya, 2017, 160 pp. ISBN 978-5-93916-576-1.
12. Lovtsov D. A., Gavrilov D. A. Formalizatsiya problemy obespecheniya effektivnosti avtomatizirovannoi optiko-elektronnoi sistemy spetsial'nogo naznacheniya. Tr. XXXVIII Vseross. nauch.-tekhn. konf. "Problemy effektivnosti i bezopasnosti funktsionirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh i informatsionnykh sistem" (27-28 iyunia 2019 g.), v 8-mi ch., ch. 3, Filial VA im. Petra Velikogo. Serpukhov : FVA, 2019, pp. 100-105.
13. Lovtsov D. A., Gavrilov D. A. Modelirovanie optiko-elektronnykh sistem distantsionno pilotiruemykh apparatov : monografiya. M. : "Tekhnolodzhii-3000", 2019, 164 pp. ISBN 978-5-94472-036-8.
14. Mazo A. M., Markova E. I., Lapteva R. R. Sistema navedeniya RLS soprovozhdeniya na tsel'. Sovremennye problemy proektirovaniya, proizvodstva i ekspluatatsii radiotekhnicheskikh sistem : sb. nauch. tr., Ul'ianovsk: UIGTU, 2016, pp. 105-107.
15. Perevalov D. S. Issledovanie algoritmov obnaruzheniya i lokalizatsii ob'ekta na izobrazheniyakh v usloviyakh strukturnykh iskazheniy. Vychislitel'nye tekhnologii, 2009, t. 1, No. 14, pp. 94-106.
16. Pun' A. B., Gavrilov D. A., Shchelkunov N. N., Fortunatov A. A. Algoritm adaptivnoi binarizatsii ob'ektov v videoposledovatel'nosti v rezhime real'nogo vremeni. Uspekhi sovremennoi radioelektroniki. M. : Radiotekhnika, 2018, No. 8, pp. 40-48.
17. Savchenko V. V. Informatsionnaya sistema avtomatizatsii protsessa poiska izvestnykh (podtverzhdennykh) uiazvimostei programmno obespicheniya. Pravovaia informatika, 2011, No. 1, pp. 42-45.
18. Shchelkunov N. N., Gavrilov D. A., Shchelkunov D. N. Prikladnoi programmnyi modul "Igra" kak primer mul'tiagentnogo podkhoda k modelirovaniu deistviy virtual'nogo protivnika. Nauchnyi vestnik oboronno-promyshlennogo kompleksa Rossii, 2018, No. 3, pp. 85-94.
19. Shchelkunov N. N., Gavrilov D. A., Shchelkunov D. N. Programmno-apparatnyi kompleks modelirovaniya, analiza i otsenki povedeniya virtual'nogo protivnika. Nauchnyi vestnik oboronno-promyshlennogo kompleksa Rossii, 2018, No. 2, pp. 73-79.
20. Courtney P., Thacker N.A. Performance characterisation in computer vision: the role of statistics in testing and design. Imaging Vis. Syst. Theory. Assess. Appl. January 2001. URL: <https://www.researchgate.net/publication/2441144>.