

УДК 621.397.6

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ
СОПРОВОЖДЕНИЯ ОПТИЧЕСКИ НАБЛЮДАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ****канд. техн. наук, доц. А.В. ХИЖНЯК, Д.С. ШАРАК, А.Ю. БОБРОВ
(Военная академия Республики Беларусь, Минск)**

Представлен аппаратно-программный комплекс исследования алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов, который позволяет осуществлять выбор типа сопровождения в зависимости от параметров фоновой обстановки и наличия преднамеренных помех, фиксировать количество срывов сопровождения в видеопоследовательности. Разработанный комплекс характеризуется возможностью исследования алгоритмов как в режиме реального времени, так и с заранее подготовленными видеопоследовательностями с возможностью моделирования эффектов ухудшения условий эксплуатации (применение дымовой завесы, повышение шумовой составляющей, засветки камеры и др.), которые представляют собой маскирующие помехи естественного и искусственного происхождения. Аппаратно-программный комплекс позволяет проводить исследование и оценку эффективности как существующих, так и вновь разрабатываемых алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов в условиях изменяющейся фоновой обстановки и наличия преднамеренных помех.

Ключевые слова: алгоритмы сопровождения, оценка эффективности, многоканальные оптико-электронные системы.

Введение. Системы анализа и обработки визуальной информации активно применяются для решения различных технических задач, требующих качественного анализа и интерпретации информации, полученной из видеопотока. Одной из задач, которые обычно интересуют потребителей оптико-электронных систем, является задача сопровождения движущихся объектов в реальном времени. Сопровождение объекта состоит в обнаружении нужного объекта, оценке его положения и размеров от кадра к кадру в видеопоследовательности, построении траектории его перемещения. Примерами объектов, которые требуется обнаруживать и сопровождать, могут служить летящие самолеты, вертолеты, суда, люди. В качестве фона для них могут выступать изображения дорог, леса, облаков, домов и т.п. При этом информация о характеристиках объектов, которые требуется обнаруживать и сопровождать, обычно очень скудна и в лучшем случае включает в себя лишь приблизительные размеры объектов [1].

Процесс сопровождения малоконтрастного объекта представляет собой вычисление относительных угловых координат объекта на основании информации о распределении интенсивности физических полей Земли, которые однозначно определяют конкретное место на земной поверхности. Использование оптического контраста для целей сопровождения обусловлено его высокой информативностью и возможностью получения исходной информации о яркостных полях Земли с требуемым качеством и на любых участках земной поверхности.

К алгоритмам сопровождения объекта предъявляется ряд требований:

- 1) алгоритм должен функционировать в режиме реального времени, что неизбежно накладывает ограничения на сложность используемых алгоритмов;
- 2) алгоритм должен работать в условиях наличия и изменения на естественных изображениях сложного неоднородного фона, постановки различного рода помех, учитывать слабую контрастность;
- 3) алгоритм должен справляться с дестабилизирующими факторами: размытостью, изменением освещения и размеров объекта, его деформацией, а также фоновыми помехами, полным или частичным исчезновением объекта из поля зрения камеры, шумами [1].

Эти требования не позволяют ограничиваться простыми решениями при синтезе алгоритмов.

Большинство известных методов и алгоритмов сопровождения объектов, подробно описанных в современной научной литературе, либо получены для простейших моделей, либо имеют эвристическое происхождение и зачастую не обеспечивают должного результата при изменении условий функционирования.

Трудность решения прикладной задачи в военной сфере прежде всего обусловлена противодействием противника: приходится сопровождать малоразмерные, малоконтрастные, в том числе замаскированные объекты на нестационарном фоне. Подвижность оптико-электронной системы сопровождения дополнительно усложняет и без того нетривиальную задачу.

Таким образом, разработка эффективных алгоритмов сопровождения объектов на видеопоследовательности, ориентированных на работу в реальном масштабе времени и использующихся в многоканальных оптико-электронных системах сопровождения объектов (МОЭСС) в условиях изменяющейся фоновой обстановки и наличия преднамеренных помех, является актуальной научной и практической задачей.

Основная часть. Для выявления факта успешного выполнения стоящей перед МОЭСС задачи используются критерии качества, которые учитывают различные эксплуатационные, технико-экономические,

тактико-технические требования к данным системам. На протяжении последних десятилетий появилось немало работ, в которых делались попытки сформулировать некоторый обобщенный и комплексный критерий качества МОЭСС [1]. Однако следует согласиться с авторами [2], что такие критерии обычно формируются на основе эвристических и субъективных соображений, суждений и полностью не определяют возможности МОЭСС при решении значительного количества прикладных задач и зачастую не помогают разработчику аппаратуры оптимизировать ее конструкцию.

Всю используемую на практике совокупность критериев качества МОЭСС можно разделить на следующие группы [3]:

- тактико-технические параметры и характеристики аппаратуры;
- показатели эффективности достижения цели;
- критерии качества изображения, сформированного МОЭСС;
- технико-экономические показатели.

К тактико-техническим параметрам и характеристикам МОЭСС относятся *вероятность обнаружения, чувствительность, отношение сигнал-шум, температурно-частотные характеристики, спектральный диапазон, угол обзора, формат и частота кадров, однородность и число элементов разрешения* и др.

К показателям эффективности достижения цели МОЭСС в первую очередь относятся *средние времена решения стоящих перед системой задач, а также вероятности обнаружения, классификации, распознавания и идентификации объектов*.

Так как понятие «качество оптического изображения» на сегодняшний день не имеет общепринятого определения, существует большое количество показателей, которые используются для описания качества: *контраст изображения, разрешающая способность аппаратуры, степень фокусировки изображения, функция передачи модуляции и контраста, количество передаваемых уровней яркости или освещенности* и др.

К технико-экономическим показателям относятся *стоимостные оценки МОЭСС, технологичность, энергопотребление, массогабаритные параметры аппаратуры, время наработки на отказ* и др. Часто на ранних этапах разработки МОЭСС (системотехническое и структурное проектирование) прежде всего учитываются данные показатели.

В связи с тем, что большинство из указанных выше критериев качества МОЭСС часто находится во взаимозависимости и даже просто определяет друг друга, такая их классификация в большинстве случаев условна и относительна. Однако разделение совокупности показателей эффективности МОЭСС на отдельные частные критерии во многих случаях используется при структурно-параметрическом анализе и синтезе таких систем, при их исследованиях, разработке и эксплуатации.

Помимо критериев качества самих МОЭСС также принимают во внимание и различные условия работы этих систем, к которым относятся параметры и характеристики наблюдаемых объектов, среда распространения сигналов и др. Некоторые критерии качества зависят от личных качеств наблюдателя или оператора, работающего с МОЭСС.

Для сравнения результатов работы алгоритмов сопровождения возможно использовать вероятность срыва сопровождения. Однако ввиду невозможности однозначно утверждать, какому закону распределения подчинено распределение яркости пикселей в изображении, в качестве показателя качества сопровождения можно использовать количество срывов сопровождения на 1000 кадров видеопоследовательности. Анализ источников [1; 5] показал, что данный показатель качества с достаточной точностью характеризует алгоритмы сопровождения оптически наблюдаемых объектов.

Принимая во внимание общую длительность видеопоследовательностей и их характеристики, а также общее количество срывов за время работы алгоритма, определяется среднее количество срывов на 1000 кадров Ω_* по формуле

$$\Omega_* = \frac{1000 \cdot N_{cp}^*}{\tau \cdot f},$$

где N_{cp}^* – зафиксированное количество срывов за время работы алгоритма сопровождения;

τ – длительность видеопоследовательности, подаваемой на алгоритм сопровождения;

f – частота кадров видеопоследовательности, подаваемой на алгоритм сопровождения.

Схема аппаратно-программного комплекса, разработанного в рамках проводимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, представлена на рисунке 1.

В качестве источника информации использовалась PTZ-камера двойного назначения Ulisse Compact Thermal (рисунок 2), имеющая в своем составе телекамеру «день/ночь» с высоким разрешением, а также тепловую камеру с разрешением 320×256 пикселей [4].

Внешний вид автоматизированного рабочего места (АРМ) экспериментальной установки представлен на рисунке 3.

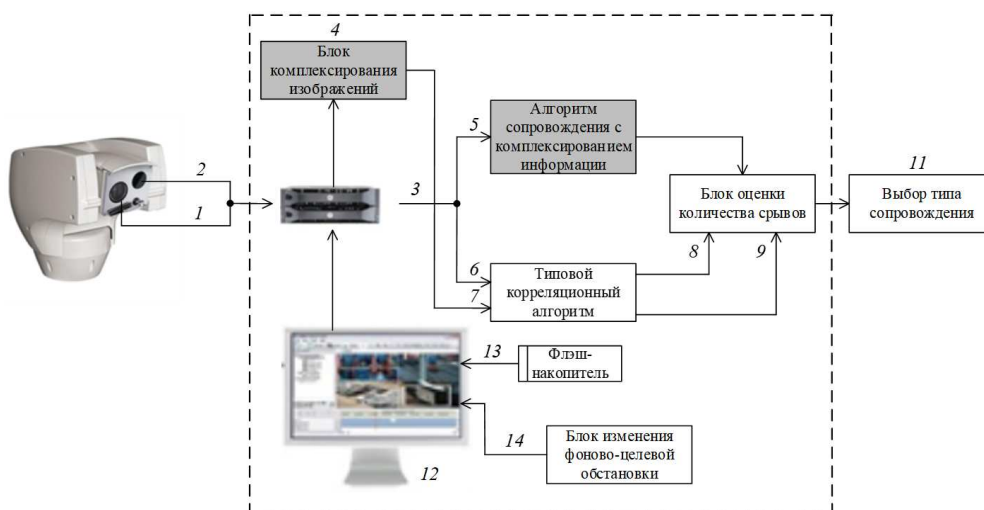


Рисунок 1. – Схема аппаратно-программного комплекса для сравнения алгоритмов сопровождения



Рисунок 2. – PTZ-камера двойного назначения Ulisse Compact Thermal, используемая при экспериментальных исследованиях

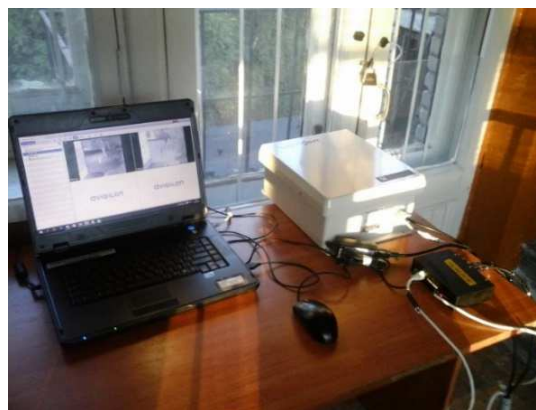


Рисунок 3. – Внешний вид автоматизированного рабочего места экспериментальной установки

На АРМ установлено специализированное программное обеспечение (ПО) Avigilon Control Center, поддерживающее технологию управления видеопотоком высокой четкости High-Definition Stream Management (HDSM), которое обеспечивает подключение и управление двумя каналами видеокamеры [4]. Полученное видео записывается в режиме реального времени и хранится на жестком диске АРМ.

С выходов источника видеoinформации (1, 2) на АРМ (12) поступают исходные видеопоследовательности видимого и ИК-диапазонов. Видеоэнкодер Avigilon (3) преобразует стандартный аналоговый видеосигнал в цифровой поток, позволяя отправлять полученные цифровые изображения по сети IP [4]. В блоке комплексирования (4) запрограммированы два алгоритма комплексирования изображений. Блок 6–7 представляет собой программную реализацию типового корреляционного алгоритма сопровождения.

В блоке 5 запрограммирован исследуемый алгоритм сопровождения с комплексированием первичной видеoinформации. В блоке 8–9 фиксируется количество срывов сопровождения в видеопоследовательности. Выбор типа сопровождения в зависимости от параметров фоново-целевой обстановки и наличия преднамеренных помех осуществляется в блоке 11. При необходимости источника информации может являться не только PTZ-камера, работающая в режиме реального времени, но и заранее полученные видеопоследовательности, съюстированные по времени, размерам и углу места, подключаемые к АРМ (12) через флэш-накопитель (13). Это особенно удобно для разработчиков специализированного ПО в целях снижения временных, материальных и трудовых затрат при выборе конкретного способа сопровождения для определенных условий функционирования МОЭСС. Для обеспечения исследования алгоритмов сопровождения в сложных условиях эксплуатации в схему стенда включен блок изменения фоново-целевой обстановки (блок 14). Данный блок представляет собой специализированный пакет программ для обработки видеопоследовательностей различного спектрального диапазона. В качестве такого программного обеспечения могут использоваться различные видеоредакторы: VSDC Video Editor, VideoPad, Movavi Video

Editor, Adobe Premiere Pro, Sony Vegas Pro, Corel Videostudio Pro и др. Для задания различных условий эксплуатации исследуемого алгоритма сопровождения был использован специализированный пакет Pinnacle Studio, установленный на АРМ аппаратно-программного комплекса. Данный редактор имеет большие возможности по обработке видеопоследовательностей – от применения простых фильтров до генерации сложных эффектов с использованием исходной информации. В состав стандартного пакета входит достаточно большой набор видеоэффектов: Studio HD RTFх, Studio Ultimate RTFх, RTFХ Volume 1, которые при необходимости могут быть скомпилированы с дополнительными эффектами на специализированном сайте поддержки пользователей. С помощью этого ПО были смоделированы эффекты ухудшения условий эксплуатации алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов, которые представляют собой маскирующие помехи естественного и искусственного происхождения и часто имеют место в реальной обстановке. В качестве таких условий использовались: применение дымовой завесы ($\Omega_{\text{дым}}$), повышение шумовой составляющей на изображении ($\Omega_{\text{шум}}$), а также засветка источника видеоинформации ($\Omega_{\text{засв}}$).

Программная реализация блоков 4, 5–9, 14 установлена на специализированном АРМ (12).

Заключение. Разработанный аппаратно-программный комплекс исследования алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов обладает следующими функциональными возможностями:

- 1) исследование алгоритмов как в режиме реального времени, так и с заранее подготовленными видеопоследовательностями;
- 2) моделирование эффектов ухудшения условий эксплуатации (применение дымовой завесы, повышение шумовой составляющей, засветки камеры и др.), которые представляют собой маскирующие помехи естественного и искусственного происхождения;
- 3) выбор типа сопровождения в зависимости от параметров фоновой-целевой обстановки и наличия преднамеренных помех;
- 4) фиксация количества срывов сопровождения в видеопоследовательности.

Таким образом, комплекс позволяет проводить исследование и оценку как существующих, так и вновь разрабатываемых алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов в условиях изменяющейся фоновой-целевой обстановки и наличия преднамеренных помех.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов [и др.]. – М. : Радиотехника, 2008. – 176 с.
2. Автоматическое обнаружение и сопровождение динамических объектов на изображениях, формируемых оптико-электронными приборами в условиях априорной неопределенности. Методы и алгоритмы / Под ред. А.А. Храмичева. – М. : Радиотехника, 2015. – 280 с.
3. Бокшанский, В.Б. Расчет характеристик фоточувствительных приборов с зарядовой связью / В.Б. Бокшанский, В.Е. Карасик. – М. : МГТУ им. Баумана, 2001. – 157 с.
4. Официальный сайт компании «VideoTec» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.videotec.com>. – Дата доступа: 24.10.2018.

Поступила 09.11.2020

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR RESEARCHING ALGORITHMS OF TRACKING OPTICALLY OBSERVED OBJECTS

A. KHIZNIAK, D. SHARAK, A. BOBROV

This article presents a hardware and software complex for researching algorithms for tracking optically observed objects. The hardware and software complex allows you to select the type of tracking depending on the parameters of the background-tuned environment and deliberate interference, to record the number of tracking disruptions in the video sequence. The developed complex differs from algorithms in real time, as well as with previously prepared video sequences using simulation of operating conditions (use of a smoke screen, increasing the noise component, camera illumination, etc.), which are masking noise and artificial origin. The hardware and software complex allows for research and evaluation of the effectiveness of newly developed algorithms for tracking optically observed objects in a changing background search environment and the presence of deliberate interference.

Keywords: tracking algorithms, performance evaluation, multichannel optoelectronic systems.