

УДК 621.397.6

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ АЛГОРИТМОВ СОПРОВОЖДЕНИЯ ОПТИЧЕСКИ НАБЛЮДАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ В ДВУХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ СОПРОВОЖДЕНИЯ

канд. техн. наук, доц. А.В. ХИЖНЯК, Д.С. ШАРАК, А.В. СЕРГЕЕНКО
(Военная академия Республики Беларусь, Минск)

Представлена обобщенная схема функционирования и оценки качества системы сопровождения оптически наблюдаемых объектов с комплексированием информации, включающая авторские элементы, а также разработана методика проведения испытаний алгоритмов сопровождения в двухканальной оптической системе. В основе этой методики лежит расчет такого показателя качества работы алгоритмов сопровождения как средняя вероятность срыва сопровождения на 1000 кадров видеопоследовательности. Особенностью схемы функционирования и оценки качества системы сопровождения является возможность использования как экспериментальных так и сгенерированных видеопоследовательностей, а также возможность изменения исследуемых алгоритмов сопровождения. Разработанная методика позволяет проводить исследования существующих алгоритмов сопровождения в различных условиях фоновой-целевой обстановки, в том числе при наличии преднамеренных помех, а также проводить исследования по разработке и анализу новых и перспективных алгоритмов сопровождения.

Ключевые слова: алгоритмы сопровождения, оценка качества, оптические системы.

Введение. Программное обеспечение в совокупности с аппаратными средствами является неотъемлемой частью современного мира. Однако следует отметить, что применение в конкретной области массовых программных продуктов, рассчитанных на решение типовых задач, зачастую является затруднительным либо невозможным. В этом случае требуется разработка качественно нового, специализированного программного обеспечения или расширение функциональности имеющегося.

Цифровая обработка изображений является одним из направлений, требующих разработки именно специализированного программного обеспечения. Кроме того, она представляет собой одну из наиболее актуальных и быстро развивающихся областей науки и техники, что обусловлено как многообразием практических задач, требующих анализа визуальной информации, так и все возрастающими возможностями оптики и вычислительной техники.

Одной из самых трудоемких задач с научной точки зрения является задача сопровождения объектов. Это связано с тем, что в реальных условиях на качество работы систем сопровождения оказывают влияние различные природные явления (туман, изморозь, дождь и т.п.). Кроме того, значительное влияние могут оказывать и другие факторы, например, движение объекта наблюдения или самой оптической системы, различные помехи и др.

В условиях изменяемой фоновой-целевой обстановки при плохих погодных условиях оптико-электронные системы требуют дополнительной «подсветки», а значит, пассивность (необнаруживаемость) не сохраняется. На изображениях, полученных с камер различного спектрального диапазона, зачастую присутствуют шумы, блики и другие помехи, вызванные окружающим фоном. Это ухудшает качество изображений и, следовательно, снижает информативность, а также может воспрепятствовать дальнейшему выполнению боевой задачи по устойчивому сопровождению объектов.

Одним из способов устранения подобных негативных явлений стало использование многоканальных оптических систем. Наибольшее распространение на сегодняшний день получили системы, имеющие два оптических канала в видимом и инфракрасном диапазоне длин волн.

Наряду с применением многоканальных оптических систем для устранения указанных негативных явлений применяются и программные методы, заключающиеся в разработке новых и модернизации имеющихся алгоритмов сопровождения. Активное развитие данного направления привело к тому, что к настоящему времени разработаны и активно используются алгоритмы сопровождения, основанные на классических методах, таких как методы сопровождения силуэта, методы сопровождения с использованием корреляционных фильтров и др. Также все чаще встречаются алгоритмы сопровождения, в основе работы которых лежат принципы машинного обучения, такие как методы сопровождения на основе нейронных сетей, методы на основе сопровождения особых точек и др. Однако из всего разнообразия алгоритмов, основанных на перечисленных выше методах сопровождения, нельзя выделить один универсальный, в связи с чем возникает проблема выбора алгоритма сопровождения для конкретных условий работы оптической системы, т.е. существует необходимость проведения сравнительного анализа алгоритмов сопровождения.

Целью данной статьи является разработка методики проведения испытаний алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов в двухканальной системе сопровождения, которая позволяет количественно оценить их эффективность.

Основная часть. Предлагаемая методика основывается на расчете такого показателя качества работы алгоритмов сопровождения, как среднее количество срывов сопровождения на 1000 кадров видеопоследовательности [2]:

$$\Omega_* = \frac{1000 \cdot N_{cp}^*}{\tau \cdot f}, \quad (1)$$

где N_{cp}^* – зафиксированное количество срывов за время работы алгоритма сопровождения (знак * указывает на тип видеопоследовательности, по которой работал алгоритм (видимый, ИК-диапазон, комплексированная видеопоследовательность и др.);

τ – длительность видеопоследовательности, подаваемой на алгоритм сопровождения;

f – частота кадров видеопоследовательности, подаваемой на алгоритм сопровождения.

Под срывом сопровождения понимается превышение расстояния между эталонными и измеренными координатами центра объекта интереса на величину, принимающуюся за максимальную ошибку измерения и равную половине диагонали прямоугольника, ограничивающего эталонное изображение объекта, т.е. срыва сопровождения (рисунок 1).

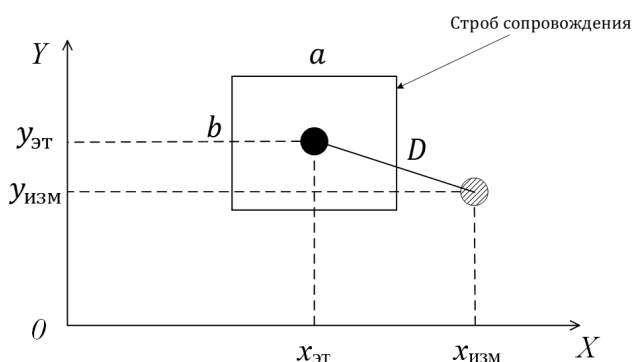


Рисунок 1. – Определение срыва сопровождения объекта

В большинстве случаев строб сопровождения представляет собой прямоугольник с фиксированными размерами, который должен ограничивать объект интереса. В некоторых оптико-электронных системах размеры сто́ба сопровождения адаптируются под размеры объекта интереса автоматически или по команде оператора. Максимальная ошибка измерения координат определялась исходя из размеров сто́ба сопровождения (см. рисунок 1).

$$\sigma_{\max} = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2}, \quad (2)$$

где a и b – заданные ширина и высота сто́ба сопровождения соответственно.

Расстояние между эталонными и измеренными координатами центра объекта интереса определялись исходя из выражения

$$D = \sqrt{(y_{\text{эт}} - y_{\text{изм}})^2 + (x_{\text{эт}} - x_{\text{изм}})^2}, \quad (3)$$

где $y_{\text{эт}}, x_{\text{эт}}$ – эталонные координаты центра объекта интереса;

$y_{\text{изм}}, x_{\text{изм}}$ – измеренные координаты центра объекта интереса по результатам работы алгоритма сопровождения.

Таким образом, наличием срыва сопровождения считалась ситуация, удовлетворяющая условию

$$D > \sigma_{\max}. \quad (4)$$

В рамках выполнения различных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по данной тематике [5; 7] коллективом авторов была разработана обобщенная схема функционирования и оценки качества системы сопровождения оптически наблюдаемых объектов с комплексированием информации, которая представлена на рисунке 2. Авторские блоки на схеме выделены серым цветом.

Согласно рисунку 2 непосредственно оценка качества работы алгоритмов сопровождения происходит в блоке сравнения результатов работы алгоритмов сопровождения. Именно в данном блоке осуществляется расчет и сравнение среднего количества срывов сопровождения на 1000 кадров исследуемых

алгоритмов сопровождения согласно выражению (1). Входными данными для этого блока являются количество срывов сопровождения за время работы исследуемых алгоритмов сопровождения N_{cp*} и показатель качества обрабатываемого изображения PSR_* (Peak-to-sidelobe-ratio), символ * указывает на тип видеопоследовательности, по которой работал алгоритм (видимый, ИК-диапазон, комплексированная видеопоследовательность и др.) [4]. Выходными данными блока является алгоритм сопровождения, показавший наилучшие результаты работы, т.е. по результатам работы которого показатель качества Ω_* принимает наименьшее значение ($\Omega_* \rightarrow \Omega_{min}$).

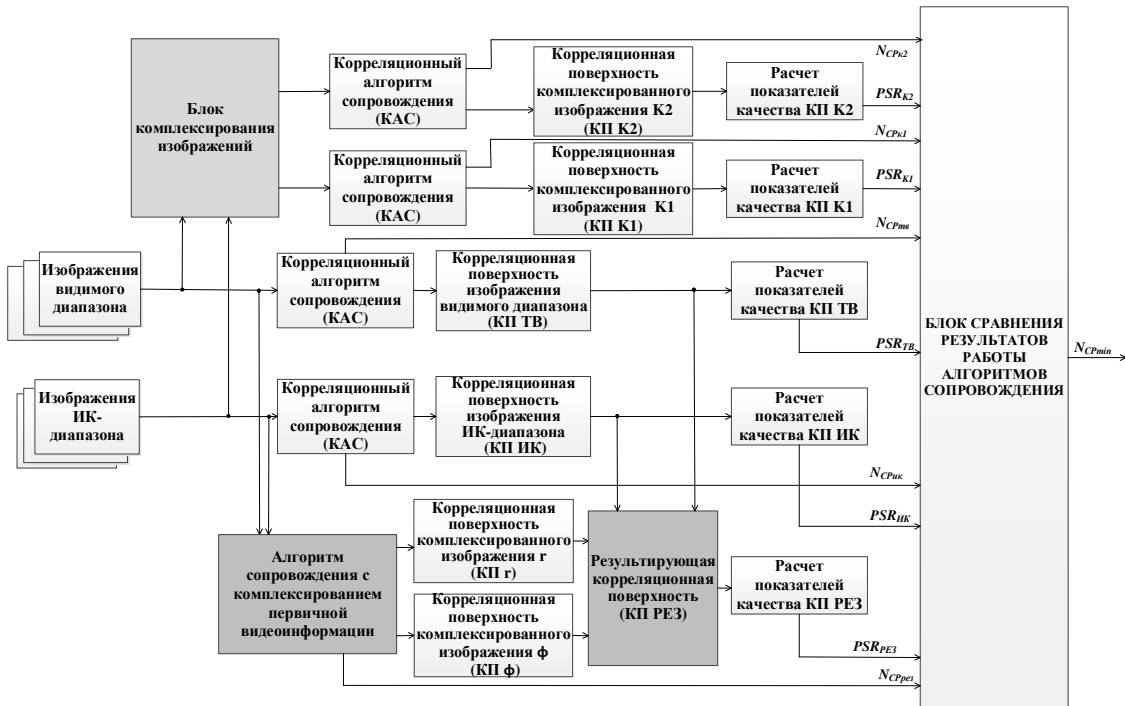


Рисунок 2. – Обобщенная схема функционирования и оценки качества системы сопровождения оптически наблюдаемых объектов с комплексированием информации

Таким образом, разработанная методика проведения испытаний алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов в двухканальной системе сопровождения представляет собой последовательность выполнения следующих основных операций (см. рисунок 2):

- 1) захват объекта интереса на сопровождение (по команде оператора);
- 2) работа типового корреляционного алгоритма сопровождения:
 - а) подача исходных видеопоследовательностей видимого и ИК-диапазонов с выходов источников информации на типовой корреляционный алгоритм сопровождения оптически наблюдаемых объектов;
 - б) построение корреляционных поверхностей КП ТВ и КП ИК для сопровождаемого объекта интереса;
 - в) фиксирование срывов сопровождения;
 - г) расчет показателей качества (Ω_{tv} , Ω_{ik});
 - д) передача показателей качества (Ω_{tv} , Ω_{ik}) на блок сравнения результатов работы алгоритмов сопровождения;
 - е) передача параметров качества изображений (PSR_{tv} , PSR_{ik}) на блок сравнения результатов работы алгоритмов сопровождения;
- 3) работа типового корреляционного алгоритма сопровождения по комплексированным видеопоследовательностям:
 - а) подача исходных видеопоследовательностей видимого и ИК-диапазонов на блок комплексирования изображений;
 - б) формирование комплексированных видеопоследовательностей K1 [5], K2 (алгоритм критерия суммирования [6]);
 - в) подача комплексированных видеопоследовательностей на типовой корреляционный алгоритм сопровождения оптически наблюдаемых объектов;
 - г) построение корреляционных поверхностей КП К1, КП К2.

- д) фиксирование срывов сопровождения;
- е) расчет показателей качества (Ω_{K1} , Ω_{K2});
- ж) передача показателей качества (Ω_{K1} , Ω_{K2}) на блок сравнения результатов работы алгоритмов сопровождения;
- з) передача параметров качества изображений (PSR_{K1} , PSR_{K2}) на блок сравнения результатов работы алгоритмов сопровождения;
- 4) работа алгоритма сопровождения оптически наблюдаемых объектов с комплексированием первичной видеoinформации:
 - а) подача исходных видеопоследовательностей видимого и ИК-диапазонов на алгоритм сопровождения оптически наблюдаемых объектов с комплексированием первичной видеoinформации;
 - б) формирование новых комплексированных изображений r и φ в соответствии с алгоритмом [7];
 - в) построение корреляционных поверхностей дополнительных комплексированных изображений КП r и КП φ в соответствии с алгоритмом [7];
 - г) построение результирующей корреляционной поверхности в соответствии с алгоритмом [7];
 - д) фиксирование срывов сопровождения;
 - е) расчет показателей качества ($\Omega_{рез}$);
 - ж) передача показателя качества ($\Omega_{рез}$) на блок сравнения результатов работы алгоритмов сопровождения;
 - з) передача параметров качества изображений ($PSR_{рез}$) на блок сравнения результатов работы алгоритмов сопровождения;
- 5) работа обобщенной схемы функционирования и оценки качества системы сопровождения оптически наблюдаемых объектов с комплексированием информации завершается анализом работы алгоритмов сопровождения и выбором оптимального для конкретных условий способа сопровождения, для которого $\Omega \rightarrow \Omega_{min}$.

Для сравнения результатов работы алгоритмов сопровождения на вход обобщенной схемы можно подавать как синтезированные, так и экспериментальные видеопоследовательности видимого и ИК-диапазонов.

Синтезированные видеопоследовательности представлены набором изображений формата jpg из базы данных, находящейся в свободном доступе в сети Интернет [8] и представляющей собой эталонный набор данных для тестирования и оценки новых алгоритмов компьютерного зрения, в том числе и алгоритмов сопровождения.

Видео представляет собой съюстированные по времени и углу обзора последовательности изображений видимого и ИК-диапазонов. Фрагменты данных видеопоследовательностей представлены на рисунке 3.



а – видимый диапазон; б –инфракрасный диапазон

Рисунок 3. – Фрагмент синтезированной видеопоследовательности видимого и ИК-диапазонов

Следует отметить, что использование синтезированных изображений дает широкие возможности по исследованию работы алгоритмов сопровождения в различных условиях фоновой-целевой обстановки (задымление, туман, размытие объекта сопровождения и т.п.) без проведения экспериментов или полунатурного моделирования.

В качестве экспериментальных применялись видеопоследовательности, снятые на стендовом оборудовании в ходе проведения эксперимента по получению изображений различного спектрального диапазона [3]. Фрагменты экспериментальных видеопоследовательностей представлены на рисунке 4.



a – видимый диапазон; *б* – инфракрасный диапазон

Рисунок 4. – Фрагмент экспериментальной видеопоследовательности видимого и ИК-диапазонов (сопровождение наземного объекта)

Заключение. Разработанная методика проведения исследований алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов в двухканальной системе сопровождения позволяет воспроизводить и оценивать влияние возмущающих факторов на работу алгоритмов сопровождения в условиях изменяемой фоновой-целевой обстановки и наличия преднамеренных помех, а также проводить исследования по разработке и анализу новых и перспективных алгоритмов сопровождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматическое обнаружение и сопровождение динамических объектов на изображениях, формируемых оптико-электронными приборами в условиях априорной неопределенности. Методы и алгоритмы / Гузенко О.Б. [и др.] ; под ред. А.А. Храмычева – М. : Радиотехника, 2015. – 280 с.
2. Алгоритм автоматического обнаружения, выделения и оценки динамических объектов, возникающих в последовательности телевизионных кадров. Цифровая обработка сигналов и ее применение / Б.А. Алпатов [и др.] // Доклады 3-й Междунар. конф. DSPA-2000. – СПб., 2000. – Т. 3. – С. 110–116.
3. Баклицкий, В.К. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения / В.К. Баклицкий. – Тверь : ТО «Книжный клуб», 2009. – 360 с.
4. Van Droogenbroeck, M. ViBe: a disruptive method for background subtraction / M. Van Droogenbroeck, O. Barnich // Background Modeling and Foreground Detection for Video Surveillance / ed.: T. Bouwmans [et al.]. – Chapman and Hall/CRC. – 2014. – P. 7.1–7.23.
5. Шарак, Д.С. Применение комплексирования изображений, получаемых от источников различного спектрального диапазона, в задачах сопровождения оптически наблюдаемых объектов / Д.С. Шарак, А.В. Хижняк, Е.И. Михненко // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2017. – № 2 (55). – С. 72–79.
6. Способ комплексирования цифровых полутоновых телевизионных и тепловизионных изображений : пат. 2451338 РФ : МПК G06T5/00 (2010) / А.П. Богданов, Л.Н. Костяшкин, А.В. Морозов, О.В. Павлов, Ю.Н. Романов, А.В. Рязанов. – Оpubл. 20.05.2012.
7. Повышение качества сопровождения оптически наблюдаемых объектов при комплексировании первичной видеoinформации в корреляционных алгоритмах сопровождения / Д.С. Шарак [и др.] // Докл. БГУИР. – 2016. – № 5 (99). – С. 79–86.
8. OTCBVS Benchmark Dataset Collection [Electronic resource]. – Mode of access: <http://vcipl-okstate.org/pbvs/bench/>. – Date of access: 30.11.2015.

Поступила 09.11.2020

METHOD OF TESTING ALGORITHMS FOR TRACKING OPTICALLY OBSERVED OBJECTS IN A TWO-CHANNEL TRACKING SYSTEM

A. KHIZNIAK, D. SHARAK, A. SERGEENKO

The development of a methodology for testing algorithms for tracking optically observed objects in a two-channel tracking system, as well as a generalized scheme for functioning and evaluating the quality of the tracking system for optically observed objects with information aggregation are presented. The developed method is based on the calculation of such an indicator of the quality of the tracking algorithms as the average probability of failure of tracking per 1000 frames of the video sequence. A special feature of the scheme of functioning and quality assessment of the tracking system is the possibility of using both experimental and generated video sequences, as well as the possibility of changing the studied tracking algorithms. The developed research methodology makes it possible to conduct research on existing tracking algorithms in various conditions of the background-target environment, including in the presence of deliberate interference, as well as to conduct research on the development and analysis of new and promising tracking algorithms.

Keywords: tracking algorithm, evaluating the quality, optical system.