

УДК 621.391.8

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

Стрелкова Т.А.<sup>1</sup>, Лытгога А.П.<sup>1</sup>, Калмыков А.С.<sup>1</sup>, Кожушко Я.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ХНУРЭ «Харьковский национальный университет радиоэлектроники»  
Харьков, Украина

<sup>2</sup>ХНУВС «Харьковский национальный университет Воздушных Сил»  
Харьков, Украина

Несмотря на огромные успехи в области активной и пассивной локации, возможности обнаружения воздушных объектов, их распознавания и классификации в реальном масштабе времени, по-прежнему остаются актуальными методы обнаружения воздушных объектов.

Одной из причин постоянного развития методов обнаружения является, например, массированное применение и использование малогабаритных беспилотных летательных аппаратов, недоступных для обнаружения (или выдачи их координат с целью наведения) общепринятыми стационарными локационными средствами [1]. С другой стороны – малогабаритные оптико-электронные системы на борту беспилотных летательных аппаратов могут использоваться в различное время суток с целью выполнения ряда специфических задач [2], например таких, как обнаружение интересующих объектов в воздушном и приземном пространстве, экологический контроль. Мониторинг воздушного пространства может осуществляться оптико-электронными системами, работающими одновременно в нескольких спектральных диапазонах, с одновременной обработкой полученной информации на борту с целью выделения интересующих информативных признаков [3, 4].

Таким образом, оптимизация параметров обнаружения сигналов в оптико-электронных системах контроля воздушного пространства является актуальной задачей.

Задачи приема и обнаружения оптических сигналов на фоне шумов широко обсуждаются в [4–12]. Потенциальные возможности оптико-электронных систем по энергетической чувствительности, разрешающей способности и обнаружительным свойствам, как правило, ограничиваются внутренними шумами фотоприемных устройств, флуктуациями принимаемого сигнала, квантовыми шумами, а также геометрическими размерами наблюдаемых объектов [13, 14].

Динамический диапазон оптико-электронных систем определяется отношением освещенности на верхней границе диапазона, при которой наступает насыщение, к освещенности на нижней границе диапазона, при которой величина отношения сигнал/шум равна пороговому значению. Несмотря на возможность усиления, сколь угодно слабых сигналов до любой величины, не всегда удается зарегистрировать их из-за хаотических флуктуаций различной природы.

Как обсуждается в работах [14–16], распределение энергетической освещенности в поле зрения оптико-электронной системы имеет стохастический характер, создающий неоднородный фон, связь между входным (оптическим сигналом) и выходным потоком (сигналом с выхода фотоприемника) может иметь детерминированный и стохастический характер. Нижний предел энергии, которая может быть обнаружена оптико-электронной системой, ограничивается уровнем флуктуаций шумовой составляющей, вклад в которую вносят среда распространения, объект наблюдения, оптическое звено и фотоприемник.

Процесс регистрации сигнала при наличии шумов требует предварительного знания отличительных признаков сигнала и шума. Использование этих признаков позволяет решить задачу обнаружения. Обычно ответ носит вероятностный характер. Это связано с тем, что любой признак или свойство в той или иной степени присущи как сигналу, так и шуму. С точки зрения математического описания шумовая составляющая представляет собой случайную функцию, которая в результате опыта может принять тот или иной вид случайной реализации, какой именно – заранее неизвестно.

В оптико-электронных системах при обнаружении объектов не существует обобщенного параметра обнаружения, например, как для радиочастотного диапазона, величина отношения сигнал/шум. Характеристики обнаружения зависят от статистических, энергетических и геометрических характеристик помех и сигнала.

Для разработки и применения методов и алгоритмов улучшения качества изображений в оптико-электронных системах проводится оценка обнаружительной способности системы по критериям максимума отношения правдоподобия, условным вероятностям правильного обнаружения и ложной тревоги, величины отношения сигнал/шум.

При повышении эффективности оптико-электронных систем необходимым является учет стохастических, энергетических и пространственно-временных свойств сигналов. При решении различных задач с помощью оптико-электронных систем ее структура может изменяться. В зависимости от назначения в ее состав могут включаться устройства, выполняющие преобразования сигналов с целью более эффективного принятия

решення. Основним етапом при моделюванні і конструюванні оптико-електронних систем являється узгодження параметрів вибраних елементів системи, наприклад характеристик оптичного звена або фотоприймача з умовами спостереження і характеристиками спостережуваного об'єкта.

Приймаючи до уваги можливість використання різних граничних теорем, лежачих в основі розрахунку виявляючої здатності систем [17–18], в доповіді представлено порівняльний аналіз ймовірності прийняття помилкового рішення при різних умовах роботи системи. Обговорюється розроблена статистична модель слабого оптичного випромінювання на фоні шумів. В основі статистичного опису вихідних сигналів лежить закон розподілу дискретних подій, якому притаманні властивості наявності кореляцій між подіями. Стохастичний вихідний сигнал охарактеризовано як нестационарний потік подій, не має властивостей пуассонівського потоку. Формування випадкової величини – вихідного сигналу оптико-електронних систем – представлено в вигляді адитивної суми сигнальної і шумової складової в різних співвідношеннях.

Представлені дослідження спрямовані на оптимізацію методів виявлення сигналів на основі узгодження просторових і енергетичних характеристик досліджуваного сигналу з властивостями виявлення оптико-електронних систем. Враховано статистичні властивості вихідних сигналів, що мають негауссову статистику. Враховано асимптотичне поведіння закону розподілу випадкового процесу, що характеризує вихідний сигнал оптико-електронних систем.

Предложенные методы обнаружения позволяют оптимизировать стохастико-детерминированные методы обработки сигналов, характеризующихся низкой величиной отношения сигнал/шум (менее 5), тем самым позволяют расширить динамический диапазон оптико-электронных систем.

#### Литература

1. Кожушко Я.Н. Тенденции развития авиационных средств радиоэлектронной борьбы военно-воздушных сил Соединенных Штатов Америки / Я.Н. Кожушко, Ю.А. Олейник, А.И. Резниченко, А.А. Михайлик // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. - Х.: ХУ ПС. – 2011. – Вип. 2 (6). – С. 44–48.
2. Кожушко Я.М. Аналіз можливого бортового оснащення радіотехнічними та телевізійними системами безпілотного літального апарату / Я.М. Кожушко, О.М. Гричанюк, М.Г. Саморок, О.С. Балабуха // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Х.: ХНУПС, 2018. – № 4 (58). – С. 37–42.
3. Berezina S. On the Possibility of Tone Correction of Heterogeneous Images Received by Optoelectronic Surveillance Systems / S. Berezina, Y. Kozhushko, O.

Klimishen, I. Vasil'eva // 2018 IEEE Int. Conf. on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET\*2018).– Kyiv, Ukraine. 2018. – P. 107-110.

4. Кожушко Я.М. Аналіз впливу складних погодних умов на дальність дії лазерних систем сигналізації при виявленні дифузної відбитих об'єктів / Я.М. Кожушко, Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 3 (47). – С. 69–71.

5. Бассвиль М., Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем. Москва, Россия: Мир, 1989.

6. Никитенко В.И., Ветохин С.С. «Быстрые непараметрические алгоритмы обнаружения слабых оптических сигналов», Вестник томского государственного университета, № 1(22), с. 104–113, 2013.

7. Белоусов Ю.И., Фисенко В.Т. «Особенности алгоритмов цифровой обработки изображений в оптико-электронных системах нового поколения, Изв. Вузов. Приборостроение. т. 52, № 8, с. 7–12, 2008.

8. Парфенов В.И., Кирилов В.С., «Анализ характеристик обнаружения слабых оптических сигналов с предусилением», Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Физика. Математика, № 2, с. 66-72, 2012

9. Белоусов Ю.И., Иванов Д.В., «Учет характеристик флуктуаций фонового излучения при горизонтальной области моря в алгоритмах обработки сигналов инфракрасных приборов», Изв. Вузов. Приборостроение, т. 52, № 8, с. 43–49, 2008.

10. Литюга О.П. Ефективність виявлення оптичних сигналів в телевізійних системах при спостереженні низькоорбітальних космічних об'єктів в денний час / Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – № 4(20). – С. 135-140.

11. Писаревский А.И., и др. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение). Ленинград, Россия: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988.

12. М. Эклз, Э. Сим К. Триттон. Детекторы слабого излучения в астрономии : пер. с англ. Москва, Россия: «Мир», 1986.

13. T. Strelkova, V. Kartashov, A. Lytyuga, A. Strelkov, Theoretical methods of images processing in optoelectronic systems, in Biometrics: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications. 2017, pp. 361–381

14. Стрількова Т.О. «Розвиток стохастико-детермінованої теорії прийому та обробки сигналів в оптико-електронних системах», дис. доктор., наук, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2017

15. Стрелков А.И., Стадник А.М., Литюга А.П., Стрелкова Т.А. Сравнительный анализ вероятностного и детерминированного методов ослабления световых потоков. Радиотехника: Всеукр. Межвед. наук.-техн. сб. -1998. – Вып. 108. – С. 27–33.

16. Т.А. Strelkova «Studies on the Optical Fluxes Attenuation Process in Optical-electronic Systems», Semiconductor physics, quantum electronics & optoelectronics (SPQEO), no. 4, pp. 421–424, 2014.

17. Стрількова Т.О., Литюга О.П., «Стохастичні моделі вихідних сигналів оптико-електронних систем» на XVII Міжнар. наук.-прак. конф. Приладобудування: стан і перспективи, Київ, 2018, с. 34.

18. Калмиков О.С., Стрількова Т.О., Литюга О.П., «Статистична модель сигналів в оптико електронних системах при реєстрації надслабого випромінювання» на XVII Міжнар. наук.-прак. конф. Приладобудування: стан і перспективи, Київ, 2019, С. 34–35.