

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОБЛЕМ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

FUNDAMENTALS OF RELIABILITY AND QUALITY ISSUES

УДК 623.4.021.4

doi: 10.21685/2307-4205-2024-4-1

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПОЛЕ ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А. И. Годунов¹, М. В. Ерофеев², А. И. Мельничук³, Е. Т. Ескибаев⁴, А. М. Мухамбетов⁵

^{1,3} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

² Филиал Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева в г. Пенза, Пенза, Россия,

^{4,5} Военный институт сил воздушной обороны, Актобе, Казахстан

¹ avitelpgu@mail.ru, ² mihail.erofeew@mail.ru, ³ pelmenio@mail.ru,

⁴ erbol.eskibaev_26.04@mail.ru, ⁵ suimbayeva@internet.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Современные малогабаритные беспилотные летательные аппараты (МБЛА) выполняют разнообразные задачи, такие как наблюдение, целеуказание, нанесение ударов, транспортировка грузов и т.д. *Материалы и методы.* Исследование сосредоточено на выборе наилучшего комплекса построения информационного поля на основе нейронных сетей. *Результаты и выводы.* Предложенный комплекс позволит осуществлять контроль воздействия средств противодействия МБЛА и корректировку выбора наиболее эффективного средства борьбы с ними в различных условиях. К различным условиям относятся: скрытая работа комплексов обнаружения и борьбы, средства радиоэлектронной борьбы и активные воздействия МБЛА и противодействия им, а также сложный рельеф, населенные пункты с разной этажностью и т.п.

Ключевые слова: МБЛА, обнаружение, нейронные сети, информационное поле

Для цитирования: Годунов А. И., Ерофеев М. В., Мельничук А. И., Ескибаев Е. Т., Мухамбетов А. М. Информационное поле обнаружения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов в пространстве на основе нейронных сетей // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 4. С. 5–14. doi: 10.21685/2307-4205-2024-4-1

INFORMATION FIELD FOR DETECTING SMALL-SIZED UNMANNED AERIAL VEHICLES IN SPACE BASED ON NEURAL NETWORKS

A.I. Godunov¹, M.V. Yerofeev², A.I. Melnichuk³, E.T. Eskibaev⁴, A.M. Mukhambetov⁵

^{1,3} Penza State University, Penza, Russia

² Branch of the Military Academy of Logistics named after Army General A.V. Khrulev in Penza, Penza, Russia

^{4,5} Military Institute of Air Defense Forces, Aktobe, Kazakhstan

¹ avitelpgu@mail.ru, ² mihail.erofeew.@mail.ru, ³ pelmenio@mail.ru,

⁴ erbol.eskibaev_26.04@mail.ru, ⁵ suimbayeva@internet.ru

Abstract. *Background.* Modern small unmanned aerial vehicles (UAVs) perform a variety of tasks, such as surveillance, target designation, strikes, cargo transportation, etc. *Materials and methods.* The study is focused on choosing the best complex for constructing an information field based on neural networks. *Results and conclusions.* The proposed complex will allow monitoring the impact of countermeasures to UAVs and adjusting the choice of the most effective means of combating them in various conditions. Various conditions include: covert operation of detection and control systems, electronic warfare and active impacts of UAVs and counteraction to them, as well as complex terrain, populated areas with different numbers of storeys, etc.

Keywords: UAVs, detection, neural networks, information field

For citation: Godunov A.I., Yerofeev M.V., Melnichuk A.I., Eskibaev E.T., Mukhambetov A.M. Information field for detecting small-sized unmanned aerial vehicles in space based on neural networks. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2024;(4):5–14. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2024-4-1

Введение

В настоящее время возрастает необходимость в системах, которые способны не только выполнять однажды запрограммированную последовательность действий над заранее определенными данными, но и способны сами анализировать вновь поступающую информацию, находить в ней закономерности, производить прогнозирование и т.д. В этой области приложений самым лучшим образом зарекомендовали себя так называемые искусственные нейронные сети (ИНС) – самообучающиеся системы, имитирующие деятельность человеческого мозга [1].

Для обнаружения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (МБЛА) выбираем многослойный персептрон, структура которого показана на рис. 1. В качестве исходных данных имеем [2]: размерность вектора входного сигнала (N_x), размерность вектора выходного сигнала (N_y), количество особых точек на изображении цели обучающей выборки (N_p).

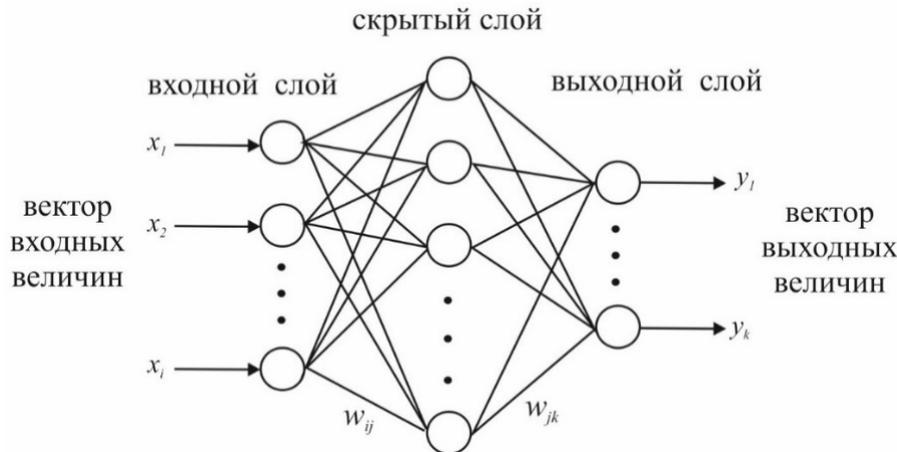


Рис. 1. Многослойный персептрон

Так, число нейронов скрытого слоя ($N_{ск}$) двухслойного персептрона будет равно [2]:

$$N_{ск} = \frac{N_w}{N_x + N_y}. \tag{1}$$

Распознавание и обнаружение МБЛА

Процесс распознавания цели с помощью ИНС состоит из трех этапов. Первый – это извлечение признаков из эталонных изображений по алгоритму обнаружения особых точек SURF и формирование из них базы данных; второй этап – определение ($N_{ск}$) и обучение нейронной сети с использованием этих данных и желаемых выходов \tilde{y}_i ; третий этап – это этап распознавания объекта, в процессе которого извлечены признаки из текущего изображения и применены в ходе построения нейронной сети [2]. При этом на этапе распознавания цели при использовании разработанной ИНС, в которой получено оптимальное число нейронов в скрытом слое ($N_{ск} = 37$), имеем возможность ее обучения с целью получения высокой вероятности распознавания $P_{расп} \approx 0,99$.

Используя процесс распознавания МБЛА с помощью ИНС, необходимо выбрать из существующих способов определения пространственных координат наиболее эффективные для построения информационного поля обнаружения МБЛА. Анализ патентов по данной тематике выявил направление обнаружения МБЛА и показал, что наиболее эффективными являются пеленгационный и стереоскопический методы [3–6].

В настоящее время пеленгационный метод определения координат объектов широко распространен в практике оптических и радиолокационных внешнетраекторных измерений. Он основан на измерении угловых координат объекта в горизонтальной (азимут или дирекционный угол) и вертикальной (угол места) плоскостях. В этом случае достаточно двух измерительных пунктов, чтобы однозначно определить пространственные координаты летательного аппарата [4].

Стереоскопическим методом обнаружение МБЛА (рис. 2) происходит на основе сравнения кадров видеопоследовательности и определения геометрических и цветовых изменений сформированных изображений двумя телевизионными датчиками, при этом ЭВМ автоматически выбирает основной телевизионный датчик для определения дальности до МБЛА, в данном случае – 1 и для определения угла γ телевизионный датчик – 2.

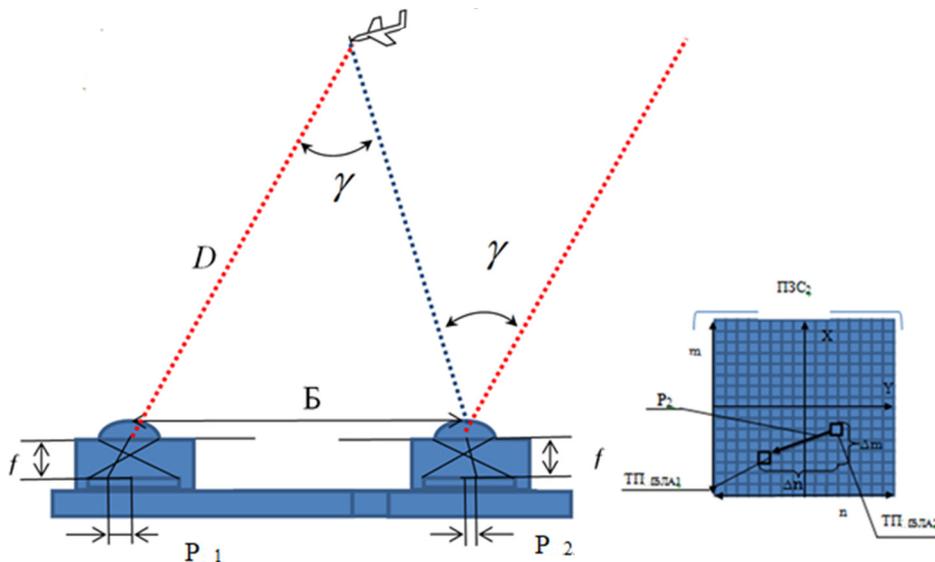


Рис. 2. Стереопары обнаружителей МБЛА

Дальность D (рис. 2) до МБЛА определяется по величине параллактического угла $\epsilon_{\text{МБЛА}}$ выражением $\gamma = P2/f$ и по величине базы между датчиками B .

Используя определенные координаты телевизионных датчиков или оптико-электронного устройства (ОЭС) и углы направления $\gamma_{\text{МБЛА}}$, ЭВМ рассчитывает пространственные координаты МБЛА в оптическом диапазоне электромагнитных волн (рис. 3). Определяя постоянно пространственные координаты МБЛА, ЭВМ определяет скорость и направление движения, что позволяет производить сопровождение МБЛА. Информация о координатах ОЭС определяется в автоматическом режиме и поступает с датчика топопривязки или введенных данных в ручном режиме, полученных с топографических карт (например, $X_{\text{ОЭС}}$, $Y_{\text{ОЭС}}$, $Z_{\text{ОЭС}}$) (рис. 3).

Дальность до МБЛА D_1 , определяемая углами $\alpha_{\text{МБЛА}}$ и $\epsilon_{\text{МБЛА}}$ с ОЭС, расположенной на нем, рассчитываются по пространственным координатам ΔX , ΔY и ΔZ , при этом они являются приращениями. Их значения определяются следующим образом [3]:

$$X_{\text{МБЛА}} = X_{\text{ОЭС}} + \Delta X = X_{\text{ОЭС}} + D \cos(\alpha_{\text{МБЛА}}); \quad (2)$$

$$Y_{\text{МБЛА}} = Y_{\text{ОЭС}} + \Delta Y = Y_{\text{ОЭС}} + D \sin(\alpha_{\text{МБЛА}}); \quad (3)$$

$$Z_{\text{МБЛА}} = Z_{\text{ОЭС}} + \Delta Z = Z_{\text{ОЭС}} + D \sin(\epsilon_{\text{МБЛА}}). \quad (4)$$

Угол по азимуту $\alpha_{\text{МБЛА}}$ рассчитывается по размерам параллактического смещения от нулевого значения, угол места цели $\epsilon_{\text{МБЛА}}$ рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_{\text{МБЛА}} = 45^\circ \pm \gamma, \quad (5)$$

где угол γ определяется исходя из величины линейного параллакса и расстояния между смещенными оптическими осями объективов телевизионных датчиков, регистрирующих опорное и соответствующее сравниваемое изображение (рис. 3).

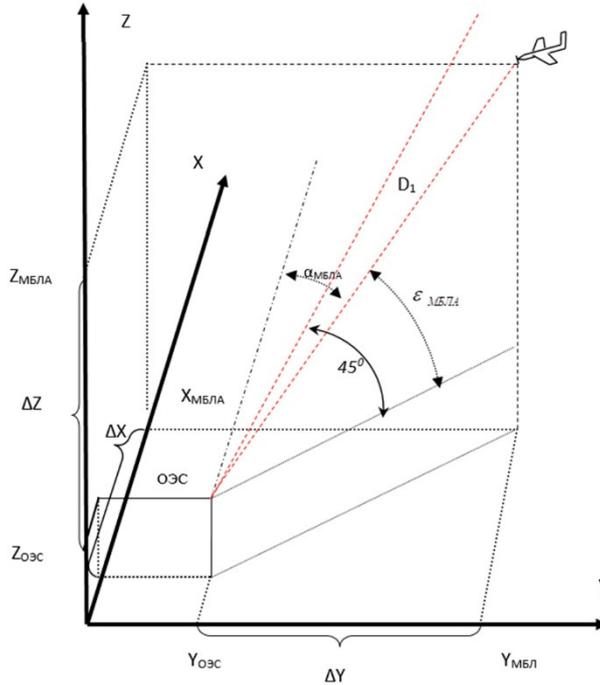


Рис. 3. Схема определения дальности и пространственных координат МБЛА

Система управления комплексными методами противодействия МБЛА

Для построения информационного поля необходимо использовать систему управления комплексными методами противодействия малогабаритным беспилотным летательным аппаратам.

Система управления комплексными методами противодействия малогабаритным беспилотным летательным аппаратам основана на использовании систем обнаружения и поражения. К системе обнаружения относятся средства обнаружения и прицеливания, выполненные на трех и более пространственно разнесенных точках на гиостабилизирующих платформах, связанных между собой рабочими базами, автоматически определяющими расстояния между собой и свои пространственные координаты. Это позволяет разместить их как на подвижных, так и на стационарных объектах. На каждой базе размещены датчики, работающие в оптическом, акустическом диапазонах, и датчики, работающие в настраиваемых радиолокационных диапазонах электромагнитных волн. Управление работой и обработкой полученной информации осуществляет ЭВМ с элементами искусственного интеллекта. ЭВМ выбирает датчики для более точного обнаружения и определения пространственных координат МБЛА в различных условиях ведения наблюдения, строит объемное 3D-изображение МБЛА и сравнивает его с запрограммированными МБЛА для их распознавания и прицеливания. Система поражения по рассчитанным пространственным координатам МБЛА и гиостабилизированной боевой части пакета направляющих с кассетным зарядом, используя механизмы наведения в точку упреждения, запускает таймеры настраиваемых детонаторов ракеты, производит контроль поражения МБЛА [5].

Для подвижного информационного поля наиболее близким прототипом является комплекс борьбы с беспилотными летательными аппаратами, который размещается на подвижном объекте с защитой [6].

Комплекс борьбы с МБЛА включает в себя подвижную башню 1, размещенную на базовом шасси 2, систему кругового обзора и прицеливания 3, использование которой осуществляется на основе параллельной работы оптических, радиолокационных и акустических датчиков. Также на башне 1 размещены пусковые установки с ракетами 4, артиллерийская система 5, гранатометы 6,

съемные контейнеры с МБЛА и роботизированными многофункциональными наземными платформами (РМНП) 7, а для радиотехнического подавления МБЛА на башне размещена станция подавления 8 (рис. 4).

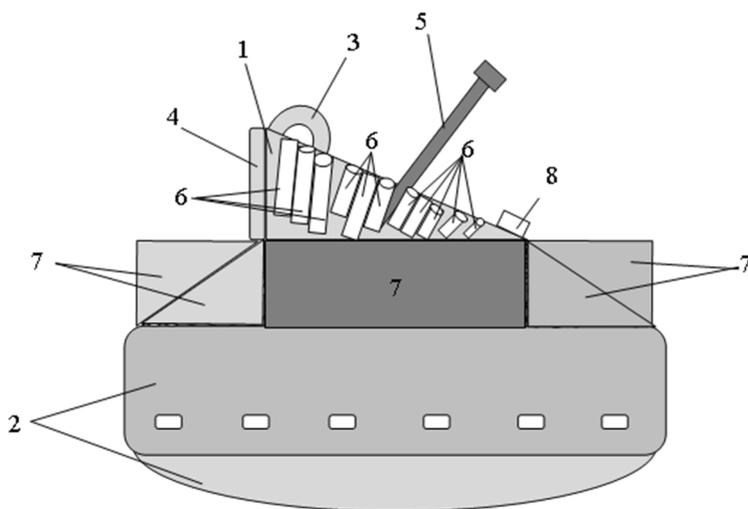


Рис. 4. Комплекс борьбы с МБЛА в походном варианте:
 1 – подвижная башня; 2 – базовое шасси; 3 – система кругового обзора и прицеливания;
 4 – пусковые установки с ракетами; 5 – артиллерийская система; 6 – гранатометы;
 7 – съемные контейнеры с МБЛА и РМНП; 8 – станция подавления МБЛА

Комплекс борьбы с МБЛА предназначен для прикрытия тактического звена при ведении боевых действий и охраны важных объектов. Для уменьшения времени развертывания комплекса в рабочее положение съемные контейнеры развертываются как на месте, так и в движении, при этом открывают защитную гранатометную систему 9. Размещение направляющих гранатометов позволяет обеспечить круговую оборону на 360° по азимуту и 90° по углу места (ближайшую полусферу обороны).

МБЛА самолетного типа 10, МБЛА мультикоптерного типа 11 и РМНП 12, в количестве от шести и более комплектов, крепятся к съемным контейнерам изнутри (рис. 5) и после развертывания приводятся в движение на основе заложенных программ в процессоры.

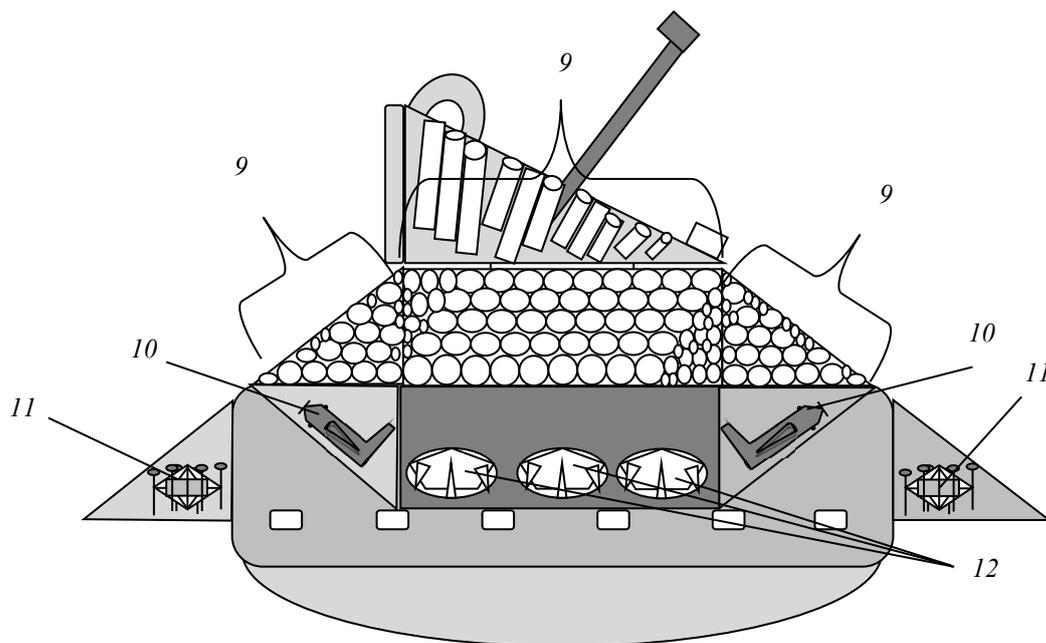


Рис. 5. Комплекс борьбы с МБЛА в развернутом виде:
 9 – гранатометная система поражения МБЛА ближнего радиуса действия;
 10 – МБЛА-истребители самолетного типа; 11 – МБЛА мультикоптерного типа; 12 – РМНП

Связь между воздушными платформами МБЛА самолетного типа, МБЛА мультикоптерного типа, РМНП и базовым шасси поддерживается в многоканальном режиме оптическим и радиоканалом, резервный – проводной – используется в стационарных условиях и мегаполисах или населенных пунктах. Базовое шасси оборудовано аппаратурой, которая позволяет поддерживать связь с другими средствами автоматизированных систем управления для получения, передачи команд и обстановки по содержанию информационного поля в реальном масштабе времени (рис. 5).

Комплекс борьбы с МБЛА создает информационное поле не только системой кругового обзора и прицеливания, размещенной на подвижной башне, но и воздушными платформами в виде МБЛА самолетного типа 10, МБЛА мультикоптерного типа 11 и наземными платформами РМНП 12. Использование различных платформ позволяет осуществлять обнаружение и противодействие МБЛА в сложных рельефах местности и населенных пунктах.

Воздушные и наземные платформы автоматически определяют расстояния между собой и свои пространственные координаты, что позволяет определять пространственные координаты МБЛА 13 (рис. 6).

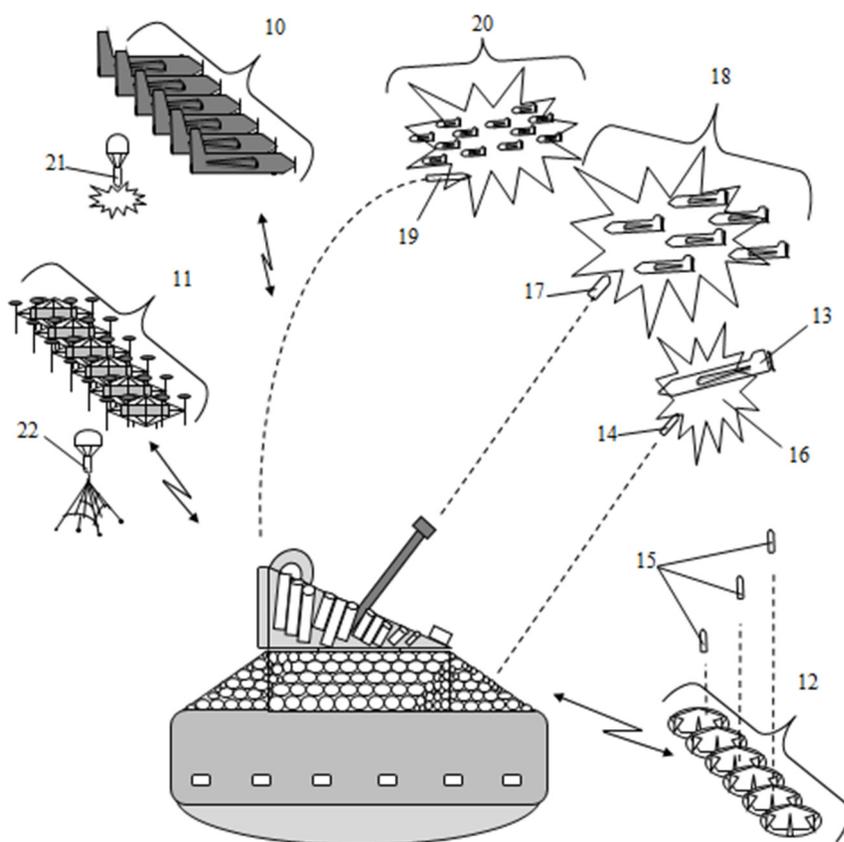


Рис. 6. Комплекс борьбы с МБЛА в боевом варианте:

- 10 – МБЛА-истребители самолетного типа; 11 – МБЛА мультикоптерного типа; 12 – РМНП;
- 13 – МБЛА противника; 14 – граната, отстреленная системой гранатометов; 15 – гранаты, отстреленные РМНП; 16 – область подрыва гранаты и поражение МБЛА противника; 17 – управляемый по лучу лазера снаряд; 18 – область подрыва снаряда и поражение нескольких МБЛА противника; 19 – ракета;
- 20 – область подрыва ракеты и поражение группы МБЛА противника; 21 – средства подавления и поражения МБЛА противника; 22 – средства захвата МБЛА противника

На каждой платформе размещено по несколько датчиков, работающих в оптическом, акустическом диапазонах, и датчики, работающие в разных настраиваемых радиолокационных диапазонах электромагнитных волн.

Управление работой и обработкой полученной информации осуществляется ЭВМ с элементами искусственного интеллекта, который сам выбирает наиболее эффективные датчики для более точного обнаружения и определения пространственных координат МБЛА и прицеливания устройств

поражения в различных условиях их применения. Рассчитанные пространственные координаты по лазерному или радиоканалу, или по проводному-резервному передаются на ближайшие к МБЛА 13 устройства их подавления, захвата или поражения.

Комплекс борьбы с МБЛА работает в следующей последовательности: одновременно регистрируя кадры видеопоследовательности и определения геометрических и цветовых изменений сформированных изображений [6], согласно изобретению контрольное (наиболее ярковыраженное) и сравниваемые цифровые изображения регистрируют одновременно для каждого фрагмента изображений тремя и более идентичными видеосистемами (датчиками) на основе многоэлементных высокоскоростных фотоприемников. Анализ изображений проводится на ЭВМ, использование трех и более приемных устройств позволяет определять достоверные трехмерные объемные изображения МБЛА. Для наиболее достоверного обнаружения и распознавания МБЛА в условиях плохой видимости, когда оптический канал по выбору ЭВМ не эффективно использовать (густой туман, полная темнота и т.д.), в процессе обнаружения используется звуковой или радиолокационный каналы. Датчики размещены совместно на воздушных и наземных платформах и параллельно фиксируют появление объекта, и также с помощью ЭВМ определяют пространственные координаты МБЛА 13 в звуковом и радиолокационном диапазонах электромагнитных волн. Определяя постоянно пространственные координаты, ЭВМ вычисляет скорость и направление движения, что позволяет производить сопровождение МБЛА и прицеливание в общем информационном поле зоны ответственности комплекса борьбы с МБЛА (рис. 7).

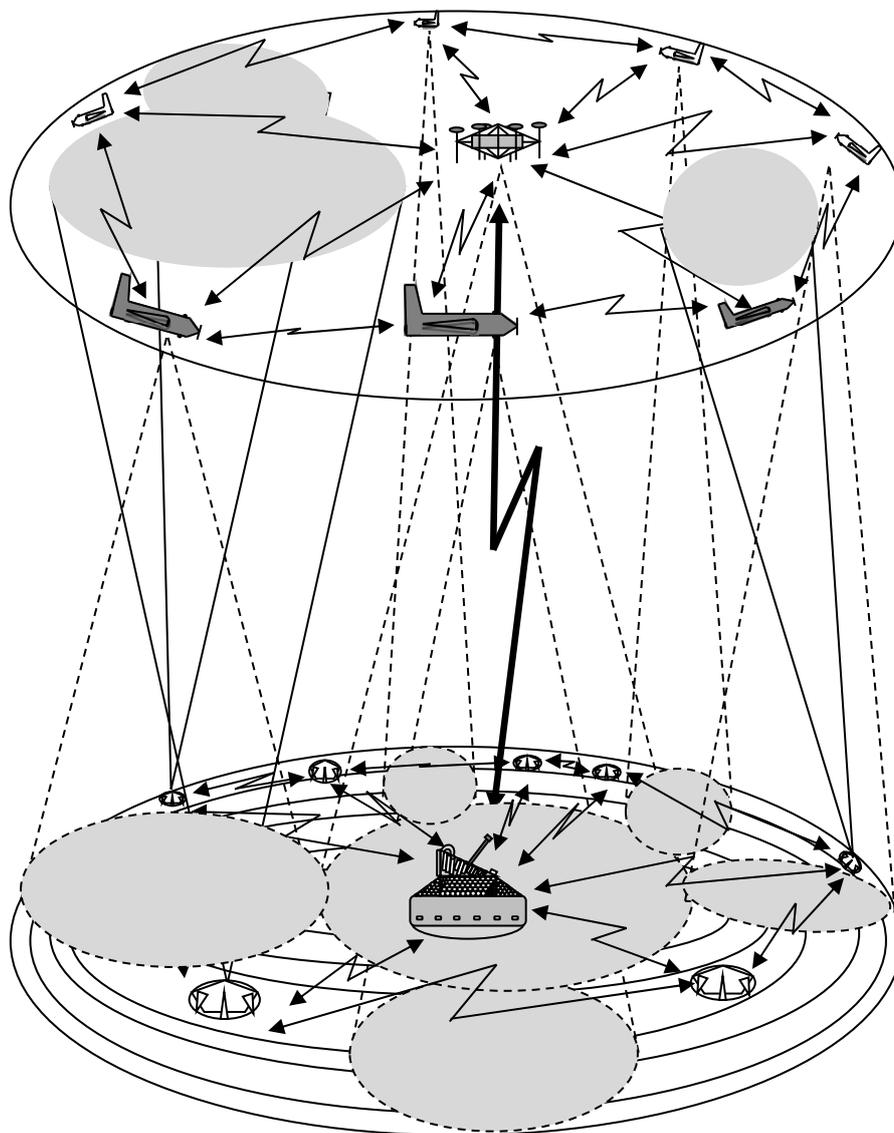


Рис. 7. Вариант построения информационного поля

Для использования разработанного комплекса борьбы с МБЛА и возможности построения им информационного поля их обнаружения необходимо применить унифицированные автомобильные базовые шасси и реализовать модульный принцип применения технических средств расстановки датчиков в пространстве.

Результаты

Информационное поле обнаружения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов в пространстве на основе нейронных сетей позволит осуществлять контроль воздействия средств борьбы с МБЛА и корректировку выбора наиболее эффективного средства борьбы с ними в различных условиях. К различным условиям относятся: скрытая работа комплексов обнаружения и борьбы, средства радиоэлектронной борьбы и активные воздействия МБЛА и противодействия им, а также сложный рельеф, населенные пункты с разной этажностью и т.п. Процесс изменения размещения обнаружителей МБЛА в пространстве производится перестроением обнаружителей в наиболее эффективное место на основе использования ИНС. Эти мероприятия необходимы для повышения вероятности обнаружения МБЛА и точного определения их пространственных координат для своевременного принятия верных решений.

Список литературы

1. Шишков С. В., Чернов Е. А., Исаев Э. К. Анализ современных систем распознавания целей с использованием нейронных сетей // Радиопромышленность. 2011. Вып. 4. Перспективы построения АСУ специального назначения. С. 58–67.
2. Годунов А. И., Шишков С. В., Балаян С. Т., Аль Сафтли Ф. Х. Разработка алгоритма оптимизации обучения нейронной сети при определении количества нейронов в скрытом слое в целях повышения вероятности распознавания образов наземной цели // Надежность и качество сложных систем. 2021. № 4. С. 106–118.
3. Шишков С. В. Устройство пеленгации и определение координат беспилотных летательных аппаратов // Радиопромышленность. 2011. Вып. 4. Перспективы построения АСУ специального назначения. С. 103–109.
4. Пат. 2645549 Российская Федерация. МПК F41H 11/02, G01S 55/00. Способ определения координат летательных аппаратов на основе использования двух дирекционных углов и одного угла места / Искоркин Д. В., Шишков С. В., Терешин А. В., Музауи К., Молоствов А. В., Синяев Е. Г. № 2015114888 ; заявл. 20.04.2015 ; опубл. 21.02.2018, Бюл. № 6.
5. Пат. 2578524 Российская Федерация. МПК F41H 11/02. Система управления комплексными методами борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами / Шишков С. В. № 2014107032 ; заявл. 25.02.2014 ; опубл. 27.08.2016, Бюл. № 24.
6. Пат. 2700107 Российская Федерация. МПК F41H 11/02; G01S 13/86. Комплекс борьбы с беспилотными летательными аппаратами / Шишков С. В., Барсуков В. А., Лысенко Е. Н., Колесников И. Б., Дорошев А. А., Синяев Е. Г., Петренко В. И., Боршин Ю. Н., Дюндьяев А. В., Кутьменев А. В., Пашинян Д. Б., Немов О. Н., Устинов Е. М., Кудрявцев П. Ю. № 2017109351 ; заявл. 24.10.2018 ; опубл. 12.09.2019, Бюл. № 26.
7. Годунов А. И., Куканов С. А., Суздальцев П. С., Мухамбетов А. М. Математическая модель системы управления квадрокоптером // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 2. С. 25–31.
8. Ошкин А. А., Филиппов Д. Ф., Годунов А. И. Методика оценки эксплуатационной безопасности боеприпасов с малочувствительными к внешним тепловым воздействиям взрывчатыми составами // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 1. С. 81–87.

References

1. Shishkov S.V., Chernov E.A., Isaev E.K. Analysis of modern target recognition systems using neural networks. *Radiopromyshlennost' = Radio industry*. 2011;(4):58–67. (In Russ.)
2. Godunov A.I., Shishkov S.V., Balanyan S.T., Al' Saftli F.Kh. Development of an algorithm for optimizing neural network learning when determining the number of neurons in a hidden layer in order to increase the probability of recognizing images of a ground target. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2021;(4):106–118. (In Russ.)
3. Shishkov S.V. Direction finding device and determination of coordinates of unmanned aerial vehicles. *Radiopromyshlennost' = Radio industry*. 2011:103–109. (In Russ.)
4. Patent 2645549 Russian Federation. МПК F41H 11/02, G01S 55/00. *Sposob opredeleniya koordinat letatel'nykh apparatov na osnove ispol'zovaniya dvukh direktsionnykh uglov i odnogo ugla mesta = A method for determining the coordinates of aircraft based on the use of two directional angles and one location angle*. Iskorkin D.V., Shishkov S.V., Tereshin A.V., Muzauy K., Molostvov A.V., Sinyayev E.G. № 2015114888; appl. 20.04.2015; publ. 21.02.2018, Bull. № 6. (In Russ.)

5. Patent 2578524 Russian Federation. MPK F41H 11/02. *Sistema upravleniya kompleksnymi metodami bor'by s malogabaritnymi bespilotnymi letatel'nymi apparatami = Control system for complex methods of combating small-sized unmanned aerial vehicles.* Shishkov S.V. № 2014107032; appl. 25.02.2014; publ. 27.08.2016, Bull. № 24. (In Russ.)
6. Patent 2700107 Russian Federation. MPK F41H 11/02; G01S 13/86. *Kompleks bor'by s bespilotnymi letatel'nymi apparatami = Complex for combating unmanned aerial vehicles.* Shishkov S.V., Barsukov V.A., Lysenko E.N., Kolesnikov I.B., Doroshev A.A., Sinyaev E.G., Petrenko V.I., Borshchin Yu.N., Dyun'dyaev A.V., Kut'menev A.V., Pashinyan D.B., Nemov O.N., Ustinov E.M., Kudryavtsev P.Yu. № 2017109351; appl. 24.10.2018; publ. 12.09.2019, Bull. № 26. (In Russ.)
7. Godunov A.I., Kukanov S.A., Suzdal'tsev P.S., Mukhambetov A.M. Mathematical model of a quadcopter control system. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2024;(2):25–31. (In Russ.)
8. Oshkin A.A., Filippov D.F., Godunov A.I. Methodology for assessing the operational safety of ammunition with explosives that are insensitive to external thermal effects. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2024;(1):81–87. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Анатолий Иванович Годунов

доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
профессор кафедры автоматизации и телемеханики,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: avitelpgu@mail.ru

Михаил Владимирович Ерофеев

соискатель,
Филиал Военной академии
материально-технического
обеспечения имени генерала армии
А. В. Хрулева в г. Пензе
(Россия, г. Пенза, Военный городок)
E-mail: mihaile.erofeew@mail.ru

Антон Иванович Мельничук

аспирант, инженер группы регламента
и ремонта радиоэлектронной аппаратуры,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: pelmenio@mail.ru

Ербол Токтамысович Ескибаев

магистр, начальник кафедры тактики авиации,
Военный институт сил воздушной обороны
(Казахстан, г. Актобе, пр-т Алии Молдагуловой, 39А)
E-mail: erbol.eskibaev_26.04@mail.ru

Асылбек Маратович Мухамбетов

старший офицер отдела связи
и радиотехнического обеспечения,
Военный институт сил воздушной обороны
(Казахстан, г. Актобе, пр-т Алии Молдагуловой, 39А)
E-mail: suimbayeva@internet.ru

Anatoly I. Godunov

Doctor of technical sciences, professor,
honored scientist of the Russian Federation,
professor of the sub-department
of automation and telemechanics,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Mikhail V. Erofeev

Applicant,
Branch of the Military Academy
of Logistics named after Army General
A.V. Khrulev in Penza
(Military town, Penza, Russia)

Anton I. Melnichuk

Postgraduate student, engineer of the radio electronic
equipment regulation and repair group,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Erbol T. Eskibaev

Master degree student,
head of the sub-department of tactics of aviation,
Military Institute of Air Defense Forces
(39A Aliya Moldagulova avenue,
Aktobe, Kazakhstan)

Asylbek M. Mukhambetov

Senior officer of the communications
and radio engineering support department,
Military Institute of Air Defense Forces
(39A Aliya Moldagulova avenue,
Aktobe, Kazakhstan)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 10.08.2024

Поступила после рецензирования/Revised 02.09.2024

Принята к публикации/Accepted 16.09.2024