

**РАСПОЗНАВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ТИПА «ПТИЦЫ»
ПО ТРАЕКТОРНЫМ ПРИЗНАКАМ**

Пальгуев Дмитрий Анатольевич

кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники радиофизического факультета
ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
имени Н.И. Лобачевского (ННГУ).

E-mail: dmi-palguev@yandex.ru

Пархачёв Владимир Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники радиофизического факультета
ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
имени Н.И. Лобачевского (ННГУ).

E-mail: vvp111@mail.ru

Пиунов Константин Николаевич

магистрант кафедры радиотехники радиофизического факультета ФГАОУ ВО Национальный
исследовательский Нижегородский государственный университет
имени Н.И. Лобачевского (ННГУ).

E-mail: urew5328@gmail.com

Кудряшова Ольга Евгеньевна

преподаватель кафедры радиотехники радиофизического факультета ФГАОУ ВО Национальный
исследовательский Нижегородский государственный университет
имени Н.И. Лобачевского (ННГУ).

E-mail: olga.kudryashova@rf.unn.ru

Васильев Дмитрий Александрович

старший преподаватель кафедры СМ-5 ФГБОУ ВО «Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

E-mail: 9034422@gmail.com

Адрес: 603022, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.

Адрес: 105005, Российская Федерация, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, к. 1.

Аннотация: В работе предложен метод распознавания (селекции) малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (МБПЛА) и птиц по траекторным признакам. Построены модели движения птиц, сочетающие гауссовский процесс и процесс «случайные блуждания». Исходя из предложенных моделей движения, разработаны алгоритмы оценки количества манёвров воздушных объектов на некотором участке траектории, по которым определяется принадлежность траектории к МБПЛА или птице. Получены зависимости значений среднеквадратического отклонения (СКО) курса от скорости воздушного объекта при различных СКО измерения координат. Приведены результаты имитационного моделирования различных траекторий МБПЛА и птиц, показана возможность определения типа воздушного объекта в соответствии с разработанными алгоритмами. Приведены результаты компьютерного моделирования оценки зависимости вероятности правильного распознавания МБПЛА от СКО величин измерения координат воздушных объектов для различных значений времени (темпа) обновления информации (времени обзора) радиолокационной станции.

Ключевые слова: распознавание, беспилотные летательные аппараты, траекторные признаки, манёвр, воздушный объект типа «птицы».

Введение

В настоящее время происходит интенсивное развитие класса малогабаритных беспилотных

летательных аппаратов и их применение в самых различных целях. Простота и дешевизна позволяют массово использовать подобные

аппараты для ведения видеонаблюдения, различного вида разведки, доставки небольших грузов, а в некоторых случаях и в качестве носителей боевой нагрузки. Проблема обнаружения МБПЛА радиолокационными (РЛС) и оптическими системами (ОС) выходит на первый план и в основном потому, что далеко не всегда традиционные методы обнаружения малогабаритных объектов достаточно эффективны. Малая эффективная площадь рассеивания (ЭПР), высокая манёвренность, трудно отличимые признаки от биологических и природных объектов (в основном птиц) создают большие трудности в обнаружении и распознавании такого класса воздушных объектов.

В ряде публикаций [1–3] рассматриваются вопросы различения птиц и метеорологических образований с помощью орнитологических локаторов. Основными параметрами, отличающими птиц и атмосферные образования, являются ЭПР, скорость и коэффициент кроссполяризации отражённого излучения. Так, в работе [3] приведены ЭПР различных птиц при наблюдении с разных сторон в диапазоне длин волн 10 см и показано, что ЭПР может составлять величину порядка $10^{-2} \div 10^{-5} \text{ м}^2$.

Таким образом, очевидно, что селекция по сигнальным признакам МБПЛА и птиц, которые имеют схожие размеры и скорости, представляется достаточно сложной задачей.

1. Модель траектории птиц

Учитывая приведённые выше особенности обнаружения рассматриваемых типов воздушных объектов, предлагается проводить селекцию МБПЛА и птиц по траекторным признакам [4].

Можно предположить, что траектории МБПЛА, имеющие конкретную полётную цель, и птиц в большом числе случаев будут отличаться по своим характеристикам. Возможные траектории птиц можно разделить на условно прямолинейные и условно хаотические. Также полагаем, что траектории МБПЛА имеют условно прямолинейный характер.

Кроме того, на траектории объектов обоих типов оказывает влияние ветер. Существует

большое количество публикаций [5–9], посвящённых изучению статистических характеристик ветра, основываясь на которых можно считать скорость ветра низкочастотным гауссовым процессом, который отклоняется от среднего значения за 30 секунд не более, чем на 30%.

Долгосрочные траектории птиц изучаются во многих публикациях (например, [10, 11]). Однако, в основном, в большинстве работ изучается миграция на большие расстояния, что не даёт информации о краткосрочных особенностях траекторий, которые позволили бы отличить птицу и МБПЛА за несколько секунд или хотя бы за десятки секунд. При этом, в работе [11] отмечается, что при перелёте на несколько десятков километров траектория птицы может быть описана как гауссовский процесс.

Таким образом, траектории птиц можно условно разделить на три вида:

- 1) прямолинейное движение птиц (траектории данного вида будем считать неотличимыми от траекторий БПЛА);
- 2) траектории с прямолинейным движением с элементами хаотических траекторий (данные траектории можно представить марковской цепью первого или высших порядков [12]);
- 3) хаотические траектории.

Также к координатам траектории птиц следует добавлять шум измерения (среднеквадратическое отклонение), который будем считать гауссовым.

Рассмотрим случай, когда птица совершает планомерное перемещение в направлении на систему обнаружения (РЛС или ОС) и по пути демонстрирует хаотические компоненты перемещения, то есть реализует траекторию второго типа. В некотором смысле такую траекторию можно считать суммой плавной траектории и случайного блуждания.

Представим модель траектории птиц, осуществляющих хаотическое движение, как случайное блуждание с размерностью, равной трём [13, 14].

Рассмотрим составляющую движения, свя-

занную со случайным блужданием.

Если L — средняя длина одного «шага» объекта «птица» в одну сторону в рамках случайного блуждания, то в среднем за N шагов она сместится на $N^{0,5}L$ [13] от точки, лежащей на плавной траектории.

Если V — скорость птицы, то N шагов объект делает за время:

$$T = N \cdot L / V .$$

Если D — односторонний разброс (погрешность) измеренных координат, то гарантированно определить выход птицы за пределы границ разброса координат БПЛА можно тогда, когда она сместится на расстояние $2D$. Координаты птицы также измеряются с погрешностью D . Количество шагов M , которое она должна совершить, находится из решения уравнения:

$$M^{0,5}L = 2D, \quad M = (2D/L)^2 .$$

В качестве иллюстрации приведём возможные траектории птиц, сочетающие прямолинейное и хаотичное движения (рис. 1, а) и чисто хаотичное движение — случайные блуждания (рис. 1, б). Средняя скорость птицы составляла ~ 20 м/с.

2. Алгоритм селекции птиц по трассовым признакам

Для решения задачи селекции МБПЛА на фоне

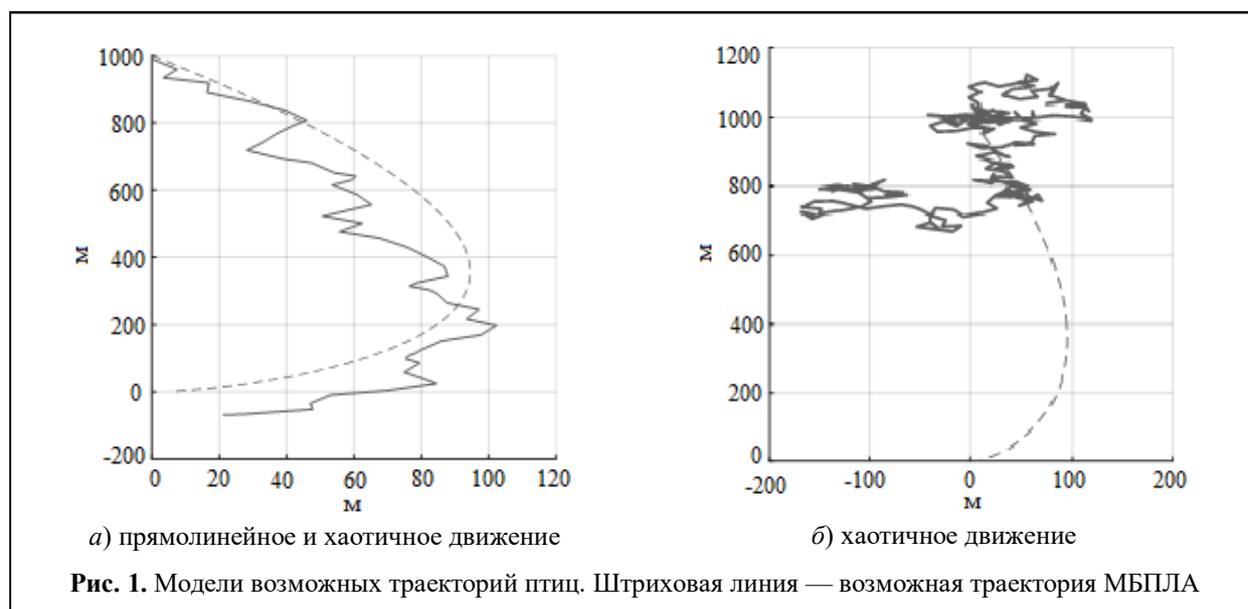
птиц предлагается использовать алгоритмы трассовой обработки сетевой объединённой информации [13, 14] с вероятностными параметрами объединения радиолокационной информации, изложенными в [15].

В общем случае модель движения птицы можно представить как хаотичное движение в пространстве. Траектория птицы, в общем случае, состоит из большого числа манёвров (участков, где меняется курс птицы), при этом участков траектории, на которых курс изменяется на большую величину, меньше, чем участков, где курс изменяется более плавно.

При построении модели движения МБПЛА предполагается, что МБПЛА имеет определённую цель полёта, следовательно, его траектория в основном состоит из участков прямолинейного движения, длительность которых много больше по сравнению с участками траектории птицы. При этом учитывается, что при движении МБПЛА имеются флуктуации курса и скорости (например, вследствие ветра), однако предполагается, что модуль этих случайных отклонений меньше, чем для отклонений траекторий птиц.

Таким образом, в качестве селектирующего признака МБПЛА и птицы предлагается использовать количество манёвров на некотором участке траектории.

При синтезе алгоритма определения манёвра



будем исходить из того, что объект может совершать два типа манёвра: «медленный манёвр» — путь курс объекта плавно изменяется от начального до конечного состояния за несколько циклов обзора пространства радиолокационной станции (РЛС); «быстрый манёвр» — путь курс изменяется от начального до конечного состояния за один обзор РЛС (в данном случае обзор пространства РЛС может проводить как механическим вращением антенны, так и электронным сканированием луча).

2.1. Алгоритм определения «быстрого» манёвра

В качестве метода определения «быстрого» манёвра предлагается использовать алгоритм, построенный на вычислении разницы угла курса за два последних обзора. Из-за наличия в измерении координат и скорости объекта случайных ошибок, его расчётный курс может изменяться и при прямолинейном движении. Для того чтобы алгоритм не определял изменение курса на прямолинейных участках как манёвр, необходимо ввести параметр, определяющий допустимое отклонение угла курса на прямолинейных участках движения.

Рассмотрим задачу поиска параметра, исходя из трёх полученных отметок.

На рис. 2 прямоугольниками с номерами 1, 2, 3 обозначено истинное положение объекта на 1-ый, 2-ой и 3-ий обзор соответственно. Эллипсами с номерами 11, 22, 33 обозначены получаемые отметки. Углами α_1 и α_2 обозна-



Рис. 2. Схема реальных и измеренных координат на отрезке прямолинейного движения

чены отклонения прямых 1122 и 2233 от оси X. Будем считать эти отклонения за курс воздушного объекта. Тогда, $\alpha_2 - \alpha_1 = \Delta\alpha$ — изменение угла курса за два обзора. Задача состоит в том, чтобы найти максимально возможное изменение курса за два обзора, исходя из предположения, что объект за время этих измерений двигался равномерно и прямолинейно.

Координаты истинных положений объекта запишем в следующем виде:

- 1: X_1, Y_1 ;
- 2: $X_2 = X_1 + V_X T_0, Y_2 = Y_1 + V_Y T_0$;
- 3: $X_3 = X_1 + 2V_X T_0, Y_3 = Y_1 + 2V_Y T_0$,

где V_X и V_Y — проекции скорости объекта на оси X и Y; T_0 — период обзора.

Тогда координаты получаемых отметок можно представить в следующем виде:

- 11: $X_{11} + \Delta 1, Y_{11} + \Delta 4$;
- 22: $X_{22} = X_1 + V_X T_0 + \Delta 2, Y_{22} = Y_1 + V_Y T_0 + \Delta 5$;
- 33: $X_{33} = X_1 + 2V_X T_0 + \Delta 3, Y_{33} = Y_1 + V_Y T_0 + \Delta 6$,

где $\Delta 1, \dots, \Delta 6$ — ошибки в определении координат, подчиняющиеся нормальному распределению с нулевым средним и дисперсиями σ_X^2 и σ_Y^2 .

По полученным значениям определим углы курса на втором и третьем обзорах:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{Y_{22} - Y_{11}}{X_{22} - X_{11}},$$

$$\alpha_2 = \arctg \frac{Y_{33} - Y_{22}}{X_{33} - X_{22}},$$
(1)

или в соответствии с полученными уравнениями (1):

$$\alpha_1 = \arctg \frac{V_Y T_0 + \Delta 5 - \Delta 4}{V_X T_0 + \Delta 2 - \Delta 1},$$

$$\alpha_2 = \arctg \frac{V_Y T_0 + \Delta 6 - \Delta 5}{V_X T_0 + \Delta 3 - \Delta 2},$$
(2)

тогда

$$\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = \arctg \frac{V_Y T_0 + \Delta 6 - \Delta 5}{V_X T_0 + \Delta 3 - \Delta 2} - \arctg \frac{V_Y T_0 + \Delta 5 - \Delta 4}{V_X T_0 + \Delta 2 - \Delta 1}.$$
(3)



Рис. 3. Логическая схема алгоритма определения типа объекта

Логическую схему алгоритма можно представить следующим образом (рис. 3):

• **Блок получения фильтрованных координат**

В качестве алгоритма сопровождения цели предлагается использовать алгоритм оптимального рекуррентного фильтра [12].

В простейшем случае, когда траектория представляется полиномом первой степени, вектор фильтруемых параметров представляет собой

$$\Theta_{эн} = \begin{bmatrix} x_{n-1} \\ x'_{n-1} \end{bmatrix},$$

где x_{n-1} — координата X в предыдущем обзоре; x'_{n-1} — первая производная x_{n-1} , а корреляционная матрица ошибок оценки фильтруемых параметров имеет вид

$$\Psi_{n-1} = \frac{1}{k_{n-1}} \begin{bmatrix} h_{n-1} & \frac{g_{n-1}}{T_0} \\ \frac{g_{n-1}}{T_0} & \frac{f_{n-1}}{T_0^2} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где T_0 — период обзора.

Значения коэффициентов h_n, g_n, f_n, k_n представлены в [1]. Также в [1] показано, что элементы вектора экстраполируемых параметров на случай линейной траектории можно

представить в виде:

$$x_N = \frac{1}{K_n} \cdot \left(h_N \sum_{i=1}^N w_i x_i - g_N \sum_{i=1}^N (N-i) w_i x_i \right), \quad (4)$$

$$x'_N = \frac{1}{K_n} \cdot \left(g_N \sum_{i=1}^N w_i x_i - F_N \sum_{i=1}^N (N-i) w_i x_i \right),$$

где w_i — весовой коэффициент,

$$F_N = \sum_{i=1}^N w_i, \quad g_N = \sum_{i=1}^N (N-i) w_i, \quad (5)$$

$$h_N = \sum_{i=1}^N (N-i)^2 w_i, \quad w_i = \frac{1}{\sigma_{x_{изм}}^2}.$$

Выражения для элементов вектора экстраполируемых параметров, корреляционная матрица ошибок оценки фильтруемых параметров на случай траектории, экстраполируемой полиномом второй степени, представлены в [1, 2].

• **Блок вычисления курса**

Производится вычисление курса по двум отфильтрованным значениям координат, полученных на N и $(N-1)$ обзорах, по формуле:

$$\alpha_n = \arctg \left(\frac{y_n - y_{n-1}}{x_n - x_{n-1}} \right). \quad (6)$$

• **Блок вычисления изменения курса**

Производится вычисление изменения курса за один обзор по формуле:

$$\Delta\alpha = \alpha_n - \alpha_{n-1}. \quad (7)$$

• **Блок проверки условия изменения курса**

Производится сравнение расчётного значения изменения курса с максимально возможным значением отклонения на прямолинейном участке траектории и дальнейшее принятие решения.

Данный алгоритм позволяет обнаружить манёвр объекта при изменении угла курса за один обзор при превышении некоторого фиксированного значения:

$$\Delta\alpha > \alpha_0.$$

Исходя из формулы (1), параметр $\Delta\alpha$ зависит от скорости объекта, периода обзора РЛС и шести нормально распределённых параметров. На прямолинейном участке максимум функции $\Delta\alpha = \Delta\alpha(V_y, V_x, T, \Delta 1, \Delta 2, \Delta 3, \Delta 4, \Delta 5, \Delta 6)$, как показывает практический расчёт, достигается редко. Тогда предложенный алгоритм можно усложнить дополнительными условиями, при этом введя менее грубый параметр оценки изменения курса. Такой подход должен показать большую эффективность при работе с объектами, передвигающимися на низких скоростях.

Для установления средних значений угла изменения расчётного курса на прямолинейных участках движения было произведено моделирование траектории прямолинейного равномерного движения для различных скоростей объекта и СКО измерений координат. Полу-

ченное распределение аппроксимировалось распределением Гаусса с заданным математическим ожиданием μ и среднеквадратическим отклонением (СКО) σ . Также, по результатам моделирования определялось СКО изменения курса за один обзор для различных ошибок измерения координат и различных периодов обзора. Результаты моделирования приведены на рис. 4.

Расчёт СКО производился по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{k=0}^L \frac{(x_k - \lambda)^2}{(L-1)}}, \quad (9)$$

где λ — среднее арифметическое выборки; x — элемент выборки; L — объём выборки.

Также была получена аппроксиматическая зависимость путём полиномиальной интерполяции, алгоритм интерполяции представлен в [16]:

$$\sigma_k = \frac{1}{VT_0} (0,86\sigma^2 + 10\sigma + 136,63), \quad (10)$$

где V — скорость объекта.

На рис. 5 показаны значения СКО изменения курса, полученные путём моделирования и рассчитанные по формуле (3).

Логическую схему адаптивного алгоритма определения манёвра можно представить следующим образом:

1. Получение сглаженных координат.
2. Получение проекций скорости на оси декартовых координат.
3. Вычисление курса.

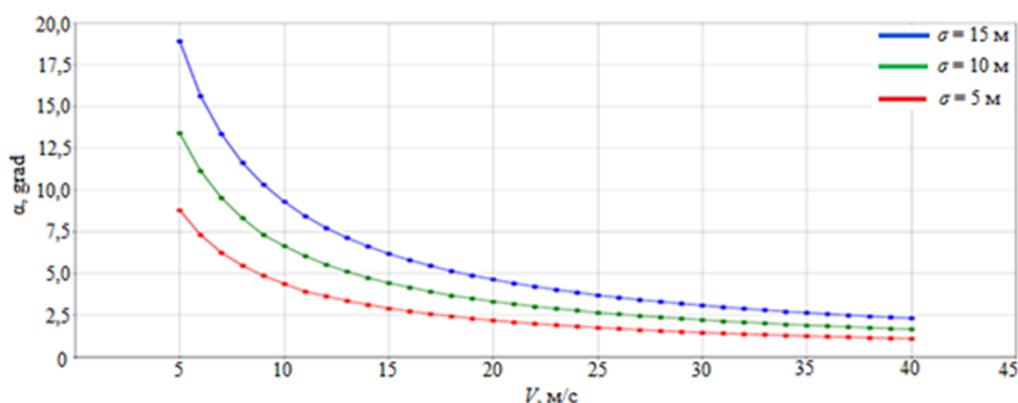


Рис. 4. Зависимость СКО отклонения курса за один обзор от скорости объекта при различных СКО измерения координат

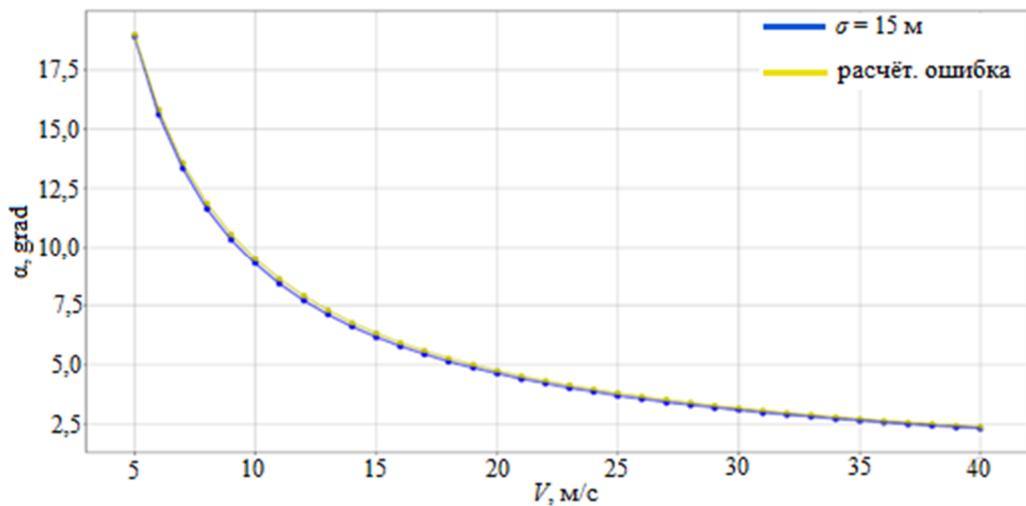


Рис. 5. Аппроксиматическая зависимость СКО изменения курса за один обзор от скорости объекта при различных СКО измерения координат

4. Вычисление изменения курса.
5. Вычисление пороговых значений изменения курса.
6. Проверка порогового условия.
7. Выдача результата.

По данным, полученным путём моделирования, можно сделать следующие выводы:

1. СКО изменения курса зависит от параметров движения воздушного объекта, времени обзора и точности измерения координат РЛС.
2. При увеличении ошибки измерения координат увеличивается СКО изменения курса.

3. При увеличении периода обзора СКО изменения курса уменьшается.
4. При увеличении скорости объекта СКО изменения курса уменьшается.

1.2. Алгоритм определения «медленного» манёвра

За «медленный» манёвр будем принимать манёвр, при котором курс воздушного объекта меняется медленно во времени. Предположим, что скорость воздушного объекта $V \approx 10$ м/с, период обзора РЛС $T_0 = 4$ сек., а среднеквадратичная ошибка измерения координат



Рис. 6. Логическая схема адаптивного алгоритма определения «быстрого» манёвра

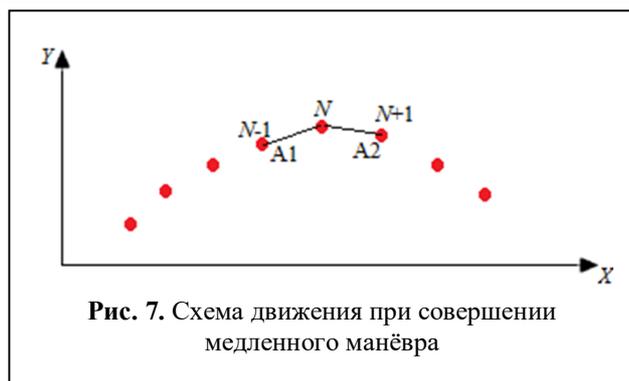


Рис. 7. Схема движения при совершении медленного манёвра

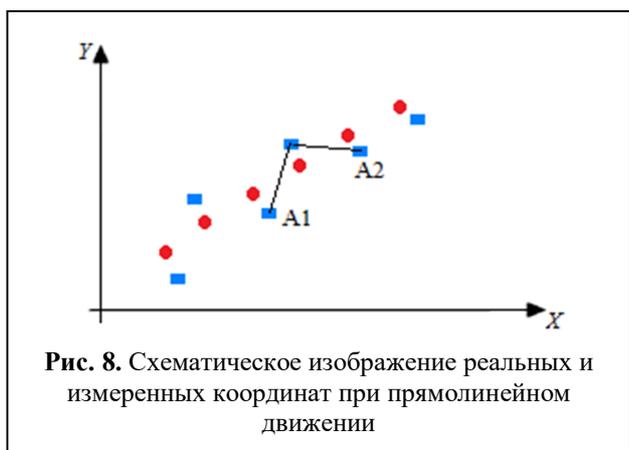


Рис. 8. Схематическое изображение реальных и измеренных координат при прямолинейном движении

$\sigma_x = \sigma_y = 10$ м. Исходя из данных, полученных при моделировании (см. рис. 4), для таких значений скорости, периода обзора, ошибок измерения координат, минимальное пороговое значение отклонения курса

$$\sum_{\text{пороговая}}^{\min} = 2\sigma_k \approx 15^\circ.$$

Тогда, если воздушный объект совершает манёвр, при котором курс изменяется меньше, чем на 15° , представленный выше алгоритм определения «быстрого» манёвра является малоэффективным.

Для построения алгоритма «медленного» манёвра представим отметки траектории движения воздушного объекта в плоскости XU (рис. 7).

Пусть объект совершает манёвр на протяжении всего участка трассы, а данный участок можно представить как функцию $Y = f(X)$. Тогда в точке N имеет место перегиб функции $Y = f(X)$, следовательно, прямая $A1$, соединя-

ющая точки $N-1$ и N , и прямая $A2$, соединяющая точки N и $N+1$, имеют угловой коэффициент разных знаков:

$$A1: Y = k_1X + b, \quad A2: Y = k_2X + b, \quad k_1k_2 < 1.$$

Когда две прямые, проходящие через отметки $N-1, N$ и $N, N+1$ обзоров, имеют разные знаки угловых коэффициентов, можно говорить, что объект совершает манёвр.

Данный способ не учитывает ошибки измерения координат РЛС. В реальных системах измерение координат объекта производится со случайными ошибками (рассмотрим более общий случай нормального распределения значений ошибок измерения), поэтому рассмотренный выше алгоритм на прямолинейных участках трассы может давать ложные обнаружения манёвра. Данная ситуация проиллюстрирована на рис. 8.

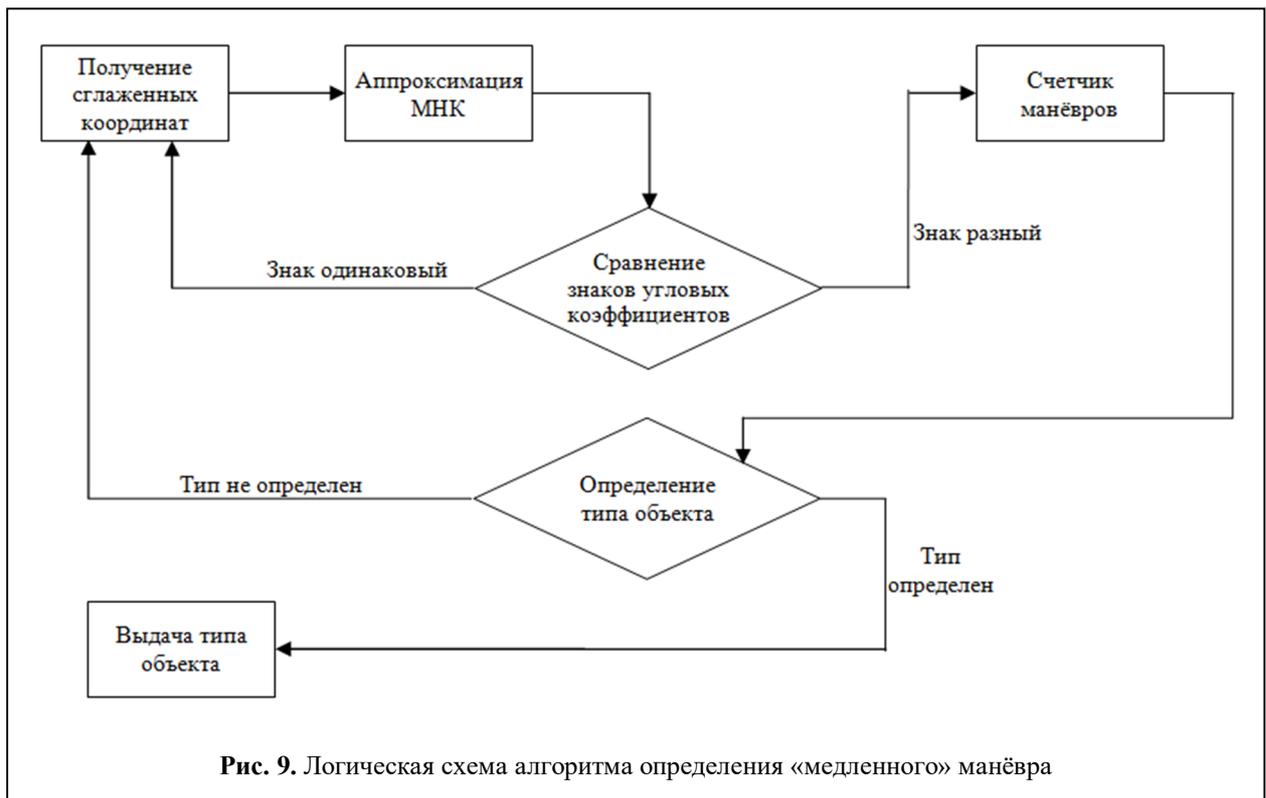
На рис. 8 точками красного цвета отмечены реальные координаты воздушного объекта в разные моменты времени, а синими прямоугольниками отмечены измеряемые значения координат. Как видно из рис. 8, прямые $A1$ и $A2$ имеют угловой коэффициент разного знака, в таком случае алгоритм сработает ложно.

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 9.

3. Результаты моделирования

На рис. 10 и рис. 11 представлены результаты моделирования работы алгоритмов определения манёвра по траектории птицы и по траектории МБПЛА.

Как видно из рисунков, количество манёвров, регистрирующихся на траекториях птиц, значительно превосходит количество манёвров, которые были зарегистрированы на траекториях МБПЛА. На траекториях МБПЛА, как правило, регистрируются несколько «быстрых» и несколько «медленных» манёвров на рассматриваемых нами масштабах. В то же время, количество манёвров, регистрирующихся на траекториях птиц, может достигать нескольких десятков.



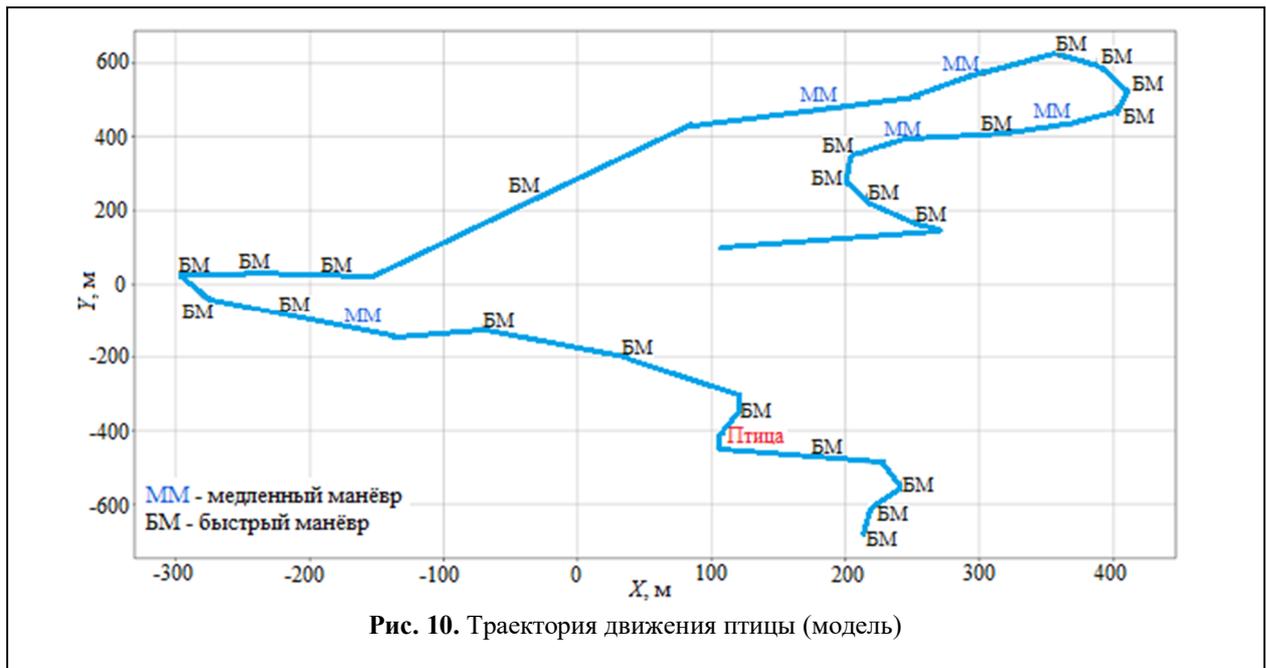
На рис. 12 приведены результаты компьютерного моделирования зависимости вероятности правильного распознавания МБПЛА от СКО измерения координат (X, Y) для различных значений времени (темпа) обновления информации (времени обзора).

Из полученных графиков видно, что при

темпе обновления информации больше 3 сек. вероятность правильного распознавания практически не меняется.

4. Выводы

1. Селекцию малогабаритных БПЛА и птиц предлагается осуществлять по траекторным признакам по трём основным типам траекторий



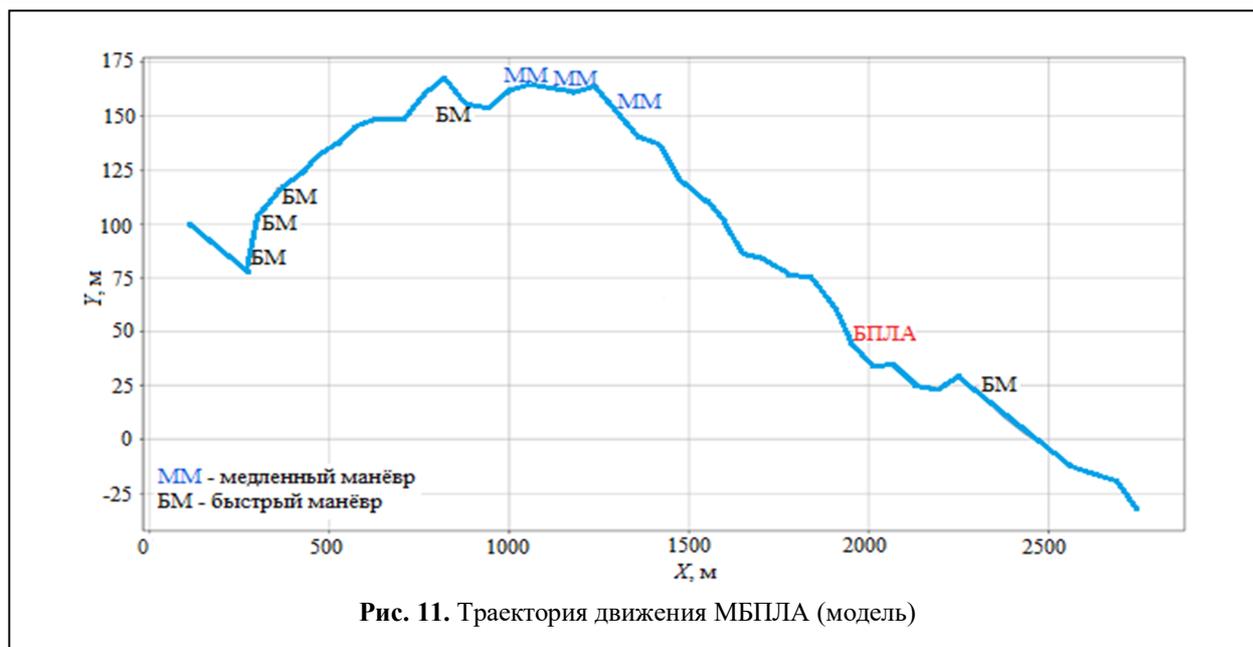


Рис. 11. Траектория движения МБПЛА (модель)

— прямолинейное движение, прямолинейное движение с элементами хаотических траекторий и хаотические траектории. Основные отличия траекторий МБПЛА и птиц имеют место в последних двух типах. На основе этого предположения построены соответствующие модели движения птиц, сочетающие гауссовский процесс и процесс случайных блужданий.

2. Исходя из предложенных моделей движения, разработаны алгоритмы определения «быстрого» и «медленного» манёвра. Соотношение количества манёвров каждого типа указывает на принадлежность траектории к МБПЛА или птице.

3. Имитационное моделирование различных

траекторий показало возможность определения типа воздушного объекта в соответствии с разработанными алгоритмами. Время распознавания типа объекта составляет 10–20 обзоров РЛС. Вероятность правильного распознавания для темпа обновления информации более 3 сек. практически не изменяется.

Литература

1. Диневич Л.А. Распознавание радиоэха птиц на базе радиолокатора МРЛ-5 // Наука. Инновации. Технологии. 2014. №1 (5). С. 7–40.
2. Диневич Л.А. Повышение точности селекции радиоэха птиц // Современные наукоемкие технологии. 2015. №4. С. 114–125.
3. Dinevich L., Leshem Y. Algorithmic system for identifying bird radio-echo and plotting radar ornithological charts // The Ring. 2007. No. 29. Pp. 3–39.
4. Фитасов Е.С., Пальгеев Д.А., Борзов А.Б., Васильев Д.А., Носкова О.С., Пиунов К.Н. Оценка возможности распознавания радиолокационными и оптическими системами воздушных объектов типа «птицы» по траекторным признакам // Труды XXV научной конференции по радиофизике. Материалы докладов. Нижний Новгород. 2021. С. 235–238.
5. Ambachl D., Schmid W. A new high-dimensional time series approach for wind speed, wind direction and air pressure forecasting //

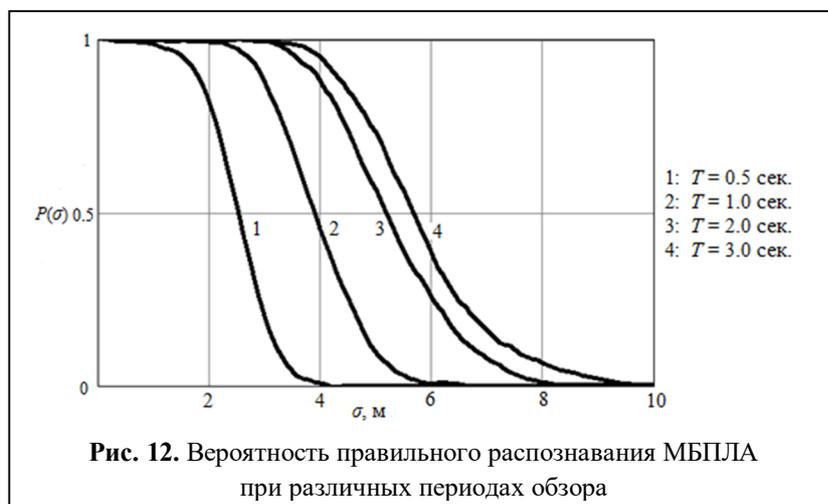


Рис. 12. Вероятность правильного распознавания МБПЛА при различных периодах обзора

Energy. 2017. Vol. 135. Pp. 833–850.

6. Ozgonenel O., Thomas D.W.P. Short-term wind speed estimation based on weather data // Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences. 2012. Vol. 20. No. 3. Pp. 335–346.

7. Chen N., Qian Zh., Meng X., Nabney I.T. Short-term wind power forecasting using gaussian processes // Proceedings of the Twenty-Third International Joint Conference on Artificial Intelligence. 2013. Pp. 2790–2796.

8. Malvaldi A., Dowell J., Weiss S., Infield D. Short-term forecasting of wind speed and direction exploiting data non-stationarity // International Work-Conference on Time Series. Springer-Verlag. 2015. Pp. 1–12.

9. Гейстер С.Р., Чугай К.Н. Статистические характеристики скорости ветра и спектральных портретов мешающих отражений от снеговых облаков // Доклады БГУИР. 2003. №4. С. 29–33.

10. Карякин, И.В., Николенко Э.Г., Шнайдер Е.П., Проммер М. Результаты GPS/GSM-трекинга ювенильных балобанов в Алтае-Саянском регионе, Россия // Пернатые хищники и их охрана. 2018. №37. С. 166–229.

11. Mann R., Freeman R., Osborne M., Garnett R., Meade J., Armstrong Ch., Biro D., Guilford T., Roberts S. Gaussian processes for prediction of homing pigeon flight trajectories // AIP Conference Proceedings. 2009. 1193. Pp. 360–367.

2009. 1193. Pp. 360–367.

12. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. М.: Радио и связь. 1986. 352 с.

13. Пальгуев Д.А. Сочетание алгоритмов обработки информации и структуры информационной системы как инструмент построения информационной системы сетевой структуры // Радиопромышленность. 2021. Т. 31. №2. С. 49–60.

14. Пат. РФ № 2461843. Способ обработки радиолокационной информации в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления / Пальгуев Д. А., Таныгин А.А. Заявл. 29.04.2011. Опубл. 20.09.2012.

15. Пальгуев Д.А., Фитасов Е.С., Борзов А.Б., Павлов Г.Л., Васильев Д.А. Вероятностные параметры объединения информации радиолокационных измерений от пространственно-разнесенных источников // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2020. №2. С. 14–23.

16. Лозовский И.Ф. Обнаружение БПЛА в РЛС S-диапазона при отражениях от птиц и земной поверхности // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП – 2018. Труды XIV Международной научно-технической конференции. В 8-ми томах. 2018. С. 210–214.

Поступила 2 ноября 2022 г.

English

RECOGNITION OF AERIAL OBJECTS SUCH AS "BIRDS" THROUGH TRAJECTORY PARAMETERS

Dmitry Anatolyevich Palguev — PhD, Associate Professor, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod.

E-mail: dmi-palguev@yandex.ru

Vladimir Vladimirovich Parkhachev — PhD, Associate Professor, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod.

E-mail: vp111@mail.ru

Konstantin Nikolaevich Piunov — Master's Degree Student, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod.

E-mail: urew5328@gmail.com

Olga Evgenyevna Kudryashova — Lecturer, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod.

E-mail: olga.kudryashova@rf.unn.ru

Dmitry Aleksandrovich Vasilyev — Senior Lecturer, Bauman Moscow State Technical University.

E-mail: 9034422@gmail.com

¹Address: 603022, Russian Federation, Nizhny Novgorod, Gagarin Ave., 23.

²Address: 105005, Russian Federation, Moscow, 2-nd Baumanskaya St., 5.

Abstract: Currently, there is an intensive development of MUAV type (Miniature Unmanned Aerial Vehicle) and their use for various purposes. Simplicity and low cost enable to vastly use such devices for video surveillance, various types of reconnaissance, small cargo delivery, and also as weapons load carriers in some cases. MUAV detec-

tion problem by radar and optical systems comes to the fore, mainly because traditional methods for detecting small-size objects are far from being always efficient enough. Small effective cross section, high maneuverability, features that are hard to distinguish from biological and natural objects (mainly birds) make great difficulties in detecting and recognizing these aerial objects' type. The paper proposes a method for recognition (selection) of miniature unmanned aerial vehicle and birds through trajectory parameters as per three main types of trajectories - linear movement, linear movement with elements of random trajectories and random trajectories. Bird movement models are developed combining the Gaussian process and random-walk process. As following from proposed movement models, assessment algorithms were developed for estimating maneuvers' number of aerial objects in trajectory's certain part, which determines whether the trajectory is that of miniature unmanned aerial vehicle or a bird. Value dependences of flight path mean-square deviation on the aerial object speed are obtained for various mean-square deviations of coordinates' measurement. Simulation modeling results for various MUAV trajectories and those of birds are presented, recognition capability of aerial object type as per developed algorithms is revealed. There are given results of computer simulation for probability dependence estimation for MUAVs proper recognition based on mean-square deviation of coordinate measurement values of aerial objects for different time values (rate) of updating information (survey time) of a radar.

Keywords: recognition, unmanned aerial vehicles, trajectory parameters, maneuver.

References

1. *Dinevich L.A.* Recognition of the radio echo of birds based on the radar MRL-5. Nauka. Innovatzii. Tehnologii. 2014. No. 1 (5). Pp. 7-40.
2. *Dinevich L.A.* Improving the accuracy of breeding radio echoes of birds. Modern high technologies. 2015. No. 4. Pp. 114-125.
3. *Dinevich L., Leshem Y.* Algorithmic system for identifying bird radio-echo and plotting radar ornithological charts. The Ring. 2007. No. 29. Pp. 3-39.
4. *Fitasov E.S., Palguez D.A., Borzov A.B., Vasiliev D.A., Noskova O.S., Piunov K.N.* Evaluation of the possibility of recognition by radar and optical systems of aerial objects of the "bird" type by trajectory signs. Proceedings of the XXV Scientific Conference on Radiophysics. Materials of the reports. Nizhniy Novgorod. 2021. Pp. 235-238.
5. *Ambachl D., Schmid W.* A new high-dimensional time series approach for wind speed, wind direction and air pressure forecasting. Energy. 2017. Vol. 135. Pp. 833-850.
6. *Ozgonenel O., Thomas D.W.P.* Short-term wind speed estimation based on weather data. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences. 2012. Vol. 20. No. 3. Pp. 335-346.
7. *Chen N., Qian Zh., Meng X., Nabney I.T.* Short-term wind power forecasting using gaussian processes. Proceedings of the Twenty-Third International Joint Conference on Artificial Intelligence. 2013. Pp. 2790-2796.
8. *Malvaldi A., Dowell J., Weiss S., Infield D.* Short-term forecasting of wind speed and direction exploiting data non-stationarity. International Work-Conference on Time Series. Springer-Verlag. 2015. Pp. 1-12.
9. *Geister S.R., Chugai K.N.* Statistical characteristics of wind speed and spectral portraits of interfering reflections from snow clouds. Doklady BGUIR. 2003. No. 4. Pp. 29-33.
10. *Karyakin, I.V., Nikolenko E.G., Schneider E.P., Prommer M.* Results of GPS/GSM tracking of juvenile sakers in Altai-Sayan region, Russia. Raptors Conservation. 2018. No. 37. Pp. 166-229.
11. *Mann R., Freeman R., Osborne M., Garnett R., Meade J., Armstrong Ch., Biro D., Guilford T., Roberts S.* Gaussian processes for prediction of homing pigeon flight trajectories. AIP Conference Proceedings. 2009. 1193. Pp. 360-367.
12. *Kuzmin S.Z.* Fundamentals of system design digital processing of radar information. Moscow: Radio i Svyaz'. 1986. 352 p.
13. *Palguez D.A.* Combination of algorithms for information processing and the structure of an information system as a tool for building an information system of a network structure. Radiopromyshlennost'. 2021. Vol. 31. No. 2. Pp. 49-60.
14. Pat. RU No. 2461843. A method for processing radar information in the network information structure of an automated control system. *Palguez D. A., Tanygin A.A.* Appl. 29.04.2011. Publ. 09.20.2012.
15. *Palguez D.A., Fitasov E.S., Borzov A.B., Pavlov G.L., Vasiliev D.A.* Probabilistic parameters of combining radar measurement information from spatially spaced sources. Radio engineering and telecommunication systems. 2020. No. 2. Pp. 14-23.
16. *Lozovsky I.F.* Detection of UAVs in S-band radar with reflections from birds and the Earth's surface. Actual problems of electronic instrumentation APEP - 2018. Proceedings of the XIV International Scientific and Technical Conference. In 8 volumes. 2018. Pp. 210-214.