

## МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ МАНЕВРИРУЮЩЕГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА

**Шаймухаметов Шамиль Ильдусович,**  
адъюнкт Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
28\_172@mail.ru

### АННОТАЦИЯ

Процесс принятия решения об обнаружении траектории маневрирующего летательного аппарата является сложной задачей, так как зачастую, ввиду особенности движения цели, возникают ситуации, когда решение об обнаружении траектории принимается на основе недостоверной информации. Одним из перспективных направлений решения такой задачи является использование последовательного анализа. Последовательный анализ обычно применяется для дифференциальной диагностики (распознавания двух состояний). В отличие от существующих алгоритмов принятия решения об обнаружении траектории, где число стробов и отметок от цели, как правило, фиксировано, при использовании последовательного анализа данные числа заранее не устанавливаются, а формируются исходя из условий сопровождения маневрирующего летательного аппарата, по мере необходимости для принятия решения. Кроме того, в рассматриваемой методике предлагается использовать математический аппарат нечеткого логического вывода, который позволит определять степень достоверности каждой отметки от цели, полученной в ходе селекции. Целью работы является понижение вероятности завязки ложных траекторий при принятии решения об обнаружении траектории маневрирующего летательного аппарата. В последнее время началось активное внедрение новых методов и моделей разработанных на основе нечеткой логики в промышленность и в военное дело. Использование «нечетких систем» позволяет уменьшить ресурсо- и энергозатраты и обеспечить более высокую устойчивость к воздействию мешающих факторов по сравнению с традиционными системами автоматического управления. Использование нечеткого логического вывода оказывается особенно актуальным, когда исследуемые процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых методов, или когда доступные источники информации интерпретируются некачественно, неточно или неопределенно. Нечеткая логика, предоставляющая эффективные средства отображения неопределенностей и неточностей реального мира, и на которой основано нечеткое явление, ближе к человеческому мышлению и естественным языкам, чем традиционные логические системы. Аппарат нечетких множеств и нечеткой логики уже давно с успехом применяется для решения задач, в которых исходные данные являются ненадежными и слабо формализованными. В работе представлена методика обнаружения траектории маневрирующего летательного аппарата, в которой с использованием лингвистических переменных величин количества отметок в стробах, отклонения отметок от центров стробов и размеров самих стробов осуществляется расчет степени достоверности каждой отметки от цели. Затем, с помощью последовательного анализа на основе вышеуказанных степеней достоверности осуществляется принятие решения об обнаружении траектории.

**Ключевые слова:** маневрирующий летательный аппарат; обнаружение траектории; последовательный анализ; нечеткий логический вывод; лингвистическая переменная.

**Для цитирования:** *Шаймухаметов Ш.И.* Методика обнаружения траектории маневрирующего летательного аппарата на основе последовательного анализа // *I-methods*. 2018. Т. 10. № 1. С. 19–30.

### Введение

В настоящее время для принятия решения об обнаружении траектории наблюдаемой цели радиолокационными средствами обычно применяется алгоритм, основанный на логических критериях:

$$2/m+l/n,$$

где  $2/m$  – критерий завязки траектории;

$m$  – количество последовательно выставляемых стробов сопровождения, в которых должны быть получены отметки по наблюдаемой цели;

$l/n$  – критерий подтверждения траектории;

$l$  – количество стробов сопровождения, в которых получены отметки;

$n$  – количество последовательно выставляемых стробов сопровождения, в которых должны быть получены отметки по наблюдаемой цели [1].

Невыполнение данных критериев, как правило, приводит к сбросу цели с сопровождения. В случае сопровождения маневрирующих летательных аппаратов (МЛА), обработка информации по которым, как правило, осуществляется с достаточными погрешностями ввиду наличия неопределенности о характере возможных маневров [2], использование вышеприведенного алгоритма является нецелесообразным ввиду неспособности его адаптироваться к внешним условиям, недостаточной достоверности координатной информации, низкой фильтрующей способности по отношению к ложным целям и, как следствие, повышению вероятности завязки ложных траекторий [3,4]. Для преодоления указанных недостатков целесообразно использовать последовательный анализ при решении задачи об обнаружении траектории МЛА.

### Постановка задачи

В работе рассматривается методика (рис.1), которая заключается в использовании последовательного анализа с применением элементов нечеткого логического вывода для принятия решения об обнаружении траектории МЛА.

Решение данной задачи заключается в определении степени достоверности каждой полученной отметки  $S_i$  от цели, где  $i = 1, K$ ,  $K$  - количество отметок в стробе. Указанное предлагается осуществлять на основе нечеткого логического вывода. Определяется количество отметок  $K$  в стробе сопровождения, рассчитывается величина рассогласования значений координат между каждой отметкой и центром строба  $\theta$ , определяется размер строба сопровождения  $\Delta r_{cp}$ . Данные величины приводятся к нечеткому виду, затем на основании разработанной базы правил определяется степень достоверности отметки, лежащей ближе всех к центру строба (при наличии нескольких отметок в стробе ( $i > 1$ )). Затем, исходя из условий сопровождения определяются параметры допустимого риска, рассчитываются критическая область и, по мере накопления необходимого количества отметок, принимается решение об обнаружении или необнаружении сопровождаемой траектории.

### Расчет степени достоверности отметок сопровождаемой цели

Для выполнения процедуры расчета степени достоверности отметок сопровождаемой цели изначально необходимо определить количество отметок  $K$  в стробе. Полученное значение фазифицируется (приводится к нечеткому виду) и формируются функции

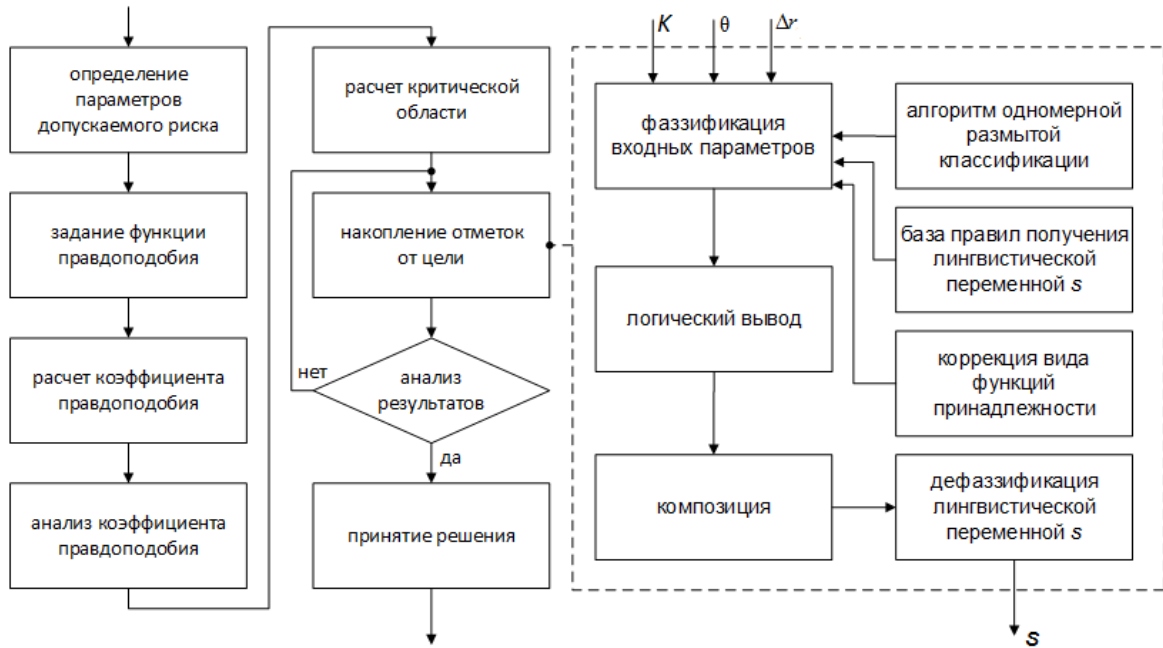


Рис.1. Схема методики обнаружения траектории маневрирующего летательного аппарата

принадлежности, для определения степени истинности каждой предпосылки каждого правила.

Величину количества отметок  $K$  в строке предлагается оценивать лингвистической переменной  $s$  термами: НИЗКИЙ (НИЗ), СРЕДНИЙ (СРЕД), ВЫСОКИЙ (ВЫС). Функции принадлежности лингвистической переменной определяются с использованием алгоритма нечеткой классификации [5]. Обучающая выборка для построения функций принадлежности характеристики  $K$  представлена в табл. 1.

Таблица 1

Обучающая выборка для построения функций принадлежности характеристики  $K$

Значения характеристики $K$ , ед.	Функция $\mu(K)$ принадлежности		
	Низкий	Средний	Высокий
1	0.98	0.02	0.00
2	0.77	0.23	0.00
3	0.52	0.38	0.00
4	0.16	0.79	0.00
5	0.05	0.93	0.02
6	0.00	0.81	0.19
7	0.00	0.23	0.67
8	0.00	0.12	0.88
9	0.00	0.03	0.97
10	0.00	0.00	1.00

Результаты расчета центров классов классификационной шкалы для характеристики  $K$  приведены в табл. 2. Вид предлагаемых характеристик функций принадлежности представлен на рис.2.

Таблица 2

Результаты расчета центров классов

Характеристика $K$		
Низкий	Средний	Высокий
1.003	4.958	9.894

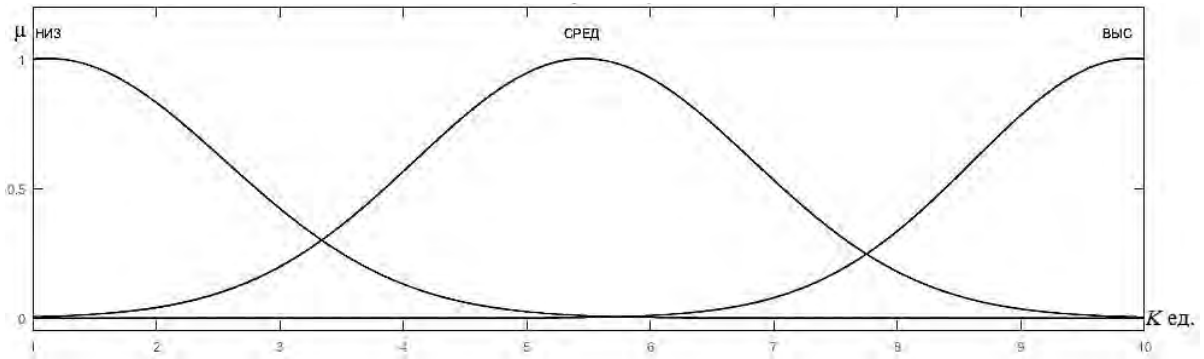


Рис.2. Функции принадлежности лингвистической переменной  $K$

Процедура фаззификации осуществляется в соответствии с выражением:

$$K_{нч} = \max \mu_1(K) \wedge \mu_2(K) \wedge \dots \wedge \mu_i(K) , \forall K \in \mathfrak{K} ,$$

где  $K_{нч}$  – нечеткое значение величины количества отметок,

$i$  – общее число функций принадлежности ( $i=3$  для рис.2),

$\mathfrak{K}$  – область определения  $K$  ( $\mathfrak{K} = [1, 10]$ ).

Величину рассогласования между отметкой и центром строга  $\theta$  предлагается оценивать лингвистической переменной с терминами: ОЧЕНЬ НИЗКИЙ (ОНИЗ), НИЗКИЙ (НИЗ), СРЕДНИЙ (СРЕД), ВЫСОКИЙ (ВЫС), ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ (ОВЫС). Функции принадлежности лингвистической переменной определяются с использованием алгоритма нечеткой классификации. Обучающая выборка для построения функций принадлежности характеристики  $\theta$  представлена в табл. 3.

Таблица 3

Обучающая выборка для построения функций принадлежности характеристики  $\theta$

Значения характеристик $\theta$ , км	Функция $\mu_i(\theta)$ принадлежности				
	Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
0.01	1	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.85	0.15	0.00	0.00	0.00
0.10	0.45	0.55	0.00	0.00	0.00
0.20	0.00	0.8	0.4	0.00	0.00
0.30	0.00	0.1	0.9	0.00	0.00
0.40	0.00	0.00	0.6	0.1	0.00
0.50	0.00	0.00	0.15	0.85	0.00
0.60	0.00	0.00	0.00	0.45	0.55
0.70	0.00	0.00	0.00	0.05	0.95

Результаты расчета центров классов классификационной шкалы для характеристики  $\theta$  приведены в табл. 4. Вид предлагаемых характеристик функций принадлежности представлен на рис.3.

Таблица 4

Результаты расчета центров классов

Характеристика $\theta$ , км				
Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
0.00	0.161	0.312	0.526	0.690

Процедура фаззификации осуществляется в соответствии с выражением:

$$\theta_{нч} = \max \mu_1(\theta) \wedge \mu_2(\theta) \wedge \dots \wedge \mu_j(\theta), \forall \theta \in \Theta,$$

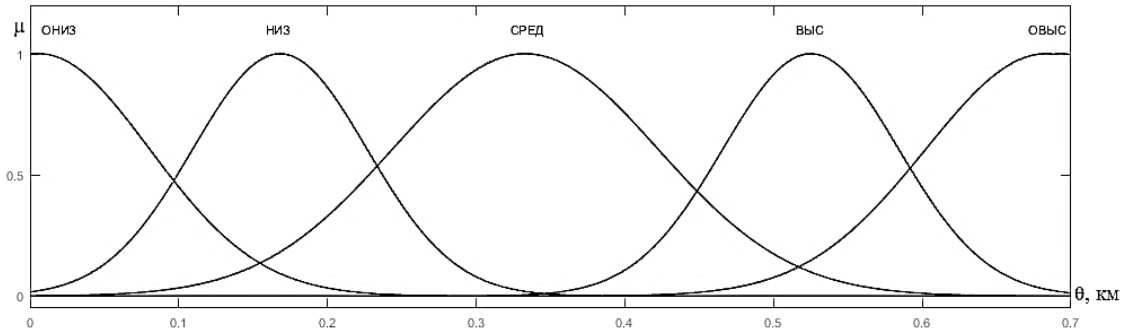
где  $\theta_{нч}$  – нечеткое значение величины рассогласования,

$j$  – общее число функций принадлежности ( $j=5$  для рис.3),

$\Theta$  – область определения  $\theta$  ( $\Theta=[0,0.7]$ ).

Далее рассчитывается величина размера строга сопровождения  $\Delta r$ , фаззифицируется и формируются функции принадлежности. Величину  $\Delta r$  предлагается оценивать лингвистической переменной с терминами: НИЗКИЙ (НИЗ), СРЕДНИЙ (СРЕД), ВЫСОКИЙ (ВЫС). Функции принадлежности лингвистической переменной определяются с использованием алгоритма нечеткой классификации. Обучающая выборка для построения функций принадлежности характеристики  $\Delta r$  представлена в табл. 5.

Результаты расчета центров классов классификационной шкалы для характеристики  $\Delta r$  представлены в табл. 6. Вид предлагаемых функций принадлежности представлен на рис.4.



**Рис.3.** Функции принадлежности лингвистической переменной  $\theta$

Процедура фаззификации осуществляется в соответствии с выражением:

$$\Delta r_{нч} = \max \mu_1(\Delta r) \wedge \mu_2(\Delta r) \wedge \dots \wedge \mu_n(\Delta r) , \forall \Delta r \in \mathfrak{X} ,$$

где  $\Delta r_{нч}$  – нечеткое значение величины размера строба,  
 $n$  – общее число функций принадлежности ( $n=3$  для рис.4),  
 $\mathfrak{X}$  – область определения ( $\mathfrak{X} = [0.01, 1.50]$ ).

Таблица 5

Обучающая выборка для построения функций принадлежности характеристики  $\Delta r$

Значения характеристик $\Delta r$ , км	Функция $\mu(\Delta r)$ принадлежности		
	Низкий	Средний	Высокий
0.01	1.00	0.00	0.00
0.10	0.92	0.08	0.00
0.25	0.64	0.36	0.00
0.40	0.17	0.83	0.00
0.60	0.01	0.98	0.01
0.85	0.00	0.65	0.35
1.00	0.00	0.37	0.63
1.25	0.00	0.18	0.82
1.50	0.00	0.00	1.00

Таблица 6

Результаты расчета центров классов

Характеристика $\Delta r$ , км		
Низкий	Средний	Высокий
0.013	0.727	1.481

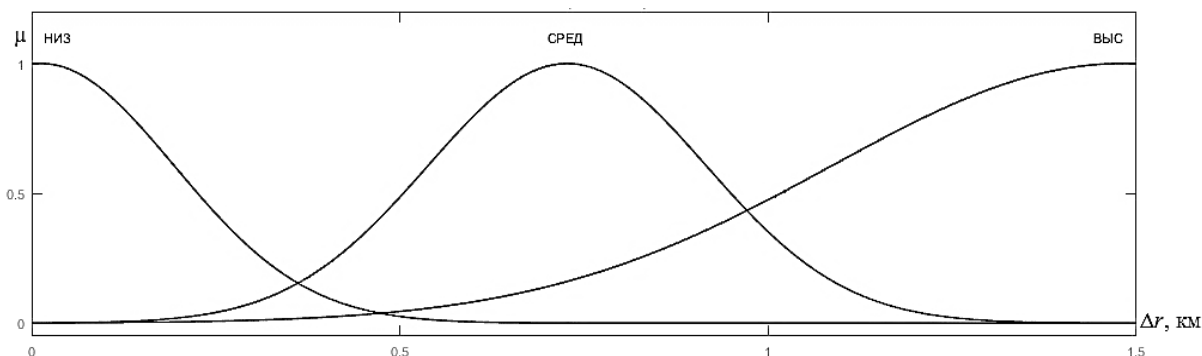


Рис.4. Функции принадлежности лингвистической переменной  $\Delta r$

Для осуществления нечеткого вывода были разработаны правила получения лингвистических значений степени достоверности отметки  $s$ . На основе табл. 7 правила формулируются по следующему шаблону:

Если величина дисперсии  $K$  НИЗ и величина  $\theta$  СРЕД и величина  $\Delta r$  ВЫС, то величина  $s$  СРЕД.

Таблица 7

База правил получения значений  $s$

Величина $\theta$ , км	Величина $K$ , ед.								
	НИЗ			СРЕД			ВЫС		
	Величина $\Delta r$ , км								
	НИЗ	СРЕД	ВЫС	НИЗ	СРЕД	ВЫС	НИЗ	СРЕД	ВЫС
ОНИЗ	ВЫС	ВЫС	СРЕД	ВЫС	ВЫС	СРЕД	ВЫС	СРЕД	СРЕД
НИЗ	ВЫС	ВЫС	СРЕД	ВЫС	СРЕД	СРЕД	СРЕД	СРЕД	СРЕД
СРЕД	ВЫС	СРЕД	СРЕД	СРЕД	СРЕД	СРЕД	СРЕД	СРЕД	НИЗ
ВЫС	СРЕД	СРЕД	СРЕД	СРЕД	СРЕД	НИЗ	СРЕД	НИЗ	НИЗ
ОВЫС	СРЕД	СРЕД	НИЗ	СРЕД	НИЗ	НИЗ	СРЕД	НИЗ	НИЗ

Далее осуществляется дефазификация (приведение к четкости) величины степени достоверности  $s$ , которое основано на методе центра тяжести. Соотношение для приведения к четкому виду имеет вид:

$$\hat{s} = \int_s s \mu_s ds / \int_s \mu_s ds,$$

где  $\hat{s}$  – оценка четкого значения величины  $s$ , полученная путем приведения к четкости методом центра тяжести.

#### Обнаружение траектории на основе последовательного анализа

В процессе сопровождения цели необходимо по всем полученным отметкам определить, после какого обзора траектория цели будет считаться обнаруженной (необнаруженной). Положим, траектория считается обнаруженной, если ей соответствуют отметки со степенью достоверности  $s \geq 0.7$  и не обнаруженной при наличии отметок с  $s < 0.7$ . Однако такое требование недостаточно для проведения последовательного анализа, необходимо определить нечувствительную зону и допускаемый риск, связанный с неправильным решением [6,7]. Можно, например, потребовать, чтобы с вероятностью  $\alpha$ , не большей 0.2, принималось решение о том, что траектория обнаружена при наличии отметок с  $s < 0.6$ , и с вероятностью  $\beta$ , не большей 0.2 — о необнаружении траектории при  $s > 0.8$ .

В соответствии с методом последовательного анализа получим [4]:  $p' = 1 - 0.7 = 0.3$ ;  $p_0 = 1 - 0.8 = 0.2$ ;  $p_1 = 1 - 0.6 = 0.4$ ;  $\alpha = 0.2$ ;  $\beta = 0.2$ .

Далее рассчитываются коэффициенты для построения прямых, ограничивающих область накопления отметок  $y = a + qx$  и  $y = b + qx$ , где

$$a = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)}}; \quad b = \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\ln \frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)}}; \quad q = \frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}.$$

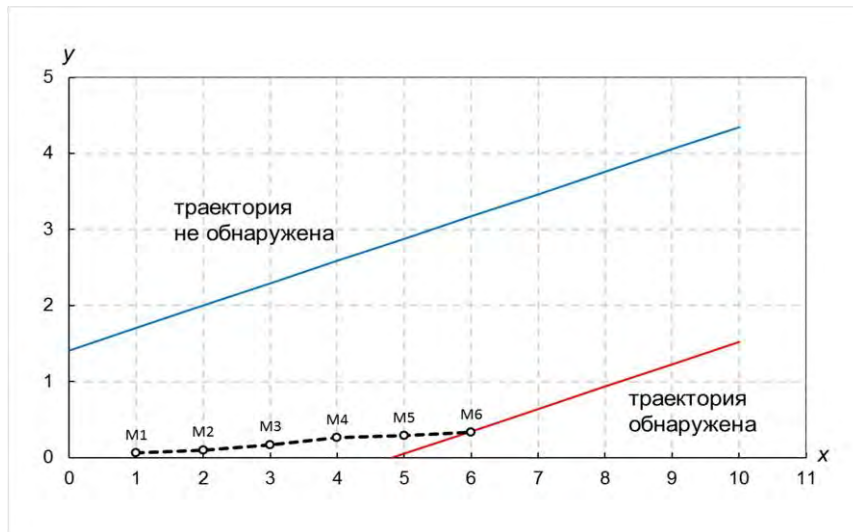
Для данного примера коэффициенты получились равными:  $a = 1.41$ ;  $b = -1.41$ ;  $q = 0.29$ .

Рассмотрим пример, в котором цель сопровождается в «благоприятных» условиях: при минимальных ошибках экстраполяции и измерения, незначительном уровне помехового воздействия.

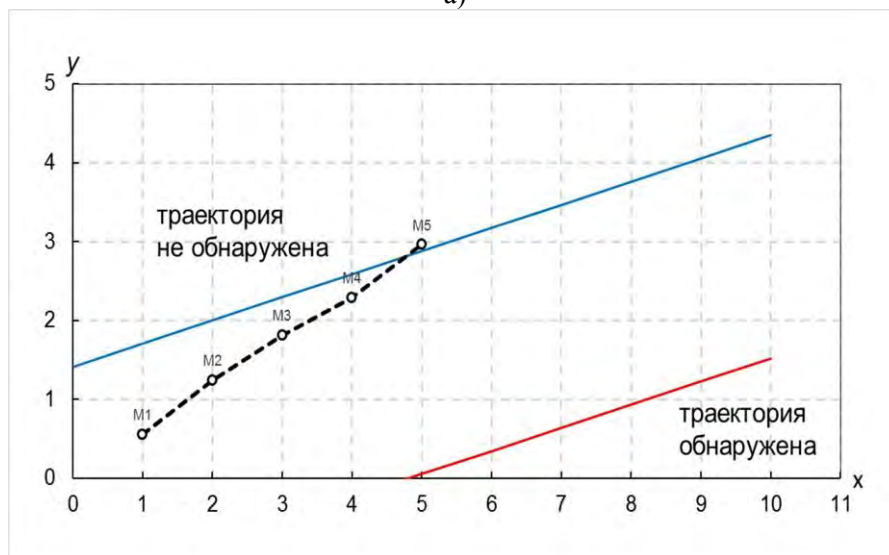
Степень достоверности первой отметки от цели равна  $s_1 = 0.94$ . Ей соответствует точка  $M_1$ , с абсциссой  $x = 1$  и ординатой  $y = 1 - 0.94 = 0.06$ . Степень достоверности следующей отметки равна  $s_2 = 0.96$ . Ей соответствует точка  $M_2$ , с абсциссой  $x = 2$  и ординатой  $y = 0.06 + 0.04 = 0.10$ . В третьем обзоре получена отметка со степенью достоверности  $s_3 = 0.93$ . Ей соответствует точка  $M_3$  с координатами  $x = 3$  и  $y = 0.10 + 0.07 = 0.17$ . Степень достоверности четвертой отметки равна  $s_4 = 0.91$ . Ей соответствует точка  $M_4$ , с абсциссой  $x = 4$  и ординатой  $y = 0.17 + 0.09 = 0.26$ . Пятая отметка имеет степень достоверности  $s_5 = 0.97$ , которой соответствует точка  $M_5$  с координатами  $x = 5$  и  $y = 0.26 + 0.03 = 0.29$ . Шестая отметка имеет степень достоверности  $s_6 = 0.96$ . Ей соответствует точка  $M_6$  с координатами  $x = 6$  и  $y = 0.29 + 0.04 = 0.33$ .



Построив прямые, ограничивающие область накопления отметок и нанеся точки  $M_1-M_6$ , (рис.5а), обнаруживаем, что после первого, второго, третьего, четвертого и пятого обзоров они лежат внутри критической области и, следовательно, необходимо продолжать накапливать отметки для принятия решения об обнаружении траектории. После получения шестой отметки, соответствующая точка  $M_6$  выходит за пределы критической области, что позволяет в условиях принятого допуска прекратить дальнейшее накопление отметок и принять решение об обнаружении сопровождаемой траектории.



а)



б)

**Рис. 5.** Графическая иллюстрация процесса принятия решения об:  
а) обнаружении траектории; б) необнаружении траектории

Рассмотрим случай, при котором цель находится в условиях, усложняющих процесс сопровождения, например, при помеховом воздействии, характеризующемся большим количеством ложных отметок в стробах сопровождения. Степени достоверности отметок и координаты соответствующих им точек приведены в табл. 8. Нанеся точки  $M_1-M_5$  (рис. 5б), обнаруживаем, что после первого, второго, третьего и четвертого обзоров они лежат внутри критической области и, следовательно, необходимо продолжать накапливать отметки для принятия решения об обнаружении или необнаружении траектории.

После получения пятой отметки, соответствующая точка  $M_5$  выходит за пределы критической области, что позволяет в условиях принятого допуска прекратить дальнейшее накопление отметок и принять решение о недостоверности сопровождаемой траектории.

Таблица 8

Степени достоверности отметок и координаты соответствующих им точек

Степень достоверности отметки, $S_i$	0.45	0.31	0.43	0.52	0.33
Точка	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$
Координата $x$	1	2	3	4	5
Координата $y$	0.55	1.24	1.81	2.29	2.96

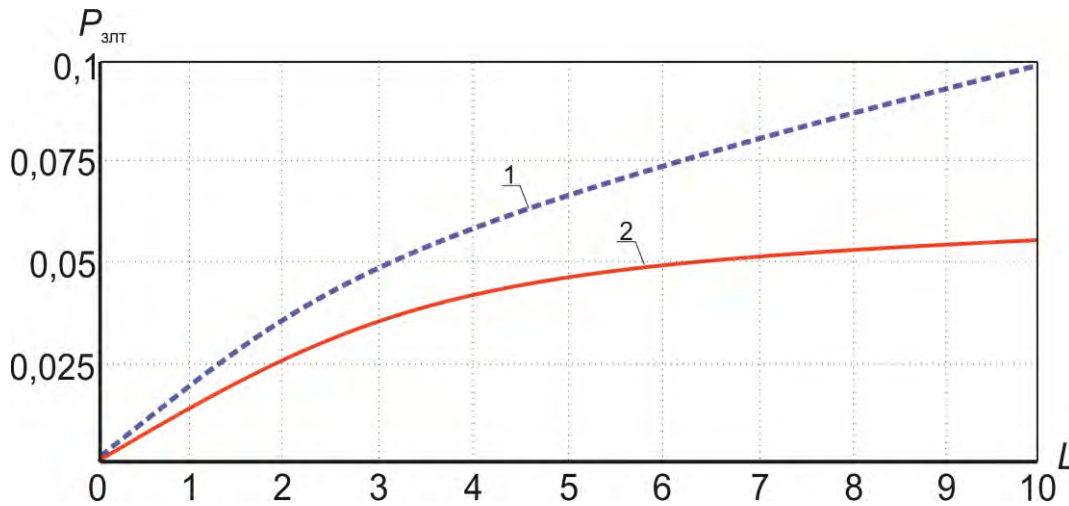


Рис.6. График зависимости вероятности завязки ложных траекторий от количества ложных отметок

### Анализ функционирования методики обнаружения траектории маневрирующего летательного аппарата

Для иллюстрации работы предложенной методики обнаружения траектории МЛА рассмотрим результаты моделирования процесса сопровождения МЛА. На рис.6 представлен график зависимости вероятности завязки ложных траекторий  $P_{лт}$  от количества возможных ложных отметок  $L$  в стробе сопровождения, лежащего в диапазоне от 0 до 10. На рис.6 кривая 1 – получена с помощью алгоритма, основанного на логических критериях  $2/m+l/n$ , кривая 2 – получена с помощью методики на основе последовательного анализа с использованием элементов нечеткого логического вывода.

Анализ полученного графика показывает, что в случаях сложной помеховой обстановки, характеризующейся наличием большого количества ложных отметок, использование предложенной методики позволяет в среднем снизить вероятность завязки ложных траекторий на 27% по сравнению с существующим алгоритмом.

### Заключение

В настоящее время при принятии решения об обнаружении траектории маневрирующих типов целей, таких как МЛА, существующим алгоритмом, основанным на логических критериях  $2/m+l/n$  зачастую происходят случаи сброса траекторий по причинам непопадания отметок в стробы, неверного решения задачи экстраполяции и селекции отметок. Для возможности решения задачи обеспечения устойчивого сопровождения МЛА необходима доработка существующих алгоритмов завязки и подтверждения траекторий наблюдаемых целей. Разработанная методика обнаружения траектории МЛА на основе последовательного анализа с элементами нечеткого логического вывода позволяет принимать решение об обнаружении сопровождаемой траектории.

### Литература

1. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. М.: Сов. радио, 1974. 432 с.
2. Васин В.А., Власов И.Б., Дмитриев Д.Д. и др. Информационные технологии в радиотехнических системах / под ред. И.Б. Федорова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 846 с.
3. Бакут П.А., Жулина Ю.В., Иванчук Н.А. Обнаружение движущихся объектов / под ред. П.А. Бакута. М.: Сов. радио, 1980. 288 с.
4. Конторов Д.С., Голубев-Новожиллов Ю.С. Введение в радиолокационную системотехнику. М.: Сов. радио, 1971. 367 с.
5. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2001. 224 с.
6. Вальд А. Последовательный анализ / под ред. Б.А. Севастьянова. М.: Государственное издательство физико-математической литературы. 1960. 329 с.
7. Van Keuk G. Sequential track extraction // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1998. Vol. 34.No 4. Pp. 1135-1148.

## TRAJECTORY DETECTION METHOD OF MANEUVERING AIRCRAFT ON THE BASIS OF SEQUENTIAL ANALYSIS

Shamil I. Shaymukhametov,  
St.Petersburg, Russia,  
28\_172@mail.ru

### ABSTRACT

The process of making a decision on the trajectory detection of the maneuvering aircraft is a difficult task, as often, in view of the peculiarities of the movement of the target, there are situations when the decision to detect the trajectory is

made on the basis of false information. One of the promising directions for solving this problem is the use of sequential analysis. Sequential analysis is usually used for differential diagnostics (recognition of two States). In contrast to the existing algorithms for deciding on the detection of the trajectory, where the number of strobes and marks from the target, as a rule, is fixed, when using a sequential analysis, these numbers are not set in advance, but are formed based on the conditions of track of the maneuvering aircraft, as necessary for decisionmaking. In addition, in the considered method it is proposed to use the mathematical apparatus of fuzzy logic inference, which will determine the degree of reliability of each mark from the target obtained in the course of selection. The purpose of the work is to reduce the probability of tying false trajectories when deciding on the detection of the maneuvering aircraft trajectory. Recently, active introduction of new methods and models into industry and military affairs began, which were developed on the basis of fuzzy logic. The use of “fuzzy systems” allows to reduce resource and energy costs and provides a higher resistance to the influence of interfering factors than traditional automatic control systems can provide. Fuzzy logic use is especially relevant when the processes under investigation are too complicated to be analyzed by conventional methods or when available sources of information are interpreted poorly, inaccurately or indefinitely. Fuzzy logic is closer to human thinking and natural languages than traditional logical system and it could provide effective means of displaying uncertainty and inaccuracies of the real world. The machine of fuzzy sets and fuzzy logic is successfully used to solve the problems in which the initial data are unreliable and weakly formalized. The paper presents a method of detecting the maneuvering aircraft trajectory, in which the degree of reliability of each mark from the target is calculated using linguistic variables of the number of marks in the strobes, the deviation of marks from the centers of the strobes and the sizes of the strobes themselves. Then, with the help of a sequential analysis based on the above degrees of reliability, a decision is made to trajectory detect.

**Keywords:** maneuvering aircraft; trajectory detection; sequential analysis, fuzzy logical conclusion; linguistic variable.

**Reference:**

1. Kuz'min S.Z. *Osnovy teorii cifrovoj obrabotki radiolokacionnoj informacii* [Basic theory of digital processing radiolocational information]. Moscow: Sovetskoe radio, 1974. 432 p. (In Russian).
2. Vasin V.A., Vlasov I.B., Dmitriev D.D. i dr. *Informacionnye tehnologii v radiotekhnicheskikh sistemah* [Information technology in radio engineering systems]. Moscow: Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet imeni N.E. Baumana, 2011. 846 p. (In Russian).
3. Bakut P.A., Zhulina Ju.V., Ivanchuk N.A. *Obnaruzhenie dvizhushhihsja ob'ektov* [Detection of moving objects]. Moscow: Sovetskoe radio, 1980. 288 p. (In Russian).
4. Kontorov D.S., Golubev-Novozhilov Ju.S. *Vvedenie v radiolokatsionnyu sistemotekniku* [Introduction in radar systems engineering]. Moscow: Sovetskoe radio, 1971. 367 p. (In Russian).
5. Kruglov V.V., Dli M.I., Golunov R.Ju. *Nechetkaya logika i iskusstvennye neironnye seti* [Fuzzy logic and artificial neural networks]. Moscow: Fiziko-matematicheskoi literatury Publ., 2001. 224 p. (In Russian).
6. Val'd A. *Posledovatel'ny analiz* [Sequential analysis]. Moscow: Gosudarstvennoe izdanie fiziko-matematicheskoi literatury Publ., 1960. 329 p. (In Russian).
7. Van Keuk G. *Sequential track extraction* IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1998. Vol. 34. No 4. Pp. 1135-1148.

**Information about author(s):**

Shaimukhametov S.L. postgraduate student of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky

**For citation:** Shaymukhametov S.I. Trajectory detection method of maneuvering aircraft on the basis of sequential analysis. *I-methods*. 2018. Vol. 10. No. 1. Pp. 19–30. (In Russian).