

**А.А. Коновалов**

## **ВЫБОР КРИТЕРИЯ ЗАВЯЗКИ ТРАЕКТОРИИ ЦЕЛИ В МНОГОПОЗИЦИОННОМ РАДИОЛОКАЦИОННОМ КОМПЛЕКСЕ С АСИНХРОННЫМ ОБЪЕДИНЕНИЕМ ОТМЕТОК**

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

Завязка – первый этап алгоритмов обнаружения траектории [1]. Она начинается после получения отметки, не отождествленной ни с одной из сопровождаемых траекторий, и решает две задачи: фильтрацию измерений (отметок), которые заведомо не могут быть соотнесены с данной траекторией вследствие несоответствия предполагаемой динамике цели, и получение предварительной оценки вектора скорости, который затем уточняется на этапе подтверждения. Поскольку для этой оценки достаточно двух измерений координат, на этапе завязки используют две отметки.

Задача завязки траектории ставится следующим образом. Получена первая отметка (вектор наблюдения  $z_1$  и его корреляционная матрица  $P_1$ ), предварительно принимаемая за начало новой траектории. Цель движется в неизвестном направлении со скоростью  $v$ , которая может принимать любое значение в интервале  $v_{min} \leq v \leq v_{max}$ . Через временной интервал  $\tau$  получена новая отметка ( $z_2, P_2$ ). Требуется принять решение о возможной принадлежности новой отметки завязываемой траектории потенциальной цели. С целью уменьшения объема вычислений проверка на принадлежность проводится не для всех отметок, а только для тех, которые удовлетворяют гипотезе о скорости движения, то есть попадают в строб захвата. Вопрос формирования стога захвата с учетом предполагаемой динамики цели и погрешностей радиолокационных измерений был рассмотрен нами в [2].

В многопозиционном радиолокационном комплексе (МПРЛК) с асинхронным объединением отметок, в котором обнаружение траектории происходит по данным измерений, поступающих от разных РЛС в случайные моменты времени, возникает новая задача – определение продолжительности анализа (критерия завязки). В однопозиционной системе траекторной обработки достаточно задать число периодов обзора, в ходе которых ожидается появление заданного числа отметок (критерии вида  $2/N$ ). В МПРЛК следует перейти в временному критерию – фиксировать длительность процедуры

завязки (критерии вида  $2/T_{зав}$ ). При этом представляется целесообразным разработать способ, при котором время процедуры завязки определялось бы задаваемыми статистическими параметрами, в данном случае – вероятностью получения в течение некоторого временного интервала желаемого

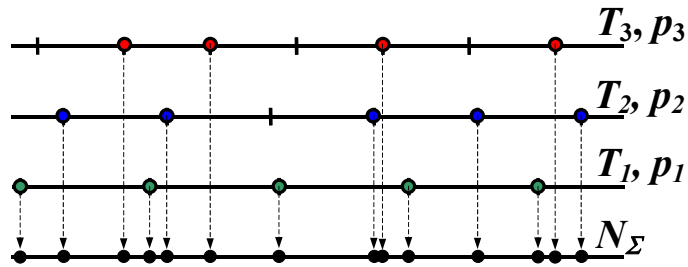


Рис. 1

числа отметок с заданной вероятностью. Разработка такого способа выбора критерия завязки и является предметом данной статьи.

Для этого нам необходимо рассмотреть статистические свойства потока данных на входе алгоритма обнаружения траектории. Пусть в обнаружении траектории участвуют  $N$  РЛС комплекса (рис. 1). Суммарную последовательность отметок во времени будем рассматривать как случайный поток однородных событий  $N_{\Sigma}$ .

Обозначим вероятность обнаружения цели и период обзора в  $j$ -ой РЛС  $P_{Dj}$  и  $T_j, j=1, \dots, N$ . Вероятность обнаружения цели за время обнаружения траектории будем для упрощения рассуждений считать постоянной. Поскольку в ходе траекторной обработки каждая отметка подвергается операции стробирования (при этом вероятность  $P_G$  попадания отметки в строб задается разработчиком), вероятность ее появления на входе алгоритма обнаружения траектории  $p_j = P_{Dj}P_G$ . В  $p_j$  можно учесть и другие потери данных, например, в линии связи.

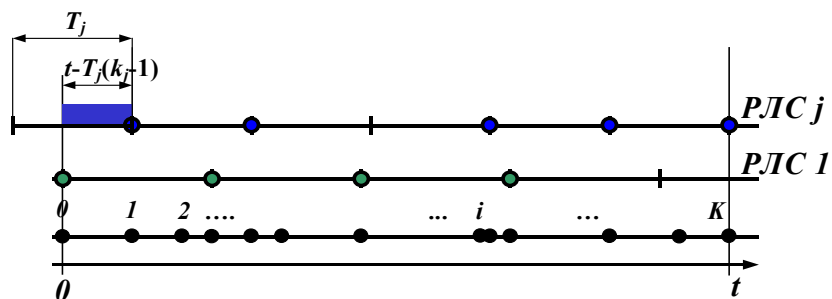


Рис. 2

Обнаружение траектории начинается в момент получения отметки, не отождествленной ни с одной из сопровождаемых траекторий. Этот момент примем за начало отсчета; РЛС, от которой она пришла, обозначим ном

ером 1 (см. рис. 2). За произвольный промежуток времени  $(0; t)$  от РЛС1 может поступить от нуля до  $k_1 = \lfloor t/T_1 \rfloor$  отметок ( $\lfloor \cdot \rfloor$  – округление до ближайшего целого в меньшую сторону). Вероятность появления каждой из отметок от первой РЛС  $p_1^i = p_1$ , верхний индекс обозначает номер отметки:  $i = 1, \dots, k_1$ .

При определении числа отметок, пришедших от других РЛС комплекса, учтем наличие случайного временного промежутка от начала отсчета до первой отметки, обусловленного не синхронным вращением антенн РЛС. Максимальное число отметок от  $j$ -ой РЛС равно  $k_j = \lceil t/T_j \rceil$  ( $\lceil \cdot \rceil$  – округление до ближайшего целого в большую сторону), при этом вероятность появления каждой из первых  $k_j - 1$  отметок  $p_j^i = p_j, i = 1, \dots, k_j - 1$ , вероятность появления  $k_j$ -ой отметки в силу равномерного распределения положения антенны РЛС в начальный момент времени  $p_j^k = p_j(t - T_j(k_j - 1))$ .

В суммарный поток входят все отметки, составляющие отдельные потоки от  $N$  РЛС; за интервал  $(0; t)$  в нем можно ожидать от нуля до  $K = \sum_{j=1}^N k_j$  отметок. Введем обозначения вероятностей появления каждой отметки суммарного потока  $p_i^*, i = 1, \dots, K$ , подразумевая, что каждая вероятность  $p_i^*$  соответствует одной из  $p_j^i, j = 1, \dots, N, i = 1, \dots, k_j$  (порядок соответствия не важен). Обозначим  $q_i^* = 1 - p_i^*$ . Тогда вероятности  $P_n$  появления ровно  $n$  ( $n = 1, \dots, K$ ) отметок на данном интервале вычисляются из соотношений [3]:

$$P_0 = \prod_{i=1}^K q_i^*, \quad P_1 = P_0 \sum_{i=1}^K \frac{p_i^*}{q_i^*}, \quad P_2 = P_0 \sum_{j=2}^K \sum_{i < j} \frac{p_i^* p_j^*}{q_i^* q_j^*}, \quad \dots, \quad P_K = \prod_{i=1}^K p_i^* \quad (1)$$

Среднее число попадающих в интервал отметок и его дисперсия находятся из выражений:

$$\bar{n} = \sum_{i=1}^K p_i^*, \quad \sigma_n^2 = \sum_{i=1}^K p_i^* q_i^* \quad (2)$$

При  $p_1^* = p_2^* = \dots = p_K^* = p$  вероятности  $P_0, P_1, \dots, P_K$  образуют биномиальный закон распределения.

Пусть в составе комплекса объединены  $N=6$  РЛС с  $T_j = \{5, 10, 7, 4, 9, 6\}$  секунд и  $p_j = \{0,6, 0,9, 0,5, 0,8, 0,7, 0,8\}$ . На рис. 3 представлены функция вероятности  $P_n$  и функция распределения  $F_n$  числа отметок для  $t=4$ с.

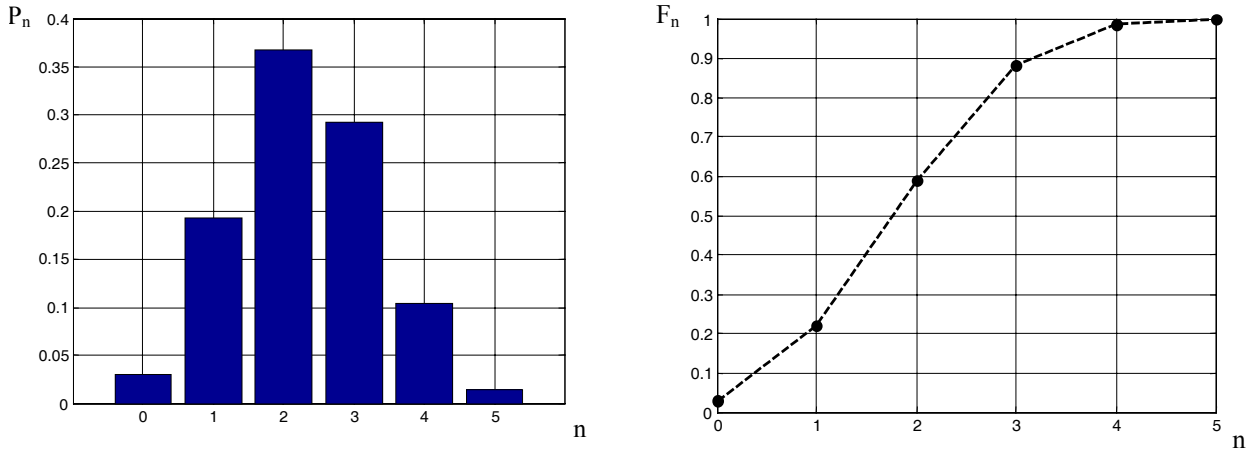


Рис. 3

На рис. 4а приведен график зависимости среднего числа отметок  $\bar{n}$ , попадающих на интервал  $(0; t)$ , от его длительности, и область значений этого числа в пределах  $\bar{n} \pm \sigma$ . Скачок в моменты времени  $5m$  ( $m = 1, 2, \dots, k_1$ ,  $T_1 = 5$  с) объясняется возможным получением отметки от первой РЛС, для которой точно известно время вероятного прихода данных.

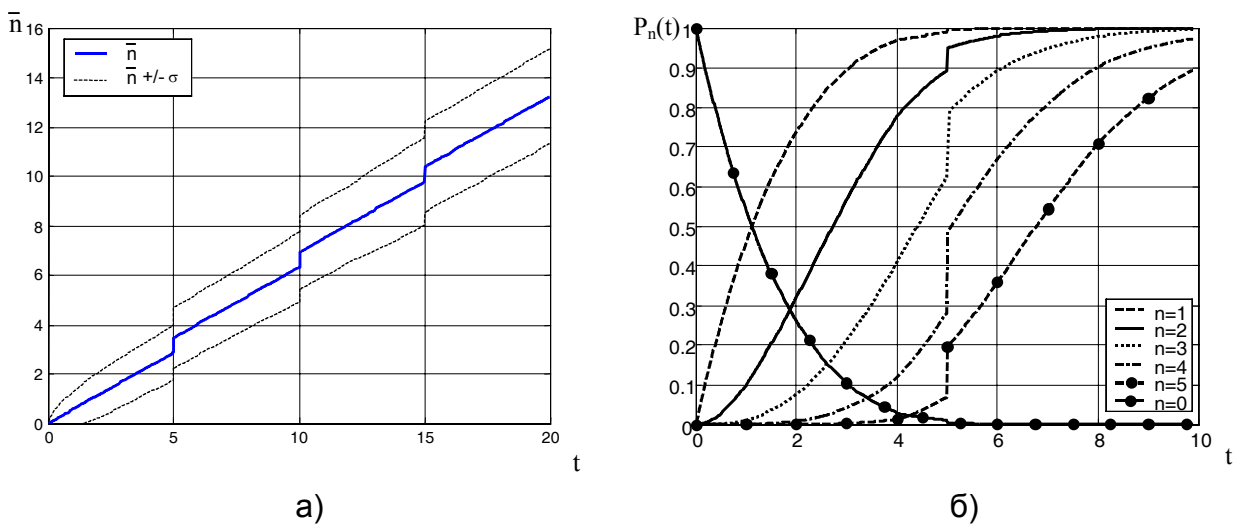


Рис. 4

Для выбора критерия завязки важное значение имеет время, которое требуется для получения не менее  $n$  отметок с вероятностью не ниже заданной. Очевидно, вероятность получения не менее  $n$  отметок за время  $t$  равна  $P_n(t) = \sum_{i=n}^K P_i(t)$ . Графики зависимостей вероятности получения не меньше  $n$  отметок от времени представлены на рис. 4б. Из них следует, что для данного набора РЛС, например, 2 отметки будут получены с вероятно

стью 0,8 примерно через 4 с, вероятность появления не менее 3 отметок будет равна 0,9 через 6 с.

Аналогично можно определить вероятность  $P_0$  отсутствия отметок в течение некоторого временного интервала (кривая  $n=0$  на рис. 4б). Для данного примера вероятность того, что за 3 секунды не придет ни одной отметки ни от одной РЛС, равна примерно 0,1.

Таким образом, для выбора критерия завязки траектории достаточно задать число отметок и вероятность их получения, которая в данном контексте может рассматриваться как вероятность завязки траектории. На основании полученных соотношений и графиков получаем время процедуры захвата. Необходимой для этого информацией являются периоды обзора и вероятности обнаружения цели в каждой РЛС комплекса.

### Литература

1. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. Киев: КВИЦ, 2000. 428 с.
2. Коновалов А.А. Формирование строга захвата траектории с учетом погрешностей радиолокационных измерений. // Материалы международного конгресса «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития Арктических регионов России», том 1, научно-практическая конференция «Транспортно–коммуникационная система Арктики в геополитическом взаимодействии и управлении регионами в условиях чрезвычайных ситуаций», 13-14 ноября 2009 г., Санкт-Петербург. С. 68-73.
3. Большаков И.А. Статистические проблемы выделения потока сигналов из шума. М.: Советское радио, 1969. 464 с.