

# АДАПТИВНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛА НА ФОНЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ПОМЕХИ

Г.А. Непомнящий

## ADAPTIVE DETECTION OF SIGNALS CORRUPTED BY UNSTEADY INTERFERENCE

G.A. Nepomnyashiy

Рассматривается вариант адаптивного обнаружителя, устойчивого к наличию нескольких интенсивных мешающих сигналов в зоне обнаружения. Приводятся сравнительные характеристики обнаружения предлагаемого алгоритма относительно оптимального обнаружителя и адаптивного обнаружителя, не учитывающего наличие мешающих сигналов.

*Ключевые слова:* адаптивное обнаружение, нестационарная помеха, обнаружение близкорасположенных целей.

The article discusses options for the adaptive detector is resistant to the presence of several intense interfering signals in the detection zone. A comparison of characteristics of the proposed detection algorithm on the optimal detector and an adaptive detector, which ignores the presence of interfering signals.

*Keywords:* adaptive detection, nonstationary interference, detection of closely spaced targets.

### Введение

В системах радиолокации (РЛС) важной задачей является стабилизация уровня ложных тревог (СУЛТ) [1, 2, 4, 5]. В условиях априорной неопределенности относительно параметров распределения помехи СУЛТ может быть обеспечена применением адаптивных параметрических алгоритмов обнаружения сигнала [1–6].

Если помеха имеет стационарный характер, то реализация адаптивного обнаружителя не вызывает особых затруднений, а качество его работы при достаточно большом объеме выборки мало уступает оптимальной обработке. В то же время нестационарность помехи может существенно снизить качество работы приемника [1, 4, 6]. Причиной нестационарности помехи могут быть как преднамеренные импульсные помехи, так и сигналы, отраженные от целей, близкорасположенных к исследуемому элементу дальности РЛС.

Для уменьшения влияния мешающих сигналов на значение вероятностей ложного и правильного обнаружения применяют специальные меры. Так, в [6] предлагается «метод контраста». Суть данного метода заключается в поочередном сравнении отношений соседних выборок с некоторым порогом и удалении элементов выборки, не удовлетворяющих определенным условиям. Выбор оптимального значения порога проводится мето-

дом моделирования. В [1] приводится структура адаптивного обнаружителя, в которой для уменьшения влияния близкорасположенных целей используется ранжирование элементов выборки и вычисление порога обнаружения по элементу выборки из области больших амплитуд. Известны и другие способы повышения качества адаптивных обнаружителей в условиях мешающих сигналов [5]. Общими недостатками рассматриваемых адаптивных алгоритмов обнаружения являются относительная сложность реализации и необходимость управления порогом обнаружения.

В настоящей статье исследуется простой вариант адаптивного обнаружителя с фиксированным порогом, устойчивого к наличию нескольких мешающих интенсивных сигналов.

### Постановка задачи

На вход цифрового обнаружителя поступает смесь стационарной помехи  $n(k)$ , нескольких мешающих сигналов  $S_i(k)$ ,  $i = 1 \dots M$  и, возможно, полезного сигнала  $S_0(k)$  (рис. 1):

$$\begin{aligned} H_0 : X(k) &= \sum_{i=1}^M S_i(k) + n(k), \\ H_1 : X(k) &= S_0(k) + \sum_{i=1}^M S_i(k) + n(k). \end{aligned} \quad (1)$$

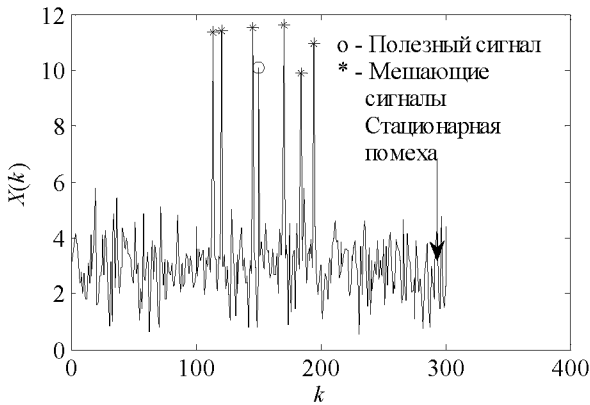


Рис. 1. Сигнал на входе обнаружителя

Стационарная помеха  $n(k)$  является нормальным некоррелированным процессом с неизвестными средним  $m_n$  и среднеквадратическим отклонением (СКО)  $\sigma_n$ . Амплитуды сигналов  $A_i$  ( $i = 1 \dots M$ ) также неизвестны.

Необходимо предложить алгоритм обнаружения сигнала  $S_0(k)$  с фиксированным порогом обнаружения, адаптивный к параметрам стационарной помехи и устойчивый к наличию нескольких мешающих сигналов.

### Предлагаемое решение

Рассмотрим схему простейшего адаптивного обнаружителя (рис. 2) [1, 2]. Отсчеты сигнала  $X(k)$  запоминаются в ОЗУ ( $k = 1 \dots K$ ). Для отсчета  $X(n)$  по  $N-1$  соседним отсчетам, оцениваются среднее и СКО стационарной помехи ( $N-1$  – размер выборки). Далее величина  $X(n)$  нормируется путем вычитания оценочного среднего  $\hat{m}_n$  и деления на оценочное СКО  $\hat{\sigma}_n$ . Полученные таким образом отсчеты нормированной статистики  $X_n(n)$  сравниваются с фиксированным порогом  $\gamma$ . Порог  $\gamma$  обеспечивает требуемое значение вероятности ложной тревоги  $P_F$ .

Если в интервале дальности, соответствующем выборке помехи, мешающие сигналы отсутствуют, то выборка является однородной и качество работы обнаружителя зависит только от размера выборки. Наличие интенсивных мешающих

сигналов в зоне выборки приводит к ошибкам в оценивании среднего и СКО стационарной помехи: оценки  $\hat{m}_n$  и  $\hat{\sigma}_n$  смещаются в область больших значений. В результате вероятности  $P_F$  (ложной тревоги) и  $P_D$  (правильного обнаружения) снижаются. Уменьшение  $P_F$  само по себе является желательным результатом. В то же время одновременное уменьшение величины  $P_D$  говорит о снижении эффекта адаптации.

На рис. 3 изображена ранжированная выборка  $Y(i)$ ,  $i = 1 \dots N-1$ , полученная из исходной выборки  $X(j)$ ,  $j = (n - N/2) \dots (n-1)$ ,  $(n+1) \dots (n+N/2)$  путем расстановки элементов выборки в порядке возрастания. В случае однородной выборки  $X$  ранжированная выборка  $Y$  сходится к нечетной функции при  $N \rightarrow \infty$ . Наличие мешающих сигналов (неоднородная выборка) приводит к задиранию «хвоста» ранжированной выборки  $Y$  и в этом случае при  $N \rightarrow \infty$   $Y$  к нечетной функции не сходится.

Поставленная задача может быть эффективно решена путем удаления из  $Y$  последних  $M$  элементов, где  $M$  – число мешающих сигналов. Но поскольку  $M$  – неизвестный параметр, такой путь решения является затруднительным.

Суть предлагаемого решения состоит в следующем. Нетрудно определить, что при малом числе мешающих сигналов относительно размера выборки однородная и неоднородная выборки в среднем мало отличаются для  $i = 1 \dots (N+1)/2$  (на рис. 3  $N = 101$ ). Поэтому, используя первую половину  $Y(i)$ , путем ее нечетного отображения можно получить модифицированную ранжированную выборку  $Y_M(i)$ , которая в среднем мало отличается от однородной выборки стационарной помехи.

При этом фактический размер выборки  $Y_M$ , по которой оцениваются параметры стационарной помехи, уменьшается в два раза относительно исходной выборки  $X$ :

$$Y_M(i) = \begin{cases} Y(i), & i = 1 \dots \frac{N+1}{2}; \\ 2Y\left(\frac{N+1}{2}\right) - Y\left(\frac{N+1}{2} - i\right), & i = \frac{N+3}{2} \dots N. \end{cases} \quad (2)$$

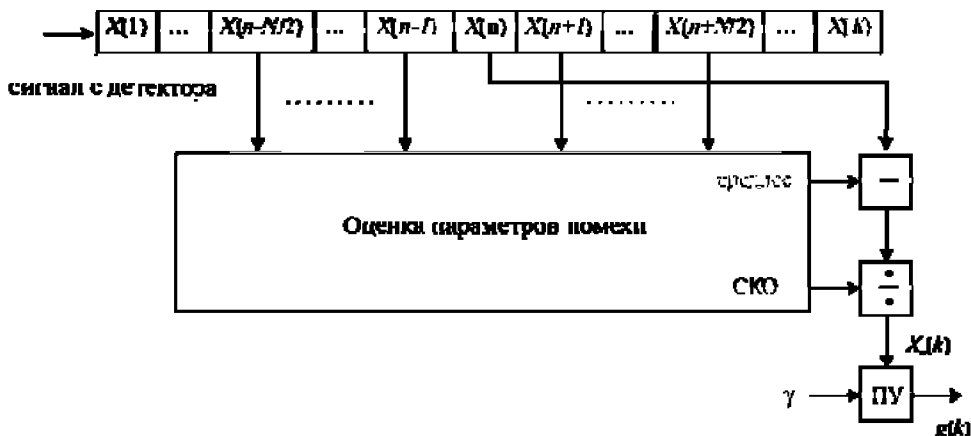


Рис. 2. Функциональная схема адаптивного обнаружителя (ПУ – пороговое устройство)

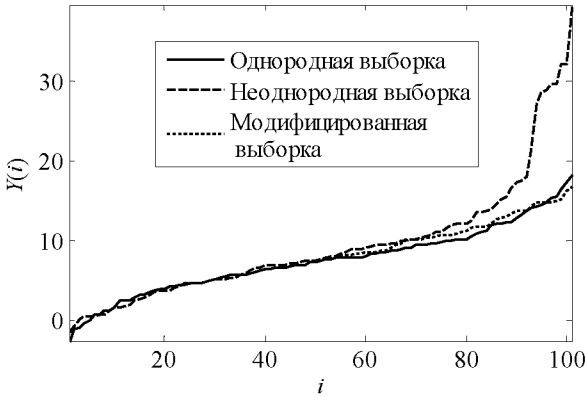


Рис. 3. Ранжированные выборки

Очевидно, что эффективность предлагаемого способа зависит как от размера исходной выборки, так и от относительного числа мешающих сигналов  $m = M/N$ .

**Результаты моделирования**

На рис. 4 изображены зависимости относительного уменьшения вероятности ложной тревоги  $I_F = P_{F0}/P_F$  ( $P_{F0}$  – значение вероятности ложной тревоги, соответствующее оптимальной обработке,  $P_F$  – фактическое значение вероятности ложной тревоги) от относительного числа мешающих сигналов  $m$ . Амплитуды мешающих сигналов в  $\sqrt{q}$

раз превышают СКО стационарной помехи, параметры которой задаются случайным образом. Размер исходной выборки 101. Представленные зависимости получены методом статистического моделирования на ЭВМ (размер статистики  $100/P_{F0}$ ).

Как видно, уже при 10 %-ном заполнении выборки мешающими сигналами  $P_F$  для исходного адаптивного алгоритма обнаружения может снизиться на порядок и более. В то же время применение ранжирования выборки и преобразования (2) приводит к заметной СУЛТ: при 20 %-ном заполнении выборки мешающими сигналами  $P_F$  снижается менее чем в 3 раза.

Зависимости относительного уменьшения вероятности правильного обнаружения  $I_D = P_{D0}/P_D$  ( $P_{D0}$  – значение вероятности правильного обнаружения, соответствующее оптимальной обработке,  $P_D$  – фактическое значение вероятности правильного обнаружения) от относительного числа мешающих сигналов  $m$  изображены на рис. 5. Амплитуды полезного и мешающих сигналов в  $\sqrt{q}$  раз превышают СКО стационарной помехи. Размер статистики при моделировании 1000.

Как видно, использование предлагаемого алгоритма обнаружения препятствует существенному снижению  $P_D$ , которое имеет место в случае простого алгоритма адаптации, не учитывающего

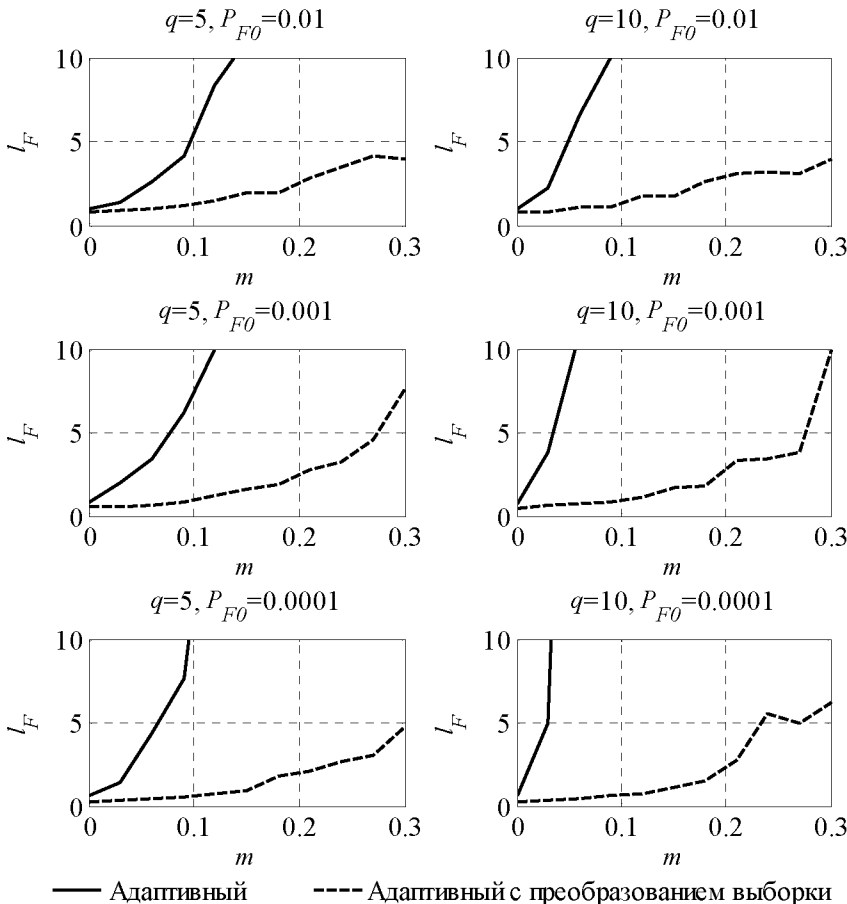


Рис. 4. Зависимости  $I_F$  от  $m$

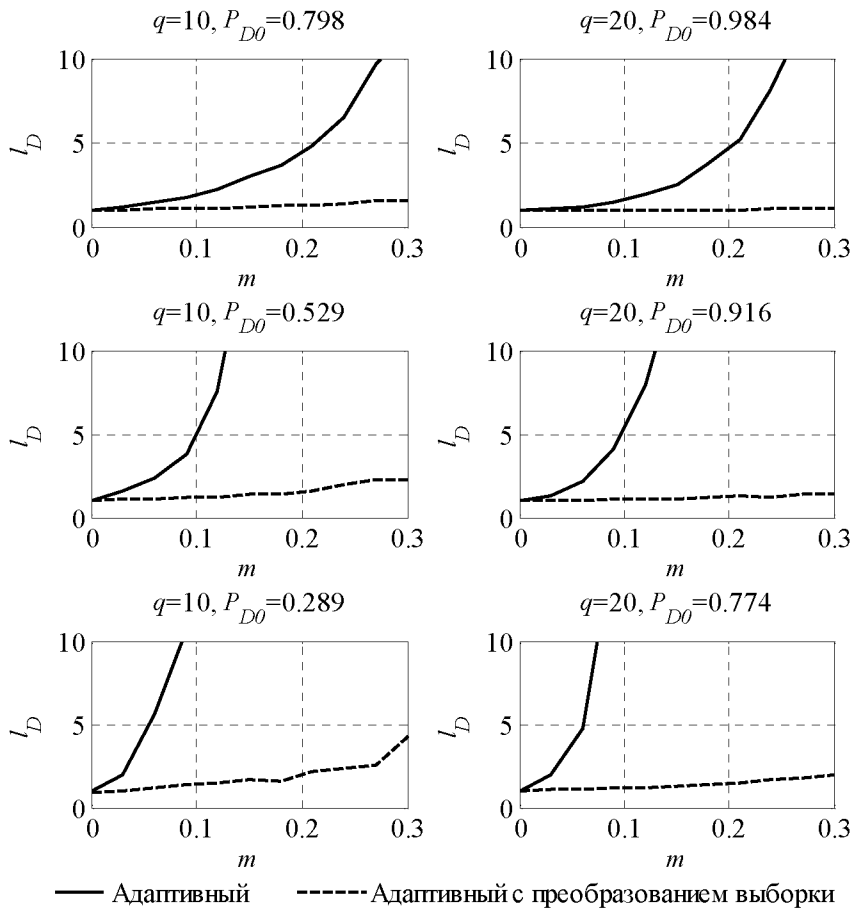


Рис. 5. Зависимости  $I_D$  от  $m$

наличие мешающих сигналов: при 20 %-ном заполнении выборки мешающими сигналами  $P_D$  снижается в 5 раз и более. Применение ранжирования выборки и преобразования (2) обеспечивает снижение  $P_D$  не более чем в 2 раза при  $m=0,2$ .

#### Заключение

Предложенный вариант адаптивного обнаружителя позволяет повысить стабильность вероятностей ложной тревоги и правильного обнаружения в условиях воздействия нормальной стационарной помехи с неизвестными параметрами и наличия нескольких интенсивных мешающих сигналов. Количество мешающих сигналов, при котором обеспечивается приемлемая стабильность вероятностей, составляет до 10–20 % от размера выборки.

Рассмотренный вариант обнаружителя может быть полезен в задачах обнаружения-разрешения нескольких близкорасположенных целей. При этом каждый из сигналов  $S_i(k)$ ,  $i=0 \dots M$  может рассматриваться как полезный, а все остальные  $M$  сигналов – мешающие по отношению к нему.

#### Литература

1. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития / под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 416 с.
2. Ширман, Я.Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
3. Левин, Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б.Р. Левин. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
4. Кузьмин, С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С.З. Кузьмин. – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.
5. Справочник по радиолокации: в 4 т. Т. 1. Основы радиолокации / под ред. М. Скольника; пер. с англ. под общей ред. К.Н. Трофимова. – М.: Советское радио, 1976. – 456 с.
6. Оводенко, А.А. Робастные локационные устройства / А.А. Оводенко. – Л.: ЛГУ, 1981. – 185 с.

Поступила в редакцию 16 апреля 2011 г.