

СЕКЦІЯ 1

«Телекомунікації, електроніка, радіоелектронні пристрої»

РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБНАРУЖИТЕЛЯ РАДИОСИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗАТОРА ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Косюк С.Н., trymoney@ukr.net

Смирнов А.В., к.т.н., с.н.с., smirnov_dntu@ukr.net

ДонНТУ, г. Красноармейск, Украина

Введение. Отсутствие или недостаточность априорных сведений об обнаруживаемых радиосигналах не позволяют реализовать оптимальные (в смысле минимума вероятности ошибочных решений) алгоритмы обнаружения. Одним из известных путей решения этой задачи является поиск частных алгоритмов обнаружения, обладающих специфическими характеристиками, с последующим объединением их частных решений в коллективное решающее правило. В [1] предложено в качестве информативного признака распознавания сигналов на фоне помехи использовать величины ординаты одномерной плотности вероятностей мгновенных значений исследуемой реализации. Однако, рабочие характеристики предложенного алгоритма обнаружения, не исследованы. В данной статье пробел восполняется.

Цель исследований. Целью данной работы является определение рабочих характеристик оригинального алгоритма обнаружения радиосигналов на основе оценок одномерной плотности вероятностей мгновенных значений исследуемой реализации. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить зависимость вероятности правильного обнаружения от величины отношения сигнал/шум и выбранного критерия принятия решения.
2. Сравнить при идентичных условиях рабочие характеристики предложенного обнаружителя с аналогичными характеристиками для энергетического обнаружителя.
3. Дать рекомендации по практической реализации предложенного алгоритма.

Используемые модели. В качестве модели входных воздействий используется аддитивная смесь обнаруживаемого сигнала $s(t)$ и помехи $n(t)$: $y(t) = s(t) + n(t)$. Одномерная плотность вероятностей мгновенных

значений $s(t)$ описывается законом арксинуса, а $n(t)$ - помеха в виде квазибелого шума в полосе частот присутствия $s(t)$ подчинена гауссовскому закону. Такая модель $s(t)$ достаточно адекватна для сигналов типа ЧМ, ЧМн или многократная ФМн.

Результаты анализа. В [1], путем нахождения минимальных значений коэффициента вариации оценок плотности вероятностей мгновенных значений исследуемой реализации $y(t)$, найден эффективный уровень анализа $y_n = 0$ при суммарной дисперсии $\sigma_y^2 = \sigma_s^2 + \sigma_n^2 = 1 \text{ const}$. При использовании этого единственного уровня анализа достигается максимальное различие не обнаруживаемого сигнала на фоне $n(t)$. Использование соседних уровней анализа не повысит эффективность обнаружения, т.к. оценки плотности вероятностей, полученные на них, будут сильно коррелированы между собой [2].

Плотность вероятностей мгновенных значений $y(t)$ для принятых выше моделей $s(t)$ и $n(t)$ найдена в [3]:

$$\omega(y) = \frac{1}{\sigma_n \cdot \pi \cdot \sqrt{2\pi}} \int_0^\pi \exp \left[-0,5 \left(\frac{y}{\sigma_n} - \frac{U_m}{\sigma_n} \cdot \cos \psi \right)^2 \right] d\psi, \quad (1)$$

где: U_m - амплитуда $s(t)$; σ_n - СКО $n(t)$; y - уровень анализа. Преобразуем (1) под наши условия: $\sigma_s^2 + \sigma_n^2 = 1$ и $q = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2}$, получим

$$\omega(y) = \frac{\sqrt{q+1}}{\pi \cdot \sqrt{2\pi}} \int_0^\pi \exp \left[-0,5 \left(y\sqrt{q+1} - \sqrt{2q} \cdot \cos \psi \right)^2 \right] d\psi, \quad (2)$$

где: $q = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2} = \frac{P_c}{P_n}$ - отношение сигнал/шум; P_c , P_n - соответственно мощность обнаруживаемого сигнала $s(t)$ и помехи $n(t)$.

На рис. 1 представлена зависимость $\omega(y)$ при $y_n = 0$ от величины q .

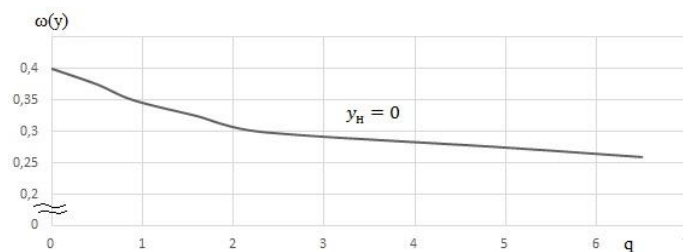


Рисунок 1. Зависимость $\omega(0;q)$, полученная по (2)

Величина $\omega(0;q)$ изменяется от значения 0,39 при $q=0$ до 0,255 при $q = \infty$.

Величины дисперсии оценок $\omega(0;q)$ определим по известной формуле [2]:

$$\sigma_{\omega}^2 \approx \frac{\omega(0;q)}{N \cdot \Delta y}, \quad (3)$$

где: N – число независимых отсчетов; Δy – ширина дифференциального коридора анализа, который в нашем случае принимает значения $0 \pm \Delta y / 2$.

Положив в (3) $N = 50$ и $\Delta y = 0,2$, получим зависимость $\sigma_{\omega}^2(q)$. Она слабо зависит от q : при $q = 0$ $\sigma_{\omega}^2 = 0,04$, а при $q = 10$ – $\sigma_{\omega}^2 = 0,02$.

Поскольку в анализе $N \gg 1$, то апостериорные плотности вероятностей, по которым будут приниматься решения, можно считать нормальными [3]. Апостериорная плотность вероятностей, полученная на основании оценки ординаты $\omega(y)$ при $y_n = 0$, в отсутствии $s(t)$ при $q = 0$, запишется в виде: $W_a(m_{1\omega} = 0,39; \sigma_{\omega}^2 = 0,04)$. Соответственно при наличии $s(t)$ и $q = 3$ имеем: $W_a(m_{1\omega} = 0,293; \sigma_{\omega}^2 = 0,03)$.

На рис.2 схематично без соблюдения масштаба показаны эти апостериорные плотности вероятностей. Здесь же показаны вероятности, являющиеся рабочими характеристиками обнаружителя (y' – напряжения на входе решающего устройства).

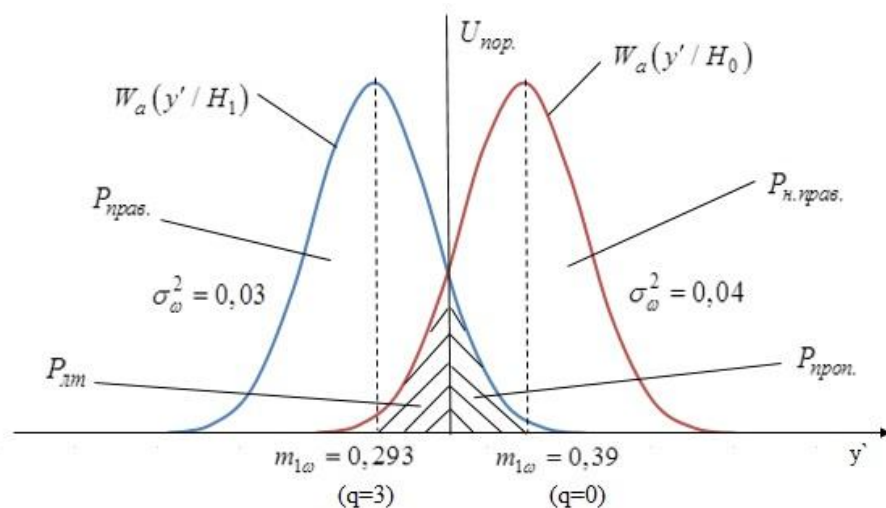


Рисунок 2. Апостериорные плотности вероятностей на входе решающего устройства обнаружителя

$$P_{\text{проп.}} = \int_{U_{\text{пор}}}^{\infty} W_a(y' / H_1) dy'; \quad (4)$$

$$P_{\text{прав.}} = \int_{-\infty}^{U_{\text{пор}}} W_a(y' / H_0) dy' \quad (5)$$

$$P_{\text{н.прав.}} = \int_{U_{\text{пор}}}^{\infty} W_a(y' / H_1) dy' \quad (6)$$

$$P_{\text{лт}} = \int_{-\infty}^{U_{\text{пор}}} W_a(y' / H_0) dy' \quad (7)$$

где: $P_{\text{проп.}}$; $P_{\text{прав.}}$; $P_{\text{н.прав.}}$; $P_{\text{лт}}$ - соответственно вероятность пропуска сигнала; вероятность правильного обнаружения; вероятность неправильного обнаружения; вероятность ложной тревоги; $U_{\text{пор.}}$ - порог принятия решения.

При использовании критерия идеального наблюдателя $U_{\text{пор.}}$ находится из равенства $P_{\text{лт}} = P_{\text{проп.}}$:

$$\int_{U_{\text{пор}}}^{\infty} W_a(y' / H_1) dy' = \int_{-\infty}^{U_{\text{пор}}} W_a(y' / H_0) dy' \quad (8)$$

где: H_0 и H_1 - соответственно гипотеза сигнал отсутствует и гипотеза сигнал $s(t)$ присутствует в реализации $y(t)$.

Соотношения между $P_{\text{лт}}$, $P_{\text{проп.}}$, $P_{\text{прав.}}$ следующие:

$$P_{\text{ош}} = P_{\text{проп.}} + P_{\text{лт}}; \quad P_{\text{прав.}} = 1 - P_{\text{ош}} = 1 - P_{\text{проп.}} - P_{\text{лт}}. \quad (9)$$

Алгоритм работы предложенного обнаружителя радиосигналов на основе оценок $\omega(y)$, можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} W_a(y' / H_1) \leq U_{\text{пор.}} \text{ то справедлива гипотеза } H_1 \\ W_a(y' / H_1) > U_{\text{пор.}} \text{ то справедлива гипотеза } H_0 \end{cases} \quad (10)$$

На рис. 3 представлена зависимость $P_{\text{прав.}}(q)$, полученная с использованием (2) - (9) при $N = 50$ (кривая 1).

Рабочие характеристики энергетического обнаружителя определяются известными соотношениями при использовании критерия идеального наблюдателя [4]:

$$P_{\text{прав.}}(q) \approx 1 - F \left[\left(v \cdot \sqrt{\frac{1}{q+1}} - \sqrt{N} \right) \sqrt{2} \right], \quad (11)$$

$$\text{где:} \quad v^2 = 2 \left(1 + \frac{1}{q} \right) \ln \left[(1+q)^{N/2} \right], \quad (12)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp[-t^2 / 2] dt - \text{функция Лапласа.}$$

По (11) и (12) найдена $P_{\text{прав.}}(q)$, энергетического обнаружителя при $N = 50$ и изображена на рис. 3 (кривая 2).

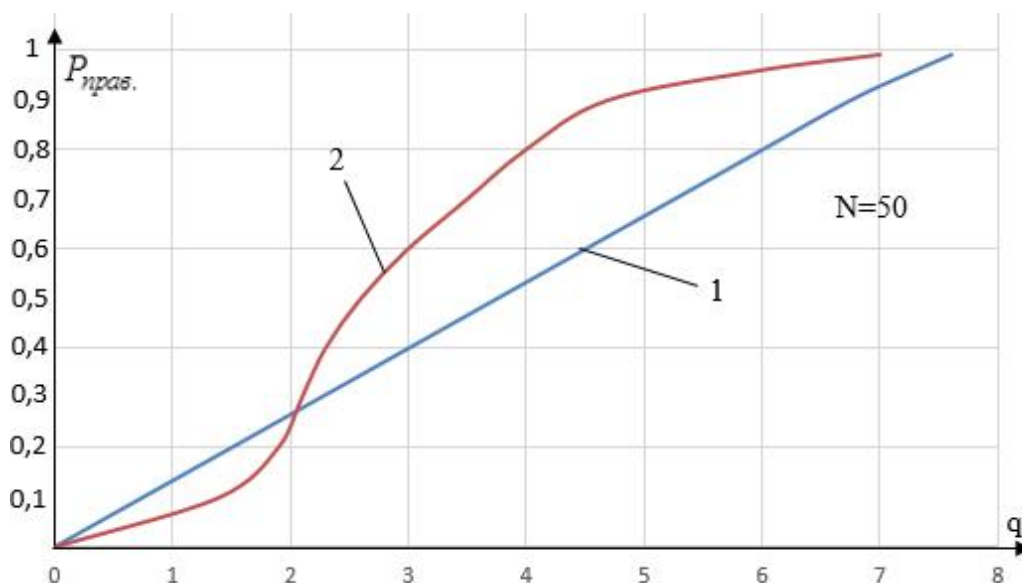


Рисунок 3. Зависимость вероятности правильного обнаружения от отношения сигнал/шум q : 1 – на основе оценок $\omega(y)$; 2 – для традиционного энергетического обнаружителя

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Предложенный оригинальный обнаружитель радиосигналов на основе оценок одномерной плотности вероятностей мгновенных значений $y(t)$ при $N = 50$ проигрывает традиционному энергетическому обнаружителю 2,3 дБ по мощности для $P_{\text{прав.}} = 0,9$.

2. Этот проигрыш в отношении сигнал/шум q является следствием использования системы АРУ по дисперсии для корректной работы выбранного признака распознавания. Система АРУ обладает существенной нелинейностью и снижает мощность обнаруживаемого сигнала при $q \gg 1$ на выходе РПрУ обнаружения.

3. Из-за малости изменений $\omega(y)$ при $y_n = 0$ в диапазоне возможной вариации отношений сигнал/шум $q_{\text{max}} \geq q \geq 0$ (см. рис. 1), для практической реализации предложенного обнаружителя радиосигналов, следует использовать современные микропроцессоры или микроЭВМ с достаточной разрядностью для проведения точных вычислений.

Литература

1. Смирнов А. В., Косюк С. Н. Выбор информативных признаков распознавания образов для обнаружителя радиоизлучений. Материалы I Всеукраинской НТК “Автоматизация, контроль и управление” (АКУ-2015), ДонНТУ, Красноармейск, 2015.-с.479-482. (Электронная версия на CD).
2. Куликов Е. И. Методы измерения случайных процессов.-М.: Радио и связь, 1986.-272с.
3. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника.-М.: Сов. радио, 1966.-678с.
4. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Кн.2. Изд. 2-е, перераб. и доп.-М.: Сов.радио, 1976.-392с.

Аннотация

Получены рабочие характеристики обнаружителя радиосигналов на основе оценок плотности вероятностей и исследуемой реализации. Они сравниваются с аналогичными характеристиками для энергетического обнаружителя.

Ключевые слова: обнаружитель радиосигналов, вероятность правильного обнаружения.

Анотація

Отримано робочі характеристики виявителя радіосигналів на основі оцінок щільності ймовірностей і досліджуваної реалізації. Вони порівнюються з аналогічними характеристиками для енергетичного виявителя.

Ключові слова: виявитель радіосигналів, ймовірність правильного виявлення.

Abstract

Obtained performance radio detector based on estimates of the probability density and the implementation of the study. They are compared with similar characteristics for the energy detector.

Keywords: radio detector, the detection probability.