

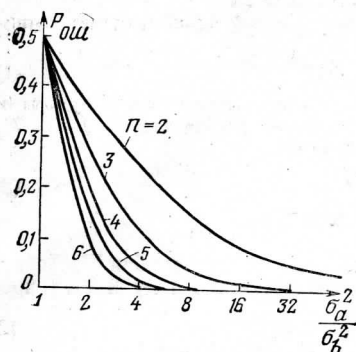
54

РАДИОТЕХНИКА

т. 35, №7, 1980

Используя (5) и (6), по таблицам χ^2 -распределения можно найти вероятности ошибок различения.

График зависимости ошибок различения от отношения дисперсий σ_a^2/σ_b^2 и объема выборки n приведен на рисунке.



Выводы. 1. При различении логонормальных процессов существенной операцией является вычисление логарифмов значений отсчетов.

2. Результат обработки отсчетов, сравниваемый с порогом, определяется χ^2 -распределением с $2C_n^2$ степенями свободы.

3. Вероятность ошибки различения снижается при увеличении отношения σ_a^2/σ_b^2 и объема выборки n .

4. При заданной вероятности ошибки отношение дисперсий σ_a^2/σ_b^2 и объем выборки n связаны в общем случае нелинейной зависимостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование в радиолокации/Под ред. А. И. Леонова, М.: Сов. радио, 1979.
2. Горяинов В. Т., Журавлев А. Г., Тихонов В. И. Примеры и задачи по статистической радиотехнике, М.: Сов. радио, 1970.
3. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Кн. 2. М.: Сов. радио, 1968.
4. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Кн. 1. М.: Сов. радио, 1966.

Сообщение поступило 8 октября 1979 г.

УДК 621.396.963.3

А. П. ТРИФОНОВ, А. К. СЕНАТОРОВ

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧЕНИЯ СИГНАЛОВ В ПРИЕМНОМ УСТРОЙСТВЕ С ЦВЕТНЫМ ИНДИКАТОРОМ

Известно [1, 2 и др.], что звено цветной индикатор — оператор обладает рядом достоинств, таких, как локализация полезной информации в яркостно-цветовой отметке, воспроизведение значительного количества деталей изображения, хорошая наглядность изображения и др. Ниже описывается один из способов расчета рабочих характеристик этого звена применительно к задаче различения двух сигналов на фоне помех.

Допустим, что на вход приемного устройства поступает смесь помехи и одного из сигналов $s_1(t)$ или $s_2(t)$. Сигналы отличаются друг от друга значением некоторого параметра (признака) q , который однозначно отображается в цветность отметки L на экране цветной электронно-лучевой трубки (ЦЭЛТ). Кроме проверяемой отметки с цветностью L на экране ЦЭЛТ также высвечиваются две эталонные отметки с цветностями L_1 и L_2 , отображающие значения параметров q_1 и q_2 , соответствующие различаемым сигналам. Для определенности примем $L_1 < L_2$. Оператор принимает решение о наличии сигнала $s_1(t)$, если цветность проверяемой отметки ближе к цветности L_1 , чем к L_2 . В противном случае принимается решение о наличии сигнала $s_2(t)$. При этом на правильность принимаемых оператором решений влияет не только интенсивность и характер входной помехи, но и конечная величина цветовой пороговой чувствительности оператора [3, 4]. В соответствии с определением цветовой пороговой чувствительности δL , оператор с уверенностью фиксирует различие между двумя отметками, если их цветное различие превосходит δL . С учетом конечной величины цветовой пороговой чувствительности алгоритм принятия оператором решения можно описать следующим образом. Если различие между цветностью проверяемой отметки и цветностями эталонных отметок не превосходит δL , т. е. $||L_1 - L| - |L_2 - L|| < \delta L$, то оператор с равной вероятностью (0,5) относит принятый сигнал к классу $s_1(t)$ или $s_2(t)$. В противном случае оператор с достоверностью принимает определенное решение, а именно, относит принятый сигнал к классу $s_1(t)$, если $|L_2 - L| - |L_1 - L| \geq \delta L$,

и к классу $s_2(t)$, если $|L_1 - L| - |L_2 - L| > \delta L$. Далее считаем, что $L_2 - L_1 > \delta L$, так что оператор уверенно различает цветности эталонных отметок. Тогда сформулированный алгоритм несколько упрощается и его можно записать так: принимается решение о наличии сигнала $s_1(t)$, если $L < L_a$, и решение о наличии сигнала $s_2(t)$, если $L > L_b$. Если же $L_a < L < L_b$, где $L_a = L_0 - \delta L/2$, $L_b = L_0 + \delta L/2$, $L_0 = (L_1 + L_2)/2$, то с равной вероятностью принимается любое из двух возможных решений.

Эффективность различения сигналов характеризуем средней вероятностью ошибки [5]

$$P_e = P_1 P(2|1) + P_2 P(1|2), \quad (1)$$

где P_i — априорная вероятность приема сигнала $s_i(t)$; $P(i|j)$ — вероятность принятия решения о наличии i -го сигнала в то время, как присутствует j -й сигнал ($i, j = 1, 2$). Для рассматриваемого алгоритма различения можем записать

$$P(2|1) = \int_{L_b}^{\infty} W_1(L) dL + 0,5 \int_{L_a}^{L_b} W_1(L) dL, \\ P(1|2) = \int_0^{L_a} W_2(L) dL + 0,5 \int_{L_a}^{L_b} W_2(L) dL, \quad (2)$$

где $W_i(L)$ — плотность вероятности цветности проверяемой отметки при наличии i -го сигнала. Формулы (1), (2) позволяют исследовать влияние конечной величины цветовой пороговой чувствительности оператора на эффективность различения. В частности, алгоритм идеального оператора, способного различать сколь угодно близкие по цветности отметки, получаем, полагая $\delta L = 0$.

Для дальнейшего анализа эффективности различения в звене цветной индикатор — оператор необходимо конкретизировать плотности вероятности $W_i(L)$. С этой целью более подробно рассмотрим приемное устройство с индикатором, в котором используется двухлучевая ЦЭЛТ. В этом устройстве признак различаемых сигналов q отображается отношением напряжений u_1 и u_2 на управляющих электродах ЦЭЛТ (можно считать $q = u_2/u_1$), которое связано с цветностью отметки соотношением [6]

$$L = \theta / (1 + \beta q) + L_s, \quad (3)$$

где θ — параметр, определяющий интервал цветностей, воспроизводимых на экране двухлучевой ЦЭЛТ. Величина θ измеряется в относительных пороговых единицах ΔL восприятия цветности на равноконтрастной диаграмме МКО-60 [3], причем для среднего оператора $\Delta L = 0,004$; β — технический параметр трубки: L_s — цветность одного из люминофоров. С помощью (3) алгоритм принятия решения оператором можно записать в форме, более удобной для анализа. Для этого принимается решение о наличии сигнала $s_1(t)$, если $q > q_a$; принимается решение о наличии сигнала $s_2(t)$, если $q < q_b$; с равной вероятностью принимается решение о наличии любого из различаемых сигналов, если $q_b < q < q_a$, где $q_a, b = (\theta + L_s - L_{a, b}) / [\beta(L_{a, b} - L_s)]$. Для измененной формы алгоритма принятия решения вероятности ошибок равны:

$$P(2|1) = \int_0^{q_b} W_1(q) dq + 0,5 \int_{q_b}^{q_a} W_1(q) dq, \\ P(1|2) = \int_{q_a}^{\infty} W_2(q) dq + 0,5 \int_{q_b}^{q_a} W_2(q) dq, \quad (4)$$

где $W_i(q)$ — плотность вероятности q при наличии сигнала $s_i(t)$ ($i = 1, 2$).

В качестве примера рассмотрим различение двух эллиптически поляризованных радиосигналов в приемном устройстве с двухлучевой ЦЭЛТ, которое содержит два приемных канала. Положим, что распознаваемые сигналы отличаются только модулем отношения поляризационных компонент [7], который в данном случае является признаком q . Тогда, если гауссовские помехи в каналах приемника статистически независимы и в них используются линейные детекторы, плотности вероятности отношения выходных напряжений можно записать в явном виде [7]

$$W_i(q) = \frac{2hq_i}{(h + q_i^2)^2} \exp\left(-\frac{d_{1i}q_i^2 + hd_{2i}}{h + q_i^2}\right) \left[\left(1 + \frac{hd_{1i} + d_{2i}q_i^2}{h + q_i^2}\right) \times \right. \\ \left. \times I_0\left(\frac{2q_i\sqrt{hd_{1i}d_{2i}}}{h + q_i^2}\right) + \frac{2q_i\sqrt{hd_{1i}d_{2i}}}{h + q_i^2} I_1\left(\frac{2q_i\sqrt{hd_{1i}d_{2i}}}{h + q_i^2}\right) \right]. \quad (5)$$

Здесь $I_0(x)$, $I_1(x)$ — модифицированные функции Бесселя; $h = \sigma_2^2 / \sigma_1^2$ — отношение дисперсий выходных напряжений в каналах приемника; $d_{vi} = s_{vi}^2 / 2 \sigma_i^2$ — отношение сигнал/помеха для сигнала $s_i(t) = \|s_{1i}(t); s_{2i}(t)\|$ в v -м канале, $i, v = 1, 2$.

Из (4), (5) видно, что для расчета средней вероятности ошибки различения (1) необходимо использовать численные методы. Однако если отношения сигнал/помеха в каналах приемного устройства велики, то выражение для средней вероятности ошибки различения можно существенно упростить:

$$P_e = \frac{P_1}{2} \left[\Phi \left(\frac{q_a \sqrt{2d_{11}} - \sqrt{2hd_{21}}}{\sqrt{h + q_a^2}} \right) + \Phi \left(\frac{q_b \sqrt{2d_{11}} - \sqrt{2hd_{21}}}{\sqrt{h + q_b^2}} \right) \right] + \frac{P_2}{2} \left[\Phi \left(\frac{\sqrt{2hd_{22}} - q_a \sqrt{2d_{12}}}{\sqrt{h + q_a^2}} \right) + \Phi \left(\frac{\sqrt{2hd_{22}} - q_b \sqrt{2d_{12}}}{\sqrt{h + q_b^2}} \right) \right], \quad (6)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-y^2/2} dy$. Формула (6) удобна в обращении и ее можно при-

менять в инженерных расчетах приемных устройств с цветными индикаторами.

Для экспериментальной проверки предложенного приближенного метода расчета характеристик рассматриваемого алгоритма различения использовался имитатор [8], в котором моделировалась аддитивная смесь помехи и различаемых поляризованных сигналов $s_1(t)$, $s_2(t)$, а также обработка смеси сигнал/помеха на видеочастоте в двухканальном приемнике с ЦЭЛТ. В оконечном звене приемного блока имитатора использовалась двухлучевая цветная трубка 20ЛМ1Е (параметр $\beta=2$). В условиях исследуемой задачи различения цветами эталонных отметок L_1 , L_2 являлись цвета люминофоров трубки — зеленый и оранжевый. Предварительно были определены значения цветовой пороговой чувствительности оператора δL и ее границ L_a , L_b . Методика их определения описана в [2]. В результате получены значения $\delta L=22,1$, $L_a=42,3$, $L_b=65,4$ при малом размере отметки (2×3 мм); $\delta L=17$, $L_a=45$, $L_b=62$ при большом размере отметки (4×8 мм).

В имитаторе были измерены значения средней вероятности ошибки различения двух ортогональных по поляризации сигналов в условиях действия гауссовской широкополосной помехи. Ортогональность обеспечивалась исключением одной из поляризационных компонент у различаемых сигналов. В силу этого цветности эталонных отметок L_1 , L_2 совпадали с цветностями люминофоров ЦЭЛТ 20ЛМ1Е. Для рассматриваемого случая различения ортогональных сигналов расчетная ф-ла (6) упрощается и при одинаковых априорных вероятностях их появления принимает вид

$$P_e = 1 - 0,5 \left[\Phi \left(\sqrt{\frac{2hd_{11}}{h + q_a^2}} \right) + \Phi \left(\sqrt{\frac{2hd_{11}}{h + q_b^2}} \right) + \Phi \left(\sqrt{\frac{2d_{12} q_a^2}{h + q_a^2}} \right) + \Phi \left(\sqrt{\frac{2d_{12} q_b^2}{h + q_b^2}} \right) \right], \quad (7)$$

где $d_{11} = z^2(1+h)/4h$, $d_{12} = z^2(1+h)/4$; $z^2 = (s_1^2 + s_2^2)/(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)$ — отношение суммарной мощности поляризационных компонент сигнала к суммарной средней мощности компонент помехи.

В экспериментальном определении зависимости средней вероятности ошибки различения P_e от отношения сигнал/помеха z участвовало пять операторов. Время экспозиции составляло в среднем 1—1,5 с. Число предъявлений отметок для каждого значения отношения сигнал/шум при $z \leq 3$ составляло 500, а при $z > 3$ — не менее 1000. На рисунке нанесены экспериментальные значения зависимости $P_e(z)$ для отметок с размерами 2×3 мм, когда параметр помехи $h=1$. Здесь же приведены рассчитанные по (7) теоретические кривые $P_e(z)$: для $\delta L=22,1$ (кривая 1), $\delta L=17$ (кривая 2), $\delta L=0$ (кривая 3). Пунктирная кривая рассчитана при $\beta=1$ и $\delta L=0$. Сравнение экспериментальных данных с теоретическими (кривая 1) показывает достаточно удовлетворительное их совпадение и позволяет сделать вывод о практической применимости предложенного приближенного метода расчета характеристик различения,

ЛИТЕРАТУРА

1. Техника систем индикации: Пер. с англ. под ред. А. Н. Шеманова и Н. И. Иванова. М.: Мир, 1970.
2. Попов Г. П. Инженерная психология в радиолокации. М.: Сов. радио, 1971.
3. Ангафоров А. П. Оконечные устройства приемников цветного телевидения. М.: Связь, 1971.
4. Бардин К. В. Проблема порогов чувствительности и психофизические методы. М.: Сов. радио, 1976.
5. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. М.: Сов. радио, 1966.
6. Поздняк С. И., Позин П. А., Сенаторов А. К. Известия вузов СССР, серия Радиотехника, 1974, т. 17, № 10.
7. Поздняк С. И., Мелитицкий В. А. Введение в статистическую теорию поляризации радиоволн. М.: Сов. радио, 1974.
8. Кононов А. Д., Сенаторов А. К., Шульженко С. Н. Межвузовский сб. Теория и практика радиополяриметрии. Таганрог: ТРТИ, 1976, вып. 1.

Сообщение поступило 28 сентября 1979 г.

АНТЕННО-ВОЛНОВОДНАЯ ТЕХНИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

УДК 621.396.677.4.012.001.5

М. Ю. КОМАРОВ, С. В. КРИЦКИЙ,
М. Т. НОВОСАРТОВ

СИНТЕЗ АНТЕНН МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ПАРЦИАЛЬНЫХ ДИАГРАММ

В теории синтеза антенн известен метод парциальных диаграмм, получивший широкое применение для приближенных расчетов антенн. Метод основан на разложении заданной диаграммы направленности (ДН) в ряд по функциям, образующим ортогональную систему, и имеет простое решение при ограничении ряда конечной суммой. Однако при этом возникает погрешность, которая в ряде случаев неприемлема. Ее можно уменьшить с помощью модифицированного метода парциальных диаграмм.

Представим синтезируемую диаграмму в виде суммы двух функций $F_1(u)$ и $F_2(u)$, каждая из которых допускает разложение по ортогональной системе парциальных диаграмм $\{\varphi_m(u)\}$ и $\{\psi_n(u)\}$ так, что при этом корни функций одной ортогональной системы находятся между корнями функций другой:

$$F(u) = \sum_{m=-M}^M A_m \varphi_m(u) + \sum_{n=-M}^{M-1} C_n \psi_n(u), \quad (1)$$

где M — целая часть L/λ ; $u = \frac{\pi L}{\lambda} \sin \theta$; L — длина антенны; λ — длина волны в свободном пространстве; θ — угол в градусах, отсчитываемый от нормали к антенне.

Для первой ортогональной системы возьмем известные [1, 2] функции вида $\varphi_m(u) = \sin(u - m\pi)/(u - m\pi)$, для второй используем функции вида $\psi_n(u) = \sin[u - (n + 0.5)\pi]/u - (n + 0.5)\pi$, аналогичные первым, но смещенные по оси u на 0.5π . Тогда решение интегрального уравнения [2] для линейного источника можно представить в виде суммы двух рядов Фурье:

$$f(y) = \sum_{m=-M}^M A_m e^{-1my\pi} + \sum_{n=-M}^{M-1} C_n e^{-1(n+0.5)y\pi},$$

где $A_m = A_m^{(1)} + A_m^{(2)} + \dots + A_m^{(k)}$; $C_n = C_n^{(1)} + C_n^{(2)} + \dots + C_n^{(k)}$; y — относительная текущая координата точки вдоль линейного источника, отсчитываемая от его центра.

Коэффициенты $A_m^{(k)}$ и $C_n^{(k)}$ находятся в процессе последовательного приближения $F(u)$ к заданной диаграмме $F_s(u)$. Коэффициенты $A_m^{(1)}$ равны значениям $F_s(u)$ в точ-