

The rigorous methods of disk dielectric resonators have not been realized. The main reason is that the natural oscillations of the resonator should be considered in an unlimited region and should satisfy the radiation condition at the infinity. The “whispering gallery” HE_{nm} oscillations were studied for various values of the azimuth index n . The attention was focused on the dependence of the resonance frequencies and radiation quality factors from the change of resonator thickness. Using the characteristic equation, an approximate formula, relating the resonance frequency with geometric and electrodynamic parameters of the resonator, was obtained. It was determined that the resonance frequencies, at which the tangential components of the electric field are close to zero on the side surface of the resonator, correspond to the values of the resonator thickness, at which a maximum radiation quality factor is observed

Keywords: resonator, frequency of oscillation, quality factor, spectrum, object, source

Характерною особливістю даної роботи є те, що в ній обговорюється вирішення задач розпізнавання заданих сигналів при автоматизованому радіоконтролі. Наводяться результати досліджень методів селекції та розпізнавання заданих сигналів, основаних на різних ймовірнісних моделях, зокрема, авторегресійних процесів і суміші розподілів сигналів

Ключові слова: сигнал, ймовірнісна модель, авторегресійний процес, суміш розподілів, метод розпізнавання, автоматизований радіоконтроль

Характерной особенностью данной работы является то, что в ней обсуждается решение задач распознавания заданных сигналов при автоматизированном радиоконтроле. Приводятся результаты исследований методов селекции и распознавания заданных сигналов, основанных на разных вероятностных моделях, в частности, авторегрессионных процессов и смеси распределений сигналов

Ключевые слова: сигнал, вероятностная модель, авторегрессионный процесс, смесь распределений, метод распознавания, автоматизированный радиоконтроль

УДК 621.391

РАСПОЗНАВАНИЕ ЗАДАНЫХ СИГНАЛОВ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАДИОКОНТРОЛЯ

В. М. Безрук

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой

Кафедра «Сети связи»

Харьковский национальный университет радиозлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

Контактный тел.: (057) 702-14-29

E-mail: bezruk@kture.kharkov.ua

О. Г. Лебедев

Кандидат технических наук

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба

ул. Сумская, 77/79, г. Харьков, Украина, 61023

Введение

В задачах автоматизированного радиоконтроля из-за действия помех и многих других неконтролируемых факторов поступающие на распознавание сигналы носят случайный характер с априори неизвестными статистическими характеристиками. Априорная неопределенность преодолевается с использованием обучающих выборок сигналов, которые используются для оценивания неизвестных статистических характеристик в рамках выбранной вероятностной модели сигналов. Однако специфика реальных задач распознавания такова, что кроме заданных сигналов на обработку могут поступать также неизвестные сигналы,

для которых не представляется возможным получить обучающих выборок.

В классических методах распознавания сигналов обычно полагается, что число проверяемых гипотез равно числу классов распознаваемых сигналов, заданных своими классифицированными выборками. При этом, когда наблюдается неизвестный сигнал, он будет ошибочно отнесен к одному из классов заданных сигналов. Чтобы исключить такую ошибку распознавания, сигнал, не принадлежащий к заданным сигналам, должен быть отнесен к классу неизвестных сигналов.

Таким образом, для решения реальных прикладных задачах распознавания существует необходимость применения нетрадиционных методов распознавания

сигналов, отличающихся от классических методов распознавания учетом класса неизвестных сигналов.

Решение таких нетрадиционных задач распознавания заданных случайных сигналов при наличии неизвестных сигналов рассматривалось в работе [1] при описании сигналов вероятностной моделью в виде ортогональных разложений случайных сигналов. Такие задачи обработки сигналов называются также задачами селекции и распознавания заданных сигналов.

В данной работе рассмотрены методы селекции и распознавания заданных случайных сигналов, основанные на других вероятностных моделях распознаваемых сигналов – в виде авторегрессионных процессов и смеси распределений случайных сигналов. Приведены некоторые результаты исследований методов селекции и распознавания заданных сигналов, которые получены на выборках радиосигналов, характерных для задач автоматизированного радиоконтроля.

2. Постановка и общее решение задачи селекции и распознавания заданных случайных сигналов

Полагается, что распознаваемые случайные сигналы представляются конечномерными векторами отсчетов ϵ , по реализациям которых принимаются решения. Полагается, что выдвигаются $(M+1)$ -а гипотезы, которые могут быть приняты в отношении наблюдаемых сигналов: $H^i, i = \overline{1, M}$ – для заданных сигналов, H^0 – для неизвестных сигналов, объединенных в $(M+1)$ -й класс. Плотности вероятности заданных случайных сигналов $W(\epsilon^i | H^i, \alpha^i), i = \overline{1, M}$ заданы с точностью до векторных параметров $\alpha^i, i = \overline{1, M}$, а для $(M+1)$ -го класса плотность вероятности неизвестна. Задаются также априорные вероятности гипотез $P(H^i) = P_i$, причем $\sum_{i=0}^M P_i = 1$. Полагается также, что могут быть получены классифицированные обучающие выборки M заданных сигналов $\{\epsilon_r^i, r = \overline{1, n_i}; i = \overline{1, M}\}$, которые могут быть использованы для оценивания неизвестных параметров плотностей распределений сигналов. Обучающая выборка для $(M+1)$ -го сигнала ($i=0$) отсутствует.

Показатель качества распознавания сигналов $k_s(\mathbf{a})$ при наличии всей необходимой информации о распознаваемых сигналах характеризуется средним риском

$$R = \sum_{i=0}^M \sum_{l=1}^M c_{li} P_i P\left(\frac{G^l}{i}\right) = \sum_{l=1}^M \sum_{i=1}^M c_{li} P_i P\left(\frac{G^i}{i}\right) + \sum_{i=1}^M c_{0i} P_i P\left(\frac{G^0}{i}\right) + P_0 \sum_{l=0}^M c_{l0} P\left(\frac{G^l}{0}\right), \tag{1}$$

где c_{li} – функция потерь; $P\left(\frac{G^l}{i}\right)$ – вероятность ошибки в случае принятия решения в пользу i -го сигнала при условии действия i -го сигнала.

Классическое нерандомизированное решающее правило выполняет разбиение выборочного пространства сигналов на $(M+1)$ -ну непересекающуюся область. С учетом этого в выражении (1) первое слагаемое – это составляющая среднего риска за счет

перепутывания M заданных сигналов между собой, второе слагаемое – за счет отнесения заданных сигналов к $(M+1)$ -му сигналу, третье слагаемое – за счет отнесения $(M+1)$ -го сигнала к заданным сигналам. В соответствии с имеющейся априорной информацией можно найти оценки первых двух составляющих в (1). Оценить величину третьей составляющей не представляется возможным. Для учета третьей составляющей можно ввести показатель объема критической области отклонения гипотезы H_0 о действии $(M+1)$ -го сигнала. Эта область имеет смысл собственной области M заданных сигналов.

При сформулированной постановке задачи распознавания заданных случайных сигналов можно получить решающее правило, которое в общем виде представляется соотношениями [1]:

$$H^0 : \max_{l=1, M} \{P_l W(\epsilon / \alpha^l)\} < \lambda \tag{2a}$$

- принимается гипотеза H^0 о действии $(M+1)$ -го класса неизвестных сигналов;

$$H^i : \max_{l=1, M} \{P_l W(\epsilon / \alpha^l)\} \geq \lambda, \tag{2б}$$

$$P_i W(\epsilon / \alpha^i) \geq P_l W(\epsilon / \alpha^l), l = \overline{1, M}, l \neq i \tag{2в}$$

- принимается гипотеза H^i о действии заданного i -го сигнала.

Здесь порог λ определяется из условия обеспечения заданной вероятности правильного распознавания заданных сигналов.

Заметим, что при получении этого решающего правила не использована информация о плотности распределения $(M+1)$ -го сигнала и не требовалась его обучающая выборка. Постановка и решение рассмотренной задачи - это формализация требования содержательного характера о необходимости распознать M заданных случайных сигналов и отнести в $(M+1)$ -й класс все неизвестные случайные сигналы, не заданные обучающими выборками.

В общем виде решающие правила распознавания заданных сигналов при наличии неизвестных сигналов основаны на построении собственных областей M заданных сигналов в выборочном пространстве сигналов. При попадании наблюдаемых реализаций в одну из собственных областей, принимается решение о действии заданного сигнала. В противном случае принимается решение о действии неизвестного сигнала.

Форма собственных областей определяется конкретными видами плотностей распределения для заданных сигналов и зависит от выбранной вероятностной модели сигналов. Рассмотрим методы селекции и распознавания заданных случайных сигналов, которые основаны на использовании для их описания разных вероятностных моделей сигналов.

3. Метод селекции и распознавания заданных радиосигналов на основе авторегрессионной модели

Для описания реальных сигналов с энергетическими спектрами, который характеризуется ярко выраженными экстремумами, может быть использована авторегрессионная (АР) модель. В частности, такими

сигналами являются радиосигналы с выхода радиоприемника при проведении автоматизированного радиоконтроля. Принимаемые радиосигналы носят псевдослучайный характер и определяются разными видами модуляции и передаваемыми сообщениями, а также помехами. При описании радиосигналов АР моделью и дополнительном предположении о гауссовой плотности распределения сигналов общий вид решающего правила селекции и распознавания заданных сигналов (2) конкретизируется и определяется соотношениями [2]:

$$H^i: K_k(\mathbf{x}) \leq \Lambda_k, \quad k = \overline{1, M}, \quad (3a)$$

$$K_k(\mathbf{x}) - K_i(\mathbf{x}) + \ln \frac{(2\pi\sigma_i)^{p_i-L}}{(2\pi\sigma_k)^{p_k-L}} \geq \ln \frac{P_k}{P_i}, \quad (3б)$$

$$H^{M+1}: K_k(\mathbf{x}) > \Lambda_k, \quad k = \overline{1, M}. \quad (3в)$$

Здесь

$$K_k(\mathbf{x}) = \frac{1}{2\sigma_k^2} \sum_{l=p+1}^L \left[x_l - \mu_k - \sum_{j=1}^{p_k} \phi_j^k(x_{l-j} - \mu_k) \right]^2;$$

$$\Lambda_k = \ln \frac{(2\pi)^{\frac{L}{2}} \sigma_k^{L-p_k}}{P_k} - \text{пороговые значения, определяемые}$$

из условия обеспечения заданных вероятностей правильного распознавания заданных сигналов; p_k, ϕ_j^k k – порядок и параметры АР модели для k -го сигнала; $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_L)$ – вектор отсчетов распознаваемого радиосигнала. Неизвестные параметры АР моделей радиосигналов можно оценить, в частности, из уравнения Юла–Уокера. Для этого с использованием классифицированных обучающих выборок заданных сигналов оцениваются корреляционные функции сигналов.

При распознавании сигналов с согласно (3) решение принимается в два этапа:

- при выполнении хотя бы одного из неравенств (3a), а также при выполнении системы неравенств (3б) решение принимается в пользу i -го заданного сигнала;

- когда выполняются все неравенства (3в), решение принимается в пользу $M+1$ -го класса неизвестных сигналов.

Исследование решающего правила (3) проведено с использованием выборок 10-ти радиосигналов с разными видами модуляции, характерными для типовых радиоизлучений, которые встречаются при решении задач автоматизированного радиоконтроля. Исследования показали, что для их описания является адекватной АР модель. Поэтому для решения задачи селекции и распознавания заданных радиосигналов может быть использовано решающее правило (3). Методом статистических испытаний проведены исследования показателей качества решения задачи селекции и распознавания заданных радиосигналов. Оценивались значения таких показателей качества: $P_{n/3}$ – средняя вероятность ошибочных решений о действии неизвестных радиосигналов из $M+1$ -го класса при условии предъявления M заданных радиосигналов; $P_{3/n}$ – средняя вероятность ошибочных решений о действии

M заданных радиосигналов при условии предъявления неизвестных радиосигналов из $M+1$ -го класса. В результате исследований получены значения оценок $P_{n/3}$ и $P_{3/n}$, не превышающие 0,05, что приемлемо для решения задач автоматизированного радиоконтроля.

4. Методы селекции и распознавания заданных видов модуляции радиосигналов на основе вероятностной модели в виде смесей распределений

При автоматизированном радиоконтроле важной задачей анализа новых обнаруженных радиоизлучений является селекция и распознавание заданных видов модуляции радиосигналов, то есть радиосигналов с заданными видами модуляции. Эта более сложная задача по сравнению с рассмотренной выше задачей селекции и распознавания заданных радиосигналов с фиксированными видами и параметрами модуляции. Сложность обусловлена тем, что здесь распознаванию подлежат целые классы сигналов – радиосигналы с заданными видами модуляции и разными значениями параметров модуляции. Распознавание видов модуляции радиосигналов при проведении автоматизированного радиоконтроля в реальных условиях затрудняется появлением радиосигналов с новыми неизвестными ранее видами модуляции.

Указанную задачу распознавания можно решать как задачу селекции и распознавания классов радиосигналов с заданными видами модуляции при наличии класса сигналов с неизвестными видами модуляции. При этом общее решающее правило селекции и распознавания заданных сигналов (2) может быть конкретизировано с учетом описания классов радиосигналов вероятностной моделью в виде смесей распределений для последовательности отсчетов квадратурных составляющих $\xi(k) = (A_c(k), A_s(k))$, $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$ с выхода цифрового радиоприемного устройства:

$$W(A_c) = \sum_{j=1}^Q q_j \frac{1}{\sigma_j \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(A_c - m_{cj})^2}{2\sigma_j^2} \right],$$

$$W(A_s) = \sum_{j=1}^Q q_j \frac{1}{\sigma_j \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(A_s - m_{sj})^2}{2\sigma_j^2} \right], \quad (4)$$

где $(q_j, j=1, Q)$ – дискретное взвешивающее распределение, определяющее вероятности компонент в смеси; $\sigma_j^2, m_{cj}, m_{sj}$ – соответственно дисперсии и математические ожидания квадратурных компонент.

Решение о виде модуляции радиосигналов принимается по $2N$ -мерному вектору \mathbf{z} независимых квадратурных составляющих сигналов $A_c(n)$ и $A_s(n)$ в два этапа:

- если хотя бы для одного значения $i = \overline{1, M}$ выполняется неравенство

$$P_i W(\xi/H^i, \alpha_i) \geq \lambda^i, \quad (5a)$$

то принимается решение в пользу M заданных видов модуляции радиосигналов и конкретно в пользу i -го вида модуляции при выполнении системы неравенств

$$P_i W(\xi/H^i, \alpha_i) \geq P_i W(\xi/H^i, \alpha_i), \quad (56)$$

$$l = \overline{1, M}, l \neq i,$$

- если же при всех $i = \overline{1, M}$ выполняются неравенства

$$P_i W(\xi/H^i, \alpha_i) < \lambda^i, \quad (5b)$$

то принимается решение в пользу $M+1$ -го класса радиосигналов с неизвестными видов модуляции.

Параметры вероятностной модели в виде смеси распределений сигналов – $q_j, j=1, Q, \sigma_j^2, m_{c_j}, m_{s_j}$ выбираются и оцениваются по классифицированным обучающим выборкам радиосигналов с заданными видами модуляции и допустимыми значениями параметров модуляции (скорости передачи, разнеса частот и т.д.).

Проведены исследования показателей качества распознавания заданных видов модуляции с помощью решающего правила (5) на выборках радиосигналов с разными видами модуляции: ЧМ2, АТ, КА16, ФМ2, ФМ4, ЧМ4. При исследованиях первые три вида

модуляции радиосигналов считались заданными, а остальные виды модуляции – неизвестными. Получены оценки вероятности правильного распознавания заданных видов модуляции радиосигналов не менее 0.9 при вероятности «ложных тревог» не более 0.02, что удовлетворяет требованиям автоматизированного радиоконтроля.

Выводы

Рассмотрены методы селекции и распознавания заданных сигналов при наличии неизвестных сигналов, которые основаны на разных вероятностных моделях сигналов, в частности, в виде авторегрессионных процессов и смеси распределений случайных сигналов. Приведены некоторые результаты исследований методов селекции и распознавания заданных сигналов, которые выполнены с использованием выборок радиосигналов, характерных для разных практических задач автоматизированного радиоконтроля.

Литература

1. Омельченко, В.А. Основы спектральной теории распознавания сигналов [Текст] / В.А. Омельченко. - Харьков: Вища школа, 1983. - 156с.
2. Безрук, В.М. Теоретические основы проектирования систем распознавания сигналов для автоматизированного радиоконтроля [Текст] / В.М. Безрук, Г.В. Певцов. - Харьков: Коллегиум, 2007. - 430с.

Abstract

In practice, besides the signals predetermined in a probabilistic sense, the unknown signals for which the learning sampling cannot be obtained. In this case the classical recognition methods cannot be used, this results in the need for development of nontraditional signals recognition methods taking into account the presence of the unknown signals class. The distinctive feature of the given work is the signals recognition methods concretizing for the case of the signals description with probabilistic models in the form of auto regression processes and mixtures of random signals. The decision results of the typical recognition problems in automated radio monitoring with using this recognition methods are considered. When solving the problems of the specified radio transmission types recognition, the decision rule based on the signals' auto regression model was used. Investigations were performed using the statistical simulation method with the samplings of radio signals for 10 different types of radio transmissions peculiar to the problems of the automated radio monitoring. The mean probability of correct recognition 0,95 was obtained. When solving another problem of radio monitoring - recognition of the type radio signals modulation - the decision rule, based on the type of the model of distributions' mixtures was used. Investigations were performed with the sampling of radio signals from 5 different types of modulation typical for radio monitoring. The mean probability of correct recognition 0.9 was obtained

Keywords: signal, probabilistic model, auto regression processes, mixtures of standard distributions, recognition method, automated radio monitoring