МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ ПРИ ИХ ОПИСАНИИ РАЗНЫМИ ВЕРОЯТНОСТНЫМИ МОДЕЛЯМИ

Безрук В.М.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
61166, Харьков, пр. Ленина,14, ХНУРЭ, тел. (057) 702-14-29
E-mail: bezruk@kture.kharkov.ua; факс (057) 702-91-13

The distinctive peculiarities of the present work is that it considers the solution of the preset random signals recognition problem in the presence of the unknown signals' class on the basis of the different probabilistic models (in the form Markov and autoregression processes, mixtures of standard distributions, expansions in orthogonal functions of random signals.

Введение. При решении многих прикладных задач распознавания объектов, явлений и их состояний по представляющим их сигналам на распознавание наряду с заданными в вероятностном смысле сигналами предъявляются также сигналы с неизвестными характеристиками. Это приводит к необходимости использования нетрадиционных методов распознавания сигналов, учитывающих наличие класса неизвестных сигналов. Подобная задача распознавания поставлена и решена в работе [1] для случая описания сигналов вероятностной моделью в виде ортогональных разложений. В данной работе рассмотрено общее решение задачи распознавания сигналов при неполном априорном описании, из которого вытекают решения частных практических задач распознавания - распознавания заданных сигналов при наличии класса неизвестных сигналов, а также выявление новых неизвестных сигналов. Приведена конкретизация методов распознавания сигналов для случая описания сигналов разными вероятностными моделями в виде Марковских и авторегрессионных процессов, смесей распределений и ортогональных разложений случайных сигналов.

Постановка задачи распознавания сигналов. Предположим, что распознаваемые сигналы представлены конечномерными случайными векторами ε, по реализациям которых принимаются решения. Зададим $(M+1)$ -у гипотезы, которые могут быть сделаны в отношении наблюдаемых сигналов: H^i, $i=\overline{1,M}$ - для заданных в вероятностном смысле сигналов, H^0 - для сигналов с неизвестными вероятностными характеристиками, которые объединены в $(M+1)$ -й класс. Плотности вероятности заданных сигналов $W(\varepsilon|,\alpha^i)$, $i=\overline{1,M}$ заданы с точностью до случайных векторных параметров α^i, $i=\overline{1,M}$, а для $(M+1)$ -го класса плотность вероятности неизвестна. Заданы также априорные вероятности гипотез $P(H^i)=P_i$, причем $\sum_{i=0}^{M} P_i = 1$. Полагается, что заданы обучающие выборки M заданных сигналов $\{\varepsilon_r^i,\ r=\overline{1,n_i};\ i=\overline{1,M}\}$, а обучающая выборка для $(M+1)$ -го неизвестных сигналов $(i=0)$ отсутствует либо она является непредставительной. Такие исходные данные для распознавания сигналов могут быть определены термином повышенная априорная неопределенность [1]. Оговоренные условия и ограничения определяют необходимость нетрадиционной постановки задачи распознавания сигналов в условиях повышенной априорной неопределенности.

Проанализируем вид показателя качества распознавания сигналов, характеризуемого средним риском

$$R=\sum_{l=0}^{M}\sum_{\substack{i=0\\ l\neq i}}^{M} c_{li}P_iP(G^l/i)=\sum_{i=1}^{M}\sum_{l=1}^{M} c_{li}P_iP(G^i/i)+\sum_{i=1}^{M} c_{0i}P_iP(G^0/i)+P_0\sum_{l=0}^{M} c_{l0}P(G^l/0), \quad (1)$$

где c_{li} - функция потерь; $P(G^l / i)$ - вероятность ошибки в случае принятия решения в пользу l -го сигнала при действии i -го сигнала.

Нерандомизированное решающее правило распознавания осуществляет 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 классу неизвестных сигналов, третье слагаемое – за счет отнесения сигналов из $(M+1)$ -го класса к M заданным сигналам.

В соответствии с имеющейся информацией в поставленной задаче распознавания можно найти оценки первых двух составляющих в (1), которые обозначим через $k_э(A)$, где **A** - вектор параметров распределений для заданных сигналов. Оценить величину третьей составляющей не представляется возможным. Для учета третьей составляющей предлагается ввести скалярный показатель $k_9(A)$ объема критической области $G = \bigcup_{i=1}^{M} G^i$ отклонения гипотезы H_0 о действии $(M+1)$ -го сигнала. Эта область имеет смысл собственной области M заданных сигналов. С содержательной точки зрения рассматриваемая задача распознавания заключается в принятии решения о действии M заданных сигналов при наличии класса неизвестных сигналов.

Решающие правила распознавания сигналов. С целью получения решающего правила для поставленной задачи распознавания сигналов вводится некоторый векторный критерий, определяемый совокупностью показателей, характеризующих качество распознавания сигналов для имеющейся повышенной априорной неопределенности

$$\vec{k} = (k_э(\mathbf{A}), k_9(\mathbf{A})).$$

Решая задачу оптимизации на условный экстремум методом множителей Лагранжа, можно получить следующее решающее правило распознавания сигналов [2]

$$H^0 : \max_{l=\overline{1,M}} \{P_l W(\varepsilon/\alpha^l)\} < \lambda \qquad (2а)$$

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

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

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

- 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 нахождении 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 сигналов и отнести в $(M+1)$ -й класс все остальные неизвестные сигналы, информация о которых недостаточна для их распознавания.

В частном случае решения задачи для простой функции потерь, когда вводятся потери лишь за счет перепутывание неизвестного сигнала с M заданными (безразлично, с каким конкретно) приходим к различению двух гипотез: H^i - о действии одного из M заданных сигналов; H^0 - о действии $(M+1)$ -го неизвестного сигнала. При этом можно получить следующее решающее правило [2] .

$$H^0 : \sum_{l=1}^{M} P_l W(\varepsilon / \alpha^l) \le \lambda,$$
$$H^i : \sum_{l=1}^{M} P_l W(\varepsilon / \alpha^l) > \lambda. \tag{3}$$

Здесь по существу, решается задача выделения (селекции) M заданных сигналов в условиях повышенной априорной неопределенности. Нетрудно видеть, что решающее правило (3) можно использовать и для решения иногда встречающейся на практике противоположной задачи – выделения (обнаружения) неизвестных сигналов.

Решающие правила (2), (3) дают общее решение поставленной задачи распознавания сигналов при наличии неизвестных сигналов. В данной работе приведена конкретизация решающих правил для описания распознаваемых сигналов разными вероятностными моделями в виде Марковских и авторегрессионных процессов, смеси распределений и ортогональных разложений случайных сигналов.

В частности, при выборе для описания сигналов вероятностной модели в виде гауссовских авторегрессионных процессов решающее правило распознавания (2) имеет следующий вид [3]

$$H^l : K_l(\vec{x}) < \Lambda_l, \quad l = \overline{1,M} \tag{4а}$$

$$K_l(\vec{x}) - K_i(\vec{x}) + \ln\frac{(2\pi\sigma_i)^{p_l - L}}{(2\pi\sigma_k)^{p_k - L}} \ge \ln\frac{P_l}{P_i}, \tag{4б}$$

$$H^{M+1} : K_l(\vec{x}) > \Lambda_l, \quad l = \overline{1,M}\,. \tag{4в}$$

Здесь $K_l(\vec{x}) = \frac{1}{2\sigma_l^2} \sum_{k=p+1}^{L} \left[x_k - \mu_l - \sum_{j=1}^{p_l} a_j^l (x_{k-j} - \mu_l) \right]^2$ - соотношение, определяющее нормированную ошибку предсказания в авторегрессионной модели; $\Lambda_l = \ln\frac{(2\pi)^{\frac{L}{2}} \sigma_l^{L-p_l} \lambda_l}{P_l}$ - некоторые пороговые значения, определяемые из условия обеспечения заданных вероятностей правильного распознавания заданных M сигналов; p_l, a_j^l - порядок и параметры авторегрессионной модели для l-го сигнала.

При использовании вероятностной модели сигналов в виде смеси гауссовских распределений решающее правило распознавания (2) имеет следующий вид [4]

$$H^0 : \max_{l=\overline{1,M}} \left\{ P_l \sum_{q=1}^{Q} g_m W_m(\varepsilon/\alpha^l) \right\} < \lambda \tag{5а}$$

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

$$H^i : \max_{l=\overline{1,M}} \left\{ P_l \sum_{q=1}^{Q} g_m W_m(\varepsilon/\alpha^l) \right\} \ge \lambda, \tag{5б}$$

$$P_i \sum_{q=1}^{Q} g_m W_m(\varepsilon/\alpha^l) \ge P_l \sum_{q=1}^{Q} g_m W_m(\varepsilon/\alpha^l), \quad l = \overline{1,M}, \quad l \ne i\,. \tag{5в}$$

Аналогично конкретизируется решающее правило (2), (3) с учетом особенностей вида плотностей распределения сигналов при выборе разных вероятностных моделей сигналов.

Применение решающих правил при решении прикладных задач распознавания. Для рассмотренных решающих правил распознавания заданных сигналов при наличии неизвестных сигналов исследованы практические особенности реализации и работы соответствующих устройств распознавания в режиме обучения и распознавания. Предложена методология оптимизации устройств распознавания по совокупности показателей качества распознавания, быстродействия и реализационных затрат. Исследованы рабочие характеристики распознавания, полученных методом статистического моделирования при решения ряда прикладных задач в области автоматизированного радиоконтроля, радиолокации и медицинской диагностики [3-6]. В частности, при решении задачи радиоконтроля - распознавания заданных типов радиопередач - использовано решающее правило (4), основанное на авторегрессионной модели сигналов, а при решении задачи распознавании видов модуляции радиосигналов – использовано решающее правило (5), основанное на модели в виде смеси распределений. При решении задач радиолокационного распознавания объектов по выборкам дальностных портретов использованы решающие правила, основанные на вероятностных моделях в виде ортогональных разложений, а также векторных авторегрессионных процессов. При решении задачи распознавания стадий сна по электроэнцефаллограммам для медицинской диагностики использовано решающее правило, основанное на авторегрессионной модели электроэнцефалограммам.

Литература

1. Омельченко В.А. Основы спектральной теории распознавания сигналов. - Харьков: Вища школа, 1983.-156с.
2. Омельченко В.А., Балабанов В.В., Безрук В.М., Омельченко А.В., Фефелов Н.А. Распознавание неполностью описанных случайных сигналов при наличии класса неизвестных сигналов //Отбор и обработка информации. - 1992.-Вып.8.-С.71-80.
3. Омельченко В.А., Безрук В.М., Коваленко Н.П. Распознавание заданных радиосигналов при наличии неизвестных сигналов на основе авторегрессионной модели // Радиотехника. - 2001.- Вып.123.-С.195-199.
4. Безрук В.М., Евсеев К.К., Чеботов А.В. Метод распознавания видов модуляции радиосигналов, описываемых вероятностной моделью в виде смеси распределений // Прикладная радиоэлектроника.- 2003.- №1.-С.26-31.
5. Безрук В.М., Лебедев О.Г.Метод радиолокационного распознавания типов объектов при широкополосном зондировании на основе векторной авторегрессионной модели сигналов //Прикладная радиоэлектроника.- 2005.- №2.-С.68-71.
6. Безрук В.М., Коваленко Н.П., Лысенко В.А. Об одном методе автоматизированного распознавания стадий сна по электроэнцефалограммам //Бионика интелекта. - 2004.- №1(61).-С.80-85.