

РАСПОЗНАВАНИЕ ЗАДАНЫХ СИГНАЛОВ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАДИОКОНТРОЛЯ

Безрук В.М., Каложный Н.М., Неофитный М.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, E-mail: valeriy_bezruk@ukr.net

Аннотация - В данной работе исследован метод селекции и распознавания заданных сигналов в условиях повышенной априорной неопределенности. Приведены результаты исследований решающего правила селекции и распознавания, основанного на описании сигналов вероятностной моделью в виде авторегрессионных процессов. Получена и проанализирована зависимость оценки средней вероятности ошибочного распознавания заданных сигналов от используемого порядка авторегрессионной модели.

Ключевые слова – автоматизированный радиоконтроль, распознавание сигналов, вероятность распознавания, авторегрессионная модель,

I. Введение

В целом задача радиоконтроля (РК) состоит в слежении за динамикой изменения электромагнитной обстановки в заданном частотном диапазоне [1]. Для решения задач РК используются специальные сканирующие приемники и соответствующие алгоритмы обработки выходных сигналов. Важными задачами обработки являются задачи селекции и распознавания заданных сигналов, которые соответствуют заданным радиоизлучениям (РИ) в анализируемых частотных каналах. Сложность решения этих задач определяется необходимостью обработки, как правило, случайных сигналов с неизвестными статистическими характеристиками. Априорная неопределенность обычно преодолевается использованием обучающих выборок сигналов для оценивания неизвестных статистических характеристик в рамках выбранной вероятностной модели сигналов. Однако специфика реальных задач обнаружения и распознавания сигналов при сканировании анализируемой полосы частот такова, что кроме заданных сигналов на обработку могут поступать также неизвестные сигналы, для которых не представляется возможным получить обучающие выборки.

В классических методах распознавания сигналов обычно полагается, что число проверяемых гипотез равно количеству классов распознаваемых сигналов, заданных своими классифицированными выборками реализаций. Когда наблюдается неизвестный сигнал, он будет ошибочно отнесен к одному из заданных классов сигналов. Чтобы исключить такую ошибку распознавания сигналов, должен быть введен класс неизвестных сигналов.

В данной работе рассматривается нетрадиционный метод селекции и распознавания заданных сигналов, который учитывает повышенную априорную неопределенность, связанную с появлением неизвестных сигналов наряду с заданными в статистическом смысле сигналами при проведении РК [2]. Приводятся результаты исследований предложенного решающего правила селекции и распознавания заданных случайных сигналов, которое основано на описании сигналов вероятностной моделью в виде авторегрессионных процессов.

II. Решающее правило селекции и распознавания заданных сигналов

Полагается, что распознаваемые сигналы представлены случайными L -мерными векторами \vec{x} , по реализациям которых принимаются решения. Задаются $(M+1)$ -а гипотезы, которые могут быть сделаны 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 сигналов $W(\vec{x}/\alpha^i), i = \overline{1, M}$ заданы с точностью до параметров $\alpha^i, i = \overline{1, M}$, а для $(M+1)$ -го класса плотность вероятности неизвестна. Заданы также априорные вероятности гипотез $P(H^i) = P_i$, причем $\sum_{i=0}^M P_i = 1$. Считается, что заданы обучающие выборки M заданных сигналов $\{\vec{x}_r^i, r = \overline{1, n_i}; i = \overline{1, M}\}$, а обучающая выборка для неизвестных сигналов из $(M+1)$ -го класса ($i = 0$) отсутствует либо является непредставительной.

Для решения такой нетрадиционной задачи селекции и распознавания заданных сигналов может быть использовано следующее решающее правило [2]:

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

$$H^0 : \max_{l=1, M} \{P_l W(\vec{x}/\alpha^l)\} < \lambda, \quad (1a)$$

- принимается гипотеза H^i о действии заданного i -го сигнала, если

$$H^i : \max_{l=1, M} \{P_l W(\vec{x}/\alpha^l)\} \geq \lambda, \quad (1b)$$

$$P_i W(\vec{x}/\alpha^i) \geq P_l W(\vec{x}/\alpha^l), \quad l = \overline{1, M}, \quad l \neq i. \quad (1в)$$

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

Следует заметить, что при синтезе этого решающего правила не использована информация о плотности распределения неизвестного сигнала их $(M+1)$ -го класса и не требуется 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 неизвестные сигналы, информация о которых недостаточна для их распознавания.

В случае синтеза решающего правила распознавания сигналов при простой функции потерь, когда вводятся потери лишь за счет перепутывание неизвестного сигнала с M заданными сигналами (безразлично, с каким конкретно), приходят к различению двух гипотез: H^i - о действии одного из M заданных сигналов; H^0 - о действии $(M+1)$ -го неизвестного сигнала. При этом получается решающее правило:

$$H^0 : \sum_{l=1}^M P_l W(\vec{x}/\alpha^l) \leq \lambda, \quad H^i : \sum_{l=1}^M P_l W(\vec{x}/\alpha^l) > \lambda, \quad (2)$$

которое дает возможность решать задачу селекции (выделения) M заданных сигналов, а также противоположной задачи – выявления (обнаружения) неизвестных сигналов.

В работе [2] приведена конкретизация решающего правила (1) при описании распознаваемых сигналов разными вероятностными моделями в виде ортогональных разложений, смеси распределений и др. В частности, при выборе для описания сигналов вероятностной модели в виде гауссовских авторегрессионных процессов решающее правило

селекции и распознавания заданных сигналов (1) принимает следующий вид:

$$H^l : K_l(\vec{x}) < \Lambda_l, \quad l = \overline{1, M} \quad (3a)$$

$$K_l(\vec{x}) - K_l(\vec{x}) + \ln \frac{(2\pi\sigma_l)^{p_l-L}}{(2\pi\sigma_k)^{p_k-L}} \geq \ln \frac{P_l}{P_k}, \quad (3б)$$

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

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; μ_l, σ_l - математическое ожидание и дисперсия заданных сигналов;

$$\Lambda_l = \ln \frac{(2\pi)^{\frac{L}{2}} \sigma_l^{L-p_l} \lambda_l}{P_l} - \text{некоторые пороговые значения,}$$

определяемые из условия обеспечения вероятностей правильного распознавания заданных M сигналов; p_l, a_j^l - порядки и параметры авторегрессионной модели для l -го сигнала, которые оцениваются по обучающим выборкам сигналов заданных сигналов.

III. Результаты исследований задачи распознавания заданных РИ

Приведем некоторые результаты исследований решающего правила распознавания (3), которые получены методом статистического моделирования на выборках реализаций для 10 типов сигналов, соответствующих РИ с различным видом модуляции (в частности, бинарная и многопозиционная амплитудная, частотная, фазовая модуляции), которые характерны для задач РК. Размерность исходного описания сигналов составляла $L = 512$, а объемы обучающих и контрольных выборок использовались по 1000 реализаций для каждого сигнала.

Получена зависимость оценки средней вероятности ошибочного распознавания заданных сигналов $P_{io\text{ ср.}}$ от используемого порядка авторегрессионной модели p . Получено, что для порядка модели $p=20$ достигается достаточно высокое качество распознавания сигналов (оценки средней вероятности ошибочного распознавания сигналов $P_{io\text{ ср.}}$ не превышали значения 0,05. Дальнейшее увеличение порядка модели p лишь незначительно снижает $P_{io\text{ ср.}}$, что свидетельствует о достаточно высокой информативности описания сигналов авторегрессионной моделью.

Исследованы также показатели качества решения задачи селекции и распознавания M заданных сигналов при наличии сигналов из $M+1$ -го класса неизвестных с применением решающего правила (3). В качестве M заданных сигналов использовались 5 сигналов, остальные 5 сигналов представляли собой $M+1$ -й класс неизвестных сигналов. Оценивались

такие показатели качества распознавания: $P_{n/3}$ - вероятность принятия ошибочных решений о действии неизвестных сигналов из $M+1$ -го класса при условии предъявления M заданных сигналов; $P_{3/n}$ - вероятность ошибочных решений о действии M заданных сигналов при условии предъявления неизвестных сигналов из $M+1$ -го класса. В результате исследований получены диаграммы обмена показателей качества распознавания в виде зависимости оценок $P_{n/3}$ от $P_{3/n}$ при различных длительностях реализаций сигналов $L=256$ и $L=512$ (рис. 1).

Эти зависимости показывают, что уменьшение потенциально возможного значения одного из показателей качества распознавания может быть достигнуто лишь за счет ухудшения значения другого показателя.

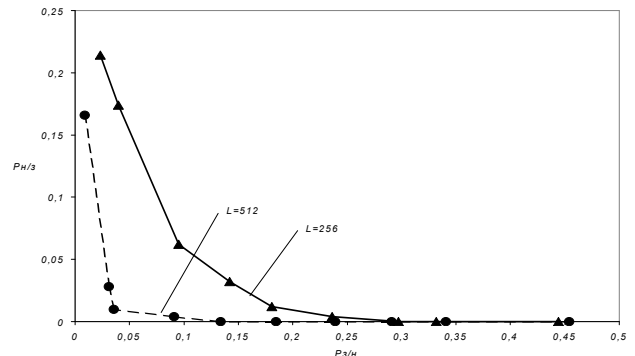


Рис. 1 Диаграммы обмена показателей качества распознавания

Результаты исследований подтверждают работоспособность предложенного решающего правила селекции и распознавания заданных сигналов, основанного на их описании вероятностной модели в виде авторегрессионной модели. Полученное качество распознавания РИ приемлемо для решения задач автоматизированного РК.

IV. Список литературы

- [1] Слободянюк П.В., Благодарный В.Г. «Радиомониторинг: вчера, сегодня, завтра (Теория и практика построения системы радиомониторинга)». - Прилуки: ООО «Издательство «Аір-Поліграф», 2010. - 296 с.
- [2] Безрук В.М., Певцов Г.В. «Теоретические основы проектирования систем распознавания сигналов для автоматизированного радиоконтроля». - Харьков: Коллегиум, 2007. - 430 с.
- [3] Благодарный В.Г., Бондарчук В.Т., Каложний М.М. та ін. під загальною редакцією Слободянюка П.В. «Автоматизована система радіочастотного моніторингу у смугах радіочастот загального користування». - Київ, ТехноПоліграф, 2014. - 160 с.