

МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЕ СИГНАЛОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАДИОКОНТРОЛЯ

Безрук В.М.¹, Певцов Г.В.²

¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
61166, Харьков, пр. Ленина, каф. сетей связи, тел. (057) 702-14-29,

E-mail: bezruk@kture.kharkov.ua; факс (057) 702-11-13

²Харьковский университет Воздушных сил
61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79, тел. (057) 700-24-65

The article treats the problems of synthesis and analysis of the system of signals recognition under a priori uncertainty conditions with a complicated standard description using modern probabilistic models. A wide range of problems of signal recognition systems design for non-traditional signal-noise conditions common to automated radio monitoring is touched upon.

Введение: Автоматизированный радиоконтроль (РК) основан на решении сложной задачи пространственно-спектрально-временной обработки радиоизлучений (РИ) в широком диапазоне частот. Для упрощения проводится декомпозиция этой задачи на ряд относительно самостоятельных задач обработки сигналов, в частности: селекция и распознавание заданных видов РИ, выявление новых неизвестных РИ, распознавание видов и оценивание параметров модуляции новых неизвестных РИ, распознавание источников радиоизлучений.

Из-за действия помех и многих других неконтролируемых факторов обрабатываемые сигналы носят случайный характер с априори неизвестными статистическими характеристиками. При РК на обработку поступает множество неизвестных сигналов, для которых не всегда можно получить классифицированные обучающие выборки. В настоящее время наблюдается постоянное развитие и усложнение контролируемых радиоэлектронных средств и систем с новыми сложными видами модуляции сигналов. При этом возникает необходимость использования при синтезе систем распознавания сигналов сложного эталонного описания, а также сложных вероятностных моделей, адекватных реальным задачам РК. Практически особенности работы средств РК определяют необходимость конструктивного учета при их проектировании совокупности показателей качества распознавания сигналов, быстродействия, затрат на реализацию.

Изложенное определяет необходимость дальнейшего развития статистических методов распознавания сигналов в условиях априорной неопределенности на случай использования сложного эталонного описания, а также современных вероятностных моделей для решения задач автоматизированного РК [1]. В данном докладе рассматриваются некоторые нетрадиционные методы распознавания сигналов, предназначенные для решения задач РК.

Методы распознавания сигналов, заданных сложным эталонным описанием

Отличительной чертой задач распознавания сигналов и их источников, возникающих при ведении РК, является необходимость выделения признаков образов и принятия решения на выходе устройств первичной обработки сигналов (поиска сигналов по времени и частоте, по направлению, селекции и т.п.). Эти устройства обычно предназначены для выполнения широкого круга функций. В пространстве признаков сложно выбрать оптимальные координаты и получить непересекающиеся множества S_i , однозначно определяющие распознаваемые образы (классы) U_i , $i \in \{1, 2, \dots, L\}$. Неоптимальность словаря признаков обуславливает повышенные требования к эффективности правил выбора решения, синтезируемых в процессе оптимизации системы распознавания сигналов, и затрудняет непосредственное применение известных алгоритмов проверки гипотез.

Кроме того, особенностью выполнения процедуры принятия решения при ведении РК является большое разнообразие обрабатываемых сигналов, которые могут передаваться в непрерывной и дискретной форме, переносить информацию в аналоговом и цифровом виде. Распознаваемые образы (радиоизлучающие объекты) обычно имеют сложный состав и могут трактоваться как группа сигналов (группа объектов распознавания).

При применении традиционных алгоритмов распознавания для решения перечислен-

ных выше задач, специалисты в области автоматизированного распознавания образов используют следующие основные подходы:

- задают равномерные на интервалах возможных значений априорные распределения признаков сигналов, абстрагируясь от нормального, в большинстве случаев, характера распределения наблюдений каждого из объектов распознавания u_{in} , входящих в образ U_i ;
- определяют интервалы возможных значений эталонных описаний образов граничными объектами распознавания. Изображения, соответствующие граничным объектам распознавания, считают распределенными по нормальному закону;
- описывают априорное распределение признаков распознаваемых образов ограниченным нормальным или другими аналогичными законами, или их композицией.

Разработанные в соответствии с перечисленными подходами квазиоптимальные алгоритмы распознавания обычно в принципе решают поставленную задачу, однако требуют принятия промежуточных решений, что приводит к большому количеству операций алгоритма и трудностям прогнозирования достигаемого качества распознавания.

Особенности распознавания образов при ведении автоматизированного РК отражает следующий способ сложного эталонного описания: каждому из образов (контролируемых источников РИ) ставится в соответствие множество разнотипных объектов распознавания (отдельных видов сигналов), заданных частотными, временными, пространственными и другими признаками. Эталоны образов представляют собой совокупности возможных значений или (и) интервалов возможных значений их признаков. При этом интервалы возможных эталонных значений признаков сигналов могут быть как пересекающимися, так и непересекающимися. В силу объективных факторов, дестабилизирующих процесс распознавания образов, наблюдения в каждом изображении объекта распознавания имеют некоторое распределение (как правило, можно считать гауссовским).

Пусть распознаваемые образы $U_1, U_2, \dots, U_L$, представляют собой множества объектов распознавания $U_i = \{u_{in}\}$, $i \in \{1, 2, \dots, L\}$, $n \in N_i$, где N_i – множество индексов, число элементов v_i которых равно числу типов радиоизлучений, наблюдаемых в i -м образе. Каждому образу а priori могут соответствовать один или несколько интервалов эталонных значений и (или) одно или несколько дискретных эталонных значений признаков. Каждый из образов задан своим эталонным описанием в метрике признака s . Эталонные описания образов представляют собой полученные в результате обучения алгоритма априорные плотности вероятности смешанного типа $w_i(s)$ эталонных значений признака s на множестве U_i , которые определим суммами

$$w_i(s) = \sum_{r=1}^{R_i} I_{ir} p_{ir} w_{ir}(s, s'_{ir}, s''_{ir}) + \sum_{d=1}^{D_i} I_{id} p_{id} \delta(s - s_{id}), \quad (1)$$

$$\sum_{r=1}^{R_i} p_{ir} + \sum_{d=1}^{D_i} p_{id} = 1, \sum_{r=1}^{R_i} I_{ir} p_{ir} + \sum_{d=1}^{D_i} I_{id} p_{id} = 1, \forall i \in \{1, 2, \dots, L\} \quad (2)$$

R_i взвешенных плотностей вероятности $w_{ir}(s, s'_{ir}, s''_{ir})$ эталонного распределения признака s на каждом r -м интервале возможных значений $[s'_{ir}, s''_{ir}]$ и D_i функций Дирака $\delta(s - s_{id})$, соответствуют дискретным эталонным значениям признака s , где p_{ir} и p_{id} – априорные условные вероятности того, что при наблюдении образа U_i выборка x признака s будет принадлежать r -му интервалу, $r \in \{1, 2, \dots, R_i\}$, или иметь d -е значение, $d \in \{1, 2, \dots, D_i\}$. Можно положить, что один эталонный интервал или одно эталонное значение признака s в одном образе задает не более одного объекта распознавания, т.е. $R_i + D_i \leq v_i$. Возможную ситуацию отсутствия в модели (1) плотности $w_{ir}(s, s'_{ir}, s''_{ir})$ или функции $\delta(s - s_{id})$ будем обозначать как $R=0$ и $D=0$, соответственно. В каждое из слагаемых (1) введен коэффициент $I_{ir(d)} \in [0, 1]$, характеризующий относительную степень информативности каждого интервала эталонных значений и дискретного эталонного значений признака.

С точки зрения математической статистики задача распознавания образов, заданных сложными эталонными описаниями, относится к классу задач проверки сложных гипотез. В работе рассмотрены особенности решения задач распознавания применительно

к особенностям построения эталонных описаний образов в системах распознавания сигналов для решения задач РК. Синтезированы алгоритмы распознавания сигналов на основе введенного сложного эталонного описания распознаваемых образов.

Методы распознавания сигналов при разных вероятностных моделях

В реальных прикладных задачах РК возникают ситуации, когда наблюдаемый сигнал может не принадлежать к числу заданных классов и должен быть отнесен к $(M+1)$ -му незаданному в статистическом смысле классу неизвестных сигналов. В данной работе рассмотрены особенности распознавания сигналов в условиях повышенной априорной неопределенности на основе использования разных вероятностных моделей сигналов.

Полагается, что распознаваемые сигналы представлены конечномерными случайными векторами некоторых статистик ϵ , по реализациям которых принимаются решения. Задаются $(M+1)$ -у 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 $W(\epsilon^i | H^i, \alpha^i), i = \overline{1, M}$ заданы с точностью до случайных векторных 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 $\sum_{i=0}^M P_i = 1$. Полагается также, что заданы обучающие выборки M сигналов $\{\epsilon_r^i, r = \overline{1, n_i}; i = \overline{1, M}\}$, а обучающая выборка для $(M+1)$ -го сигнала ($i = 0$) отсутствует либо является непредставительной.

Традиционное нерандомизированное решающее правило осуществляет разбиение выборочного пространства сигналов на $(M+1)$ -ну непересекающуюся область. В данной работе предлагается решающие правила распознавания заданных сигналов при наличии неизвестных сигналов строить на основе на построении собственных областей M заданных сигналов в выборочном пространстве сигналов или их информативных признаков. При попадании реализаций некоторых статистик наблюдаемого сигнала в одну из собственных областей, принимается решение о действии заданного сигнала. В противном случае принимается решение о действии неизвестного сигнала. Форма собственных областей заданных сигналов зависит от конкретного вида плотностей распределения, в свою очередь определяемых выбранной вероятностной моделью сигналов. Приведем конкретизацию решающих методов распознавания сигналов, основанные на использовании некоторых вероятностных моделей сигналов.

Для описания реальных РИ, представленных энергетическими спектрами, с ярко выраженными экстремумами, может быть использована авторегрессионная (АР) модель. При этом решающее правило распознавания заданных радиосигналов с учетом соответствующего выражения для плотности вероятности гауссовских авторегрессионных последовательностей определяется соотношениями:

$$H^i: K_k(\mathbf{x}) \leq \Lambda_k, \quad k = \overline{1, M}, \quad (3a) \quad K_k(\mathbf{x}) = K_i(\mathbf{x}) + \ln \frac{(2\pi\sigma_i)^{p_i-L}}{(2\pi\sigma_k)^{p_k-L}} \geq \ln \frac{P_k}{P_i}, \quad (36)$$

$$H^{M+1}: K_k(\mathbf{x}) > \Lambda_k, \quad k = \overline{1, M}. \quad (3b) \quad K_k(\mathbf{x}) = \frac{1}{2\sigma_k^2} \sum_{l=p+1}^L \left[x_l - \mu_k - \sum_{j=1}^{p_k} \phi_j^k(x_{l-j} - \mu_k) \right]^2; \quad (3r)$$

$\Lambda_k = \ln \frac{(2\pi)^{\frac{L}{2}} \sigma_k^{L-p_k} \lambda_k}{P_k}$ – пороговые значения, определяемые из условия обеспечения заданных вероятностей правильного распознавания заданных сигналов; p_k, a_j^k – порядок и параметры АР модели для k -го сигнала.

Согласно этому правилу, решение в пользу i -го заданного радиосигнала принимается в два этапа: при выполнении хотя бы одного из неравенств (3a), а также при вы-

полнении системы неравенств (3б). Когда выполняются неравенства (3в), решение принимается в пользу неизвестных сигналов из $M + 1$ -го класса.

В результате исследований получено, что для многих практических задач РК порядок АР модели для описания реальных сигналов p оказывается небольшим (единицы, десятки) при длине наблюдаемой последовательности отсчетов сигналов L , достигающей сотен и даже тысяч. Это позволяет получить «экономное» описание сигналов с точки зрения реализационных затрат. Исследованы показатели качества решения задачи распознавания M заданных радиосигналов при наличии радиосигналов из $M + 1$ -го класса.

В условиях возрастающей загрузки радиодиапазонов при автоматизированном РК важной задачей является распознавание видов модуляции (ВМ) новых РИ. Указанную задачу предлагается решать как задачу распознавания классов радиосигналов с известными ВМ при наличии класса сигналов с неизвестными ВМ. При этом вид решающего правила распознавания сигналов конкретизирован с учетом описания классов радиосигналов с заданными ВМ вероятностной моделью в виде смесей гауссовских распределений с параметрами $q_j, j = 1, Q, \sigma_j^2, m_{cj}, m_{sj}$

При этом решение о ВМ радиосигналов принимается в два этапа по $2N$ -мерному векторам ξ из независимых квадратурных составляющих сигналов $A_c(n)$ и $A_s(n)$, плотность вероятности которых описываемых смесями гауссовских распределений:

1) если хотя бы для одного значения $i (i = \overline{1, M})$ выполняется неравенство $P_i W(\xi/H^i, \alpha_i) \geq \lambda^i$, (4а) принимается решение в пользу M заданных ВМ радиосигналов; если же при всех $i = \overline{1, M}$ $P_i W(\xi/H^i, \alpha_i) < \lambda^i$, (4б) принимается решение в пользу $M + 1$ -го класса сигналов с неизвестными ВМ;

2) при выполнении неравенства (4а) на втором этапе производится распознавание заданных ВМ радиосигналов, т.е. принимается решение в пользу i -го сигнала при выполнении системы неравенств $P_l W(\xi/H^l, \alpha_l) \geq P_i W(\xi/H^i, \alpha_i), l = \overline{1, M}, l \neq i$. (4а)

Пороговые значения λ^i определяются из условия обеспечения требуемой вероятности правильного распознавания i -го ВМ радиосигнала. Параметры такой вероятностной модели – $q_j, j = 1, Q, \sigma_j^2, m_{cj}, m_{sj}$ выбираются и оцениваются по обучающим выборкам радиосигналов конкретно для каждого ВМ и допустимого множества значений параметров модуляции (скорости передачи, разнеса частот и т.д.). Адекватность выбранной модели для описания радиосигналов с разным ВМ подтверждается приемлемыми значениями показателей качества решения поставленной задачи распознавания ВМ, полученными в результате исследований на модельных и реальных сигналах.

Литература:

1. Безрук В.М., Певцов Г.В. Теоретические основы проектирования систем распознавания сигналов для автоматизированного радиоконтроля: Монография. - Харьков: Коллегиум, 2007.- 430 с.