

СОВМЕСТНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ, ПЕЛЕНГОВАНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РАДИОКОНТРОЛЕ

Чеботов А.В.¹, Безрук В.М.²

¹ООО «Научно-технический центр радиотехнических систем Академии наук Прикладной Радиоэлектроники»
61001, Харьков, пл. Восстания, 7/8, тел.+380 (57) 7545681
E-mail: ntcrts@ic.kharkov.ua

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, кафедра «Сети связи», тел. +380 (57) 7021429
E-mail: bezruk@kture.kharkov.ua

The given work considered methods and algorithms of combined detection, direction finding and identification radio emitters for task solution of radiomonitoring automatized. Descriptions given for structures and technical specifications of some stations and complexes, produced on base theirs.

1. Введение

Для проведения РК требуется создание сложных автоматизированных комплексов РК, включающих сканирующие цифровые радиоприемники, радиопеленгаторы, устройства анализа, обработки и распознавания сигналов. Проводимый анализ при РК обычно включает измерение спектра РИ и определение направления прихода РИ, распознавание типа радиопередачи (РП) для ранее известных РИ, распознавания вида и оценивания параметров модуляции для новых неизвестных РИ. Проведение РК в целом представляет собой сложную задачу пространственно-временной обработки сигналов, которая разбивается на ряд частных задач обработки.

В условиях постоянного совершенствования контролируемых средств радиосвязи возрастают требования к комплексам автоматизированного РК, что определяет необходимость привлечения современных достижений в области обработки сигналов. В настоящей работе приведены решения типовых задач обработки сигналов, в которых необходимо принятие совместных решений при проведении РК. В частности, рассмотрены алгоритмы работы и структура систем для совместного решения задач обнаружения, оценивания направления прихода и распознавания РИ.

2. Совместное обнаружение и пеленгование РИ

Выходной сигнал в станции обнаружения и пеленгования РИ представляет собой векторный случайный процесс $\vec{x}(t) = (x_1(t), \dots, x_v(t), \dots, x_K(t))$, $0 \leq t \leq T$. Введем две гипотезы, которые соответствуют отсутствию и наличию полезного сигнала в аддитивной смеси с помехой, $H_0: \vec{x}(t) = \vec{\zeta}(t)$, $H_1: \vec{x}(t) = \vec{s}_i(t, \theta_i) + \vec{\zeta}(t)$. Здесь λ - некоторый параметр, определяемый направлением прихода РИ. Гипотезы составляют полную группу случайных событий при наблюдении процесса $\vec{x}(t)$ с вероятностями p_i ($p_0 + p_1 = 1$). Рассмотрено решение задачи совместного обнаружения РИ и оценивания направления его прихода в предположении, что система наблюдения в станции обнаружения и пеленгования содержит три канала ($K=3$) и состоит из двух взаимно перпендикулярных рамочных и одной штыревой ненаправленной антенн. Предположим также, что сигналом является гармоническое колебание, а помехой являются гауссовские аддитивные шумы. Двухфункциональный байесовский алгоритм совместного обнаружения $d_{p,0}$ и оценивания направления прихода РИ θ_0 представляется соотношениями [1]:

$$d_{p, o}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3) = \begin{cases} 1, & \text{если } l(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3) \geq c_6, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

$$\theta_6(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3) = \int_0^{2\pi} \theta W(\theta | \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3) d\theta. \quad (2)$$

Здесь $W(\theta | \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3)$ - апостериорная плотность вероятности параметра θ , вычисляемая в предположении наличия сигнала; $l(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3)$ - усредненное по совместному распределению параметров θ отношение правдоподобия.

Особенностью данного двухфункционального алгоритма обнаружения-оценивания является то, что выдача решения об обнаружении и оценивании направления прихода РИ взаимосвязаны между собой. Пороговое значение c_6 при обнаружении зависит от среднеквадратической ошибки оценивания угла прихода РИ θ_6 . При увеличении этой ошибки порог увеличивается, что уменьшает вероятность принятия гипотезы о присутствии РИ. Кроме того выдача оценки об угле прихода РИ θ_6 производится лишь после принятия гипотезы о наличии РИ.

Селекция и распознавание заданных РИ

В реальных прикладных задачах РК возникают ситуации, когда наблюдаемое РИ может не принадлежать к числу заданных классов и должен быть отнесен к $(M+1)$ -му незаданному в статистическом смысле РИ. Рассмотрены особенности распознавания сигналов РИ при 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 $(M+1)$ -е 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 не представительной.

При этом решение о заданных видах РИ принимается в два этапа по $2N$ -мерному векторам ξ сигналов, плотность вероятности которых описываемых плотностям и вероятности сигналов $W(\epsilon^i | H^i, \alpha^i), i = \overline{1, M}$:

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 $P_i W(\xi/H^i, \alpha_i) \geq P_l W(\xi/H^l, \alpha_l), l = \overline{1, M}, l \neq i. (4а)$

Пороговые значения λ^i определяются из условия обеспечения требуемой вероятности правильного распознавания i -го радиосигнала. Неизвестные параметры распределений оцениваются по обучающим выборкам радиосигналов конкретно для каждого РИ подтверждается приемлемыми значениями показателей качества решения поставленной задачи распознавания ВМ, полученными в результате исследований на модельных и реальных сигналах.

3. Применение методов совместного обнаружения, оценивания параметров и распознавания сигналов при решении задач РК

Рассмотренные выше методы совместной обработки сигналов были положены в основу практически реализованных методов и алгоритмов совместного обнаружения, оценивания параметров и распознавания сигналов для решения различных задач автоматизированного РК.

Предложен и исследован метод выявления и пеленгования новых неизвестных РИ. Этот метод основан на решении задачи обнаружения сигналов с неизвестными вероятностными характеристиками на фоне станционной помехи, заданной своей обучающей выборкой. Было проведено моделирование вероятностных характеристик обнаружения (Робн) для трех типов систем РК VHF-UHF диапазона:

1) одноканальная система с энергетическим обнаружением сигнала, используемым в традиционных системах РК с панорамным обзором частот на основе FFT-процессора;

2) трехканальная система на основе метода Watson-Watt с совместным обнаружением-пеленгованием сигнала;

3) пятиканальная система на основе кольцевой антенной решетки (КАР) с квази-оптимальной обработкой пространственных каналов и совместным обнаружением-пеленгованием сигнала;

Исследования систем РК проводились при пороге установленном для $P_{лт}=0.01$ и следующими исходными параметрами:

1) разрядность представления группового сигнала в полосе обзора частот 10 МГц – 14 бит;

2) разрешающая способность FFT-преобразования – 25 кГц,

3) длительность частотно-временного раstra – 30 реализаций (т.е время наблюдения сигнала 1.2 мс).

Результаты исследования представлены на рис.1 в виде графиков зависимости вероятностных характеристик обнаружения сигналов от соотношения сигнал/шум для всех трех систем РК, объем выборки, по которому была получена оценка Робн, для каждой системы РК составлял 400 отсчетов.

Для системы РК №3 дополнительно проводились исследования реальных вероятностных характеристик в условиях воздействия радиоэфира отдельно в VHF (130-180 МГц) и UHF (400-460 МГц) диапазонах частот при различном частотном разрешении FFT. В качестве испытательного сигнала в эфир подавался сигнал немодулированной несущей на случайно выбранной частоте в пределах исследуемого диапазона частот.

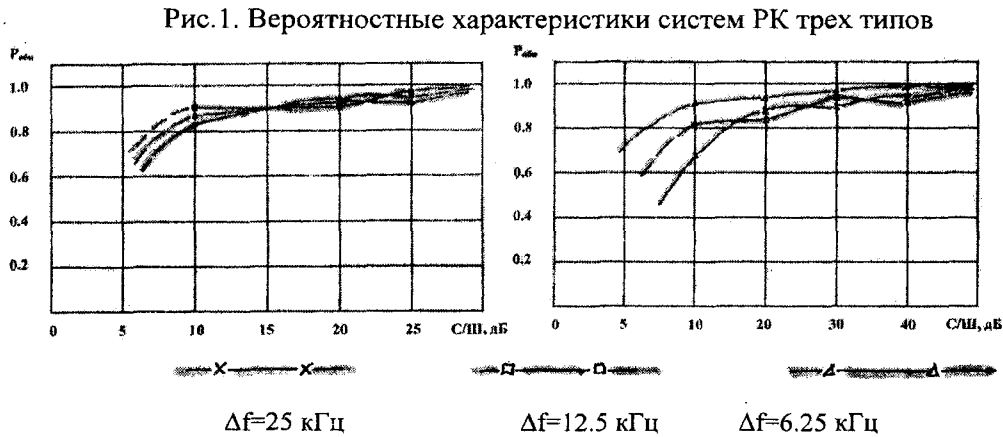
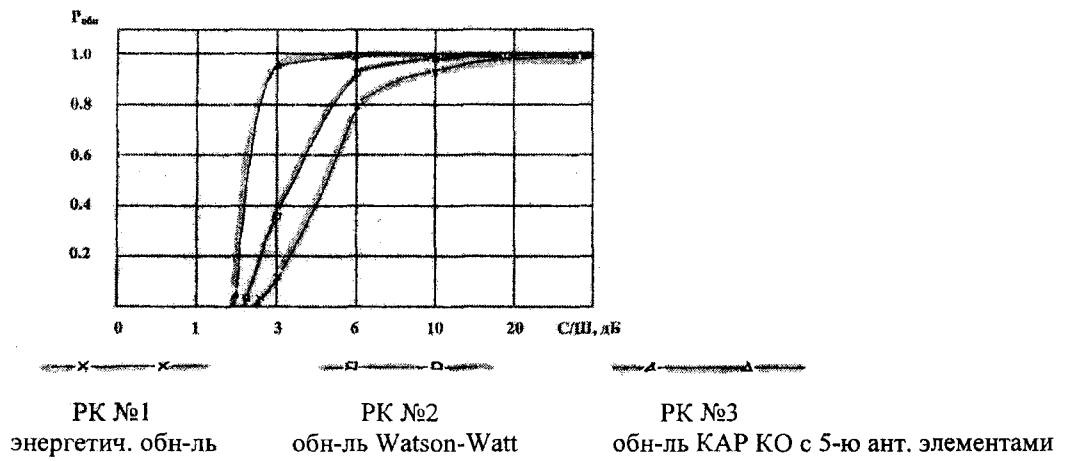


Рис.2. Вероятностные характеристики системы РК №3 в условиях реального радиоэфира диапазона частот 130-180 МГц

Рассмотрен алгоритм совместно оптимального обнаружения и оценивания направления прихода сигналов, в котором выдача решений по обнаружению и оцениванию параметров сигналов связана между собой. Применение такого двухфункционального алгоритма обнаружения и оценивания параметров сигналов повышает эффективность решения как задачи обнаружения, так и задачи оценивания параметров сигналов в комплексах автоматизированного РК, таких как «Барвинок-М», «Восток».

Литература

1. Трифонов А.П., Шинаков Ю.С. Совместное различение сигналов и оценка их параметров на фоне помех. - М.: Радио и связь, 1986. – 256 с.
2. Безрук В.М., Певцов Г.В. Теоретические основы проектирования систем распознавания сигналов для автоматизированного радиоконтроля: Монография. - Харьков: Коллегиум, 2007.- 430 с.
3. Чеботов А.В., Калугин В.В. Станция обнаружения кратковременных радиоизлучений ВЧ-диапазона "Восток-О" //Прикладная радиоэлектроника. – 2006. – Том.5. №.3. - С. 390-394.
4. Калугин В.В., Чеботов А.В., Кочергин А.Г. Большебазисный радиопеленгатор ВЧ-диапазона с цифровой обработкой сигналов // Прикладная радиоэлектроника. – 2002. - Том 1, № 1, с. 33-37.
5. Безрук В.М., Чеботов А.В. Классификатор радиосигналов ВЧ диапазона для автоматизированных систем радиочастотного радиомониторинга // Прикладная радиоэлектроника. – Харьков, 2005.-Т.4. №2. - С.221-224.