УДК 621.391

В.М. Безрук[1], А.В. Чеботов[2]

[1]*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина*
[2]*ООО Научно-технический центр «Радиотехнические системы» Академии наук прикладной радиоэлектроники, Украина*

СОВМЕСТНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ, ПЕЛЕНГОВАНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ

Рассмотрены особенности учета неопределенности измерений параметров сигналов при решения задач совместной обработки сигналов в автоматизированных комплексах радиоконтроля. Приведены алгоритмы совместного обнаружения и оценивания направления прихода, а также распознавания вида и оценивания параметров модуляции радиоизлучений с учетом неопределенности измерений параметров принимаемых сигналов.

Ключевые слова: *радиоконтроль, радиоизлучение, радиосигнал, обнаружение, пеленгование, распознавание, оценивание параметров модуляции, неопределенность измерений параметров.*

Введение

Для проведения радиоконтроля (РК) требуется создание сложных автоматизированных комплексов РК, включающих сканирующие цифровые радиоприемники, радиопеленгаторы, устройства, обнаружения и распознавания радиоизлучений (РИ). Проводимый анализ РИ при РК обычно включает измерение спектров РИ, обнаружение и пеленгование РИ, распознавание типов радиопередач 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 при неопределенности измерений параметров сигналов, определяемой воздействием помех и неизвестных сигналов, а также ограниченным временем наблюдения РИ [1, 2].

Постоянное совершенствование средств автоматизированного РК определяет необходимость привлечения современных достижений в области измерений и обработки сигналов. В частности, специфика решения задач РК определяет необходимость принятия совместных решений при обнаружении, оценивании направления прихода, распознавании вида и оценивании параметров модуляции РИ.

В настоящей статье рассмотрены некоторые особенности решения типовых задач обработки сигналов для РК, в которых необходимо принятие совместных решений по обнаружению и оцениванию направления прихода РИ, а также распознаванию вида и оцениванию параметров модуляции РИ с учетом неопределенности измерений параметров принимаемых радиосигналов.

1. Совместное обнаружение и пеленгование РИ

Выходной сигнал в станции обнаружения и пеленгования РИ представляет собой векторный случайный процесс $\vec{x}(t) = (x_1(t), \ldots, x_v(t), \ldots, x_k(t))$, $0 \le t \le T$. Введем две гипотезы, которые соответствуют отсутствию и наличию полезного сигнала в аддитивной смеси с помехой, H_0: $\vec{x}(t) = \vec{\xi}(t)$, H_1: $\vec{x}(t) = \vec{s}(t,\theta) + \vec{\xi}(t)$. Здесь θ – некоторый параметр, определяемый направлением прихода РИ. Гипотезы составляют полную группу случайных событий при наблюдении процесса $\vec{x}(t)$ с вероятностями p_i $(p_0 + p_1 = 1)$.

Решение задачи совместного обнаружения РИ и оценивания направления его прихода рассмотрено 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. Предполагалось также, что сигналом является гармоническое колебание, а помехой являются гауссовские аддитивные шумы. Двухфункциональный байессовский алгоритм совместного обнаружения $d_{p,o}$ и оценивания направления прихода РИ $\theta_б$ представляется соотношениями [1]:

$$d_{p,o}(\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3) = \begin{cases} 1, & \text{если } l(\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3) \ge c_б; \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (1)$$

$$\theta_б(\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3) = \int_0^{2\pi} \theta W(\theta \mid \vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3) d\theta . \quad (2)$$

Здесь $W(\theta \mid \vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3)$ – апостериорная плотность вероятности параметра θ, вычисляемая в

© В.М. Безрук, А.В.

предположении наличия сигнала; $l(\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3)$ – усредненное по совместному распределению параметров; θ – отношение правдоподобия; $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$ – дискретное представление канальных сигналов.

Особенностью данного двухфункционального алгоритма обнаружения и оценивания параметров сигналов является то, что выдача решения об обнаружении и оценивании направления прихода РИ согласованы между собой. Пороговое значение $c_б$ при обнаружении зависит от неопределенности измерения параметров РИ, то есть среднеквадратической ошибки оценивания угла прихода РИ $\theta_б$. При увеличении этой ошибки порог увеличивается, что уменьшает вероятность принятия гипотезы о присутствии РИ. Кроме того, выдача оценки о направлении прихода РИ $\theta_б$ производится лишь после принятия гипотезы о наличии РИ. Этот алгоритм реализован в станциях РК, выполняющей обнаружение и пеленгование РИ [3, 4].

2. Распознавание вида и оцениванием параметров модуляции РИ

В прикладных задачах РК возникает необходимость для обнаруженных РИ проводить распознавание вида и оценивания параметров модуляции. На практике часто возникают ситуации, когда РИ может не принадлежать к числу заданных классов и должен быть отнесен к $(M+1)$ классу незаданных в статистическом смысле РИ. Это более сложная задача селекции и распознавания заданных сигналов с оцениванием их параметров. При этом задаются $(M+1)$ 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 $(M+1)$ класс. Плотности вероятности заданных сигналов $W(\vec{x}/H^i, \alpha^i)$ заданы с точностью до случайных векторных параметров α^i, а для $(M+1)$ класса сигналов плотность вероятности неизвестна. Заданы также априорные вероятности гипотез $P(H^i) = P_i$, причем $\sum_{i=1}^{M+1} P_l = 1$. Полагается, что заданы классифицированные обучающие выборки M сигналов $\left\{\vec{x}_r^i,\ \ r=\overline{1,n_i},\ i=\overline{1,M}\right\}$, а обучающая выборка для $(M+1)$ сигнала отсутствует либо является непредставительной.

Рассмотрено решение селекции и распознавания заданных видов (ВМ) модуляции сигналов для случая, когда решение принимается по 2N-мерному вектору квадратурных составляющих сигналов $\vec{\xi}$ с плотностью вероятности $W(\vec{\xi}/H^i, \alpha^i)$. Решение принимается в два этапы [2, 5]:

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

$$P_i\, W(\vec{\xi}/H^i, \alpha^i) \ge \lambda^i, \qquad (3а)$$

то принимается решение в пользу M заданных ВМ радиосигналов; если выполняются условия

$$P_i\, W(\vec{\xi}/H^i, \alpha^i) < \lambda^i, \quad i=\overline{1,M}, \qquad (3б)$$

то принимается решение в пользу $(M+1)$-го класса сигналов с неизвестными ВМ;

2) если выполняются неравенства (3а), то на втором этапе производится распознавание заданных ВМ сигналов - решение в пользу i-го сигнала принимается при выполнении системы неравенств

$$P_i\, W(\vec{\xi}/H^i, \alpha^i) \ge P_l\, W(\vec{\xi}/H^l, \alpha^l),\ l=\overline{1,M},\ l \ne i. \qquad (4а)$$

Пороговые значения λ^i определяются из условия обеспечения требуемой вероятности правильного распознавания i - го сигнала.

Рассмотренный метод селекции и распознавания основан на построении замкнутых областей в пространстве квадратурных составляющих сигналов для заданных ВМ. Решение о ВМ принимается при попадании вектора квадратурных составляющих сигналов в одну из собственных областей. Фактически при этом решается задача многоальтернативного обнаружения заданных сигналов и оценивания параметров при наличии $(M+1)$ класса неизвестных сигналов.

Следует заметить, что решение о ВМ РИ принимается с учетом неопределенности измерения параметров модуляции аналогично, как и в задаче совместного обнаружения и оценивания параметров сигналов. Принятие решений о ВМ и выдача значения оценки параметров модуляции РИ согласованы между собой, что повышает эффективность работы такого двухфункционального алгоритма обработки сигналов.

3. Реализация методов совместного обнаружения, пеленгования, распознавания ВМ и оценивания параметров РИ в комплексах РК

Рассмотренные выше методы совместной обработки сигналов были положены в основу практических алгоритмов совместного обнаружения, пеленгования, распознавания ВМ и оценивания параметров РИ, которые использованы при разработке автоматизированных комплексов РК.

Исследованы практические особенности работы алгоритма совместного обнаружения и пеленгования РИ с учетом реальной постоянно изменяющейся сигнально-помеховой обстановки. Получены

рабочие характеристики алгоритма в процессе натурных испытаний на выборках реальных сигналов и помех, характерных для ВЧ диапазона (1 – 30 МГц).

Проведены также исследования алгоритма совместного распознавания ВМ и оценивания параметров РИ. Исследования проведены на выборках сигналов с типовыми ВМ, которые характерны для РИ, существующих в ВЧ диапазоне.

Полученные результаты исследований свидетельствуют об эффективности учета неопределенности измерения параметров сигналов в многофункциональных алгоритмах совместного обнаружения, распознавания и оценивания параметров РИ.

Предложенные алгоритмы совместного обнаружения, пеленгования, распознавания ВМ и оценивания параметров РИ реализованы в автоматизированных комплексах РК различного функционального назначения, в частности, «Восток», «Светозар», «Барвинок», «Скорпион», «Укол», «Беркут». Эти комплексы РК используются для оперативного анализа радиоэлектронной обстановки в ВЧ и СВЧ диапазонах частот. В приложении к работе [2] приведены технические характеристики созданных станций и комплексов РК. В работах [3, 4, 6] рассмотрены алгоритмы работы, структура, функциональные назначение и технические характеристики некоторых из них, в частности, станции обнаружения кратковременных радиоизлучений «Восток-О», станции обнаружения-пеленгования «Восток-ОП», автоматического классификатора сигналов «Восток-АКС», которые обеспечивают автоматический поиск, обнаружение, пеленгование, распознавание радиоизлучений ВЧ-диапазона.

Список литературы

1. *Трифонов А.П. Совместное различение сигналов и оценка их параметров на фоне помех: монография / А.П. Трифонов, Ю.С. Шинаков. – М.: Радио и связь, 1986. – 256 с.*
2. *Безрук В.М. Теоретические основы проектирования систем распознавания сигналов для автоматизированного радиоконтроля: монография / В.М. Безрук, Г.В. Певцов. – Х.: Коллегиум, 2007. – 430 с.*
3. *Чеботов А.В. Станция обнаружения кратковременных радиоизлучений ВЧ-диапазона "Восток-О" / А.В. Чеботов, В.В. Калугин // Прикладная радиоэлектроника. – 2006. – Т.. 5, №.3. – С. 390-394.*
4. *Калугин В.В. Большебазисный радиопеленгатор ВЧ-диапазона с цифровой обработкой сигналов / В.В. Калугин, А.В. Чеботов, А.Г. Кочергин // Прикладная радиоэлектроника. – 2002. – Т. 1, № 1. – С. 33-37.*
5. *Безрук В.М. Метод распознавания видов модуляции радиосигналов, описываемых вероятностной моделью в виде смеси распределений / В.М. Безрук, К.К. Евсеев, А.В. Чеботов // Прикладная радиоэлектроника. – 2003. – Т. 2, № 1. – С. 26-31.*
6. *Безрук В.М., Чеботов А.В. Классификатор радиосигналов ВЧ диапазона для автоматизированных систем радиочастотного радиомониторинга / В.М. Безрук, А.В. Чеботов // Прикладная радиоэлектроника. – Х., 2005. – Т. 4, № 2. – С. 221-224.*

Поступила в редколлегию 10.07.2009

Рецензент: канд. техн. наук Н.М. Калюжный, Харковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

СУМІСНЕ ВИЯВЛЕННЯ, ПЕЛЕНГУВАННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ РАДІОВИПРОМІНЮВАНЬ З УРАХУВАННЯМ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ

В.М. Безрук, О.В. Чеботов

Розглянуто особливості оцінювання та врахування невизначеності вимірювань параметрів сигналів при вирішенні специфічних задач обробки сигналів для радіоконтролю. Приведено алгоритми сумісного виявлення та оцінювання напрямку приходу, а також розпізнавання виду та оцінювання параметрів модуляції радіовипромінювань з врахуванням невизначеності вимірювань параметрів сигналів.

Ключові слова: *радіоконтроль, радіовипромінювання, радіосигнал, виявлення, пеленгування, розпізнавання, оцінювання параметрів модуляції, невизначеність вимірювань.*

JOINT DETECTION, DIRECTION FINDING AND RECOGNITION OF RADIO RADIATION TAKING INTO ACCOUNT MEASURING UNCERTAINTY OF SIGNALS PARAMETERS

V.M. Bezruk, A.V. Chebotov

The features of account of measuring uncertainty of signals parameters are considered at decisions of specific tasks of signals processing for radiomonitoring. The algorithms of joint detection and evaluation of arrival direction, and also recognitions of kind and parameters estimation of radio radiation modulation, are resulted taking into account the vagueness of measurings of signals parameters .

Keywords: *radiomonitoring, radio radiation, signal, detection, direction finding, recognition, parameters estimation, modulation, measuring uncertainty.*