

ПРОЦЕДУРА ВИЯВЛЕННЯ І РОЗПІЗНАВАННЯ НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ МОБІЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ РАДІОМОНІТОРИНГУ ІЗ АПРІОРНО ВИЗНАЧЕНОЮ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЮ КОНФІГУРАЦІЄЮ ЇЇ РУХОМИХ РАДІОПРИЙМАЧІВ

В роботі обґрунтована актуальність вирішення низки завдань щодо визначення джерел завадового радіовипромінювання в умовах нерегулярного використання радіочастотного ресурсу. Запропонована процедура виявлення і розпізнавання завадового (несанкціонованого) випромінювання за рахунок використання мобільних систем із апріорно визначеною просторово-часовою конфігурацією її рухомих радіоприймачів. Дана процедура на відміну від існуючих, побудована на небайєсовських правилах прийняття рішень та може бути використана в ході вирішення завдань виявлення та розпізнавання несанкціонованих джерел радіовипромінювань в умовах складної електромагнітної обстановки.

Ключові слова: виявлення, розпізнавання, радіозавада, радіомоніторинг, просторово-часова конфігурація.

PROCEDURE FOR DETERMINING AND RECOGNIZING NONSANCED RADIATION BY MOBILE SYSTEMS OF RADIO MONITORING WITH AREA-SPECIFIC SPACIAL-TIME CONFIGURATION OF ITS MOVING RADIO RECEIVERS

The paper substantiates the relevance of the solution of a number of tasks concerning the determination of the sources of harmful radio emission in conditions of irregular use of the radio frequency resource. The procedure for detection and recognition of interference (unauthorized) radiation by the use of mobile systems with a priori determined spatio-temporal configuration of its mobile radio receivers is proposed. This procedure, in contrast to existing ones, is based on non-Bayesian decision-making rules and can be used to solve the problems of detecting and recognizing unauthorized sources of radio emission under conditions of complex electromagnetic environment. When solving the problems of detecting and recognizing radio emission, an adequate probabilistic model of a priori known signals should be selected, which should reflect their properties of the real physical signal at the output of the radio, tuned to the given radio emission. In this case, the algorithms for detecting and recognizing radio waves on the basis of the considered rules can be specified, taking into account the type of distribution density, which are determined by the selected probabilistic model of signals. In the problems of detecting and recognizing radiofrequencies, there is a priori uncertainty, when unknown parameters of the distribution density of the corresponding signals, or in general, an unknown type of distribution density. This determines the need for accumulation of training signal samples to overcome a priori uncertainty. These samples should be evaluated for unknown parameters of radiation for further application of this information in the considered algorithms of detection and recognition.

Keywords: detection, recognition, radio interference, radio monitoring, spatio-temporal configuration.

Вступ. Постановка завдання. В умовах сучасної електромагнітної обстановки значно ускладнюється задача пошуку радіозавад, джерела яких маскуються нерегулярним характером використання радіочастотного ресурсу.

Ідентифікація джерел радіовипромінювання за даними ідентифікаторів мережі і окремих базових станцій/секторів дозволяє реалізувати більш детальний аналіз спектру сигналів в оточуючому середовищі і виявляти сигнал завади від несанкціонованого джерела.

Для ефективного пошуку джерела завади необхідно зменшувати загальну невизначеність у параметрах випромінювання передавачів мережі за рахунок використання додаткової інформації щодо випромінювання джерела завади, отриманої від заявника, і також шляхом попереднього вимірювання у місці проявів завади.

За рахунок підвищення потужності сигналу завади у порівнянні з потужністю корисного сигналу в приймачі радіоконтролю виникає можливість прицільного, більш детального аналізу спектру сигналу завади і, таким чином, забезпечення більшої точності і надійності результатів аналізу його спектру.

Пошук джерела завади в умовах нерегулярного використання радіочастотного ресурсу є складним і актуальним завданням.

Відомо [1–9], що мобільні засоби моніторингу із багатоканальним прийомом спроможні функціонально доповнювати стаціонарні й забезпечувати гнучку підтримку ефективного радіоконтролю під час проведення вимірювань параметрів випромінювань і виявлення джерел радіозавад [1–13].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Припустимо, що з M -елементного антенно-приймального блоку системи радіомоніторингу із апріорно визначеною просторово-часовою конфігурацією рухомих радіоприймачів, розташованих в декількох пунктах прийому (рис. 1), знімається сукупність M значень напруги, які є функціями часу $y_1(t), y_2(t), \dots, y_M(t)$ і утворюють вектор-стовпець вхідних впливів [3, 4]:

$$\vec{y}(t) = \begin{pmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \dots \\ y_M(t) \end{pmatrix} = \vec{y}^T(t) = \|y_1(t) \quad y_2(t) \quad \dots \quad y_M(t)\|$$

де T – операція транспонування.

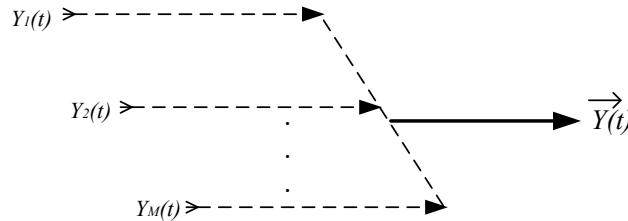


Рис. 1. M -елементний антенно-приймальна блок мобільної системи радіомоніторингу із апріорно визначеною просторово-часовою конфігурацією рухомих приймачів радіовипромінювання

Реалізація прийнятих коливань $\vec{y}(t)$ може бути обумовлена або одними завадами, або накладенням сигналів і завад:

$$\vec{y}(t) = \vec{n}(t, \vec{\lambda}_1) + A\vec{x}(t, \vec{\alpha}, \vec{\lambda}_2), \tag{1}$$

де $\vec{n}(t, \vec{\lambda}_1)$, $A\vec{x}(t, \vec{\alpha}, \vec{\lambda}_2)$ – векторні реалізації завади і сигналу відповідно;

$A = (1, 0)$ – множник, який враховує наявність ($A = 1$) або відсутність ($A = 0$) сигналу в векторі $\vec{y}(t)$;

$\vec{\alpha}$ – вектор інформативних параметрів сигналу;

$\vec{\lambda}_2$ – вектор неінформативних параметрів сигналу;

$\vec{\lambda}_1$ – вектор випадкових параметрів зовнішньої завади.

Багатоканальний виявлювач реалізує оцінку дискретного параметру:

$$\hat{A}[\vec{y}(t) | \vec{\alpha}, \vec{\lambda}] = \begin{cases} 1(\text{"так"}), \\ 0(\text{"ні"}), \end{cases} \tag{2}$$

яка є функціоналом реалізації прийнятих коливань $\vec{y}(t)$.

Перед оптимізацією 2-альтернативного виявлення реалізуємо дискретизацію прийнятих коливань як функцій часу. Це дозволить: перейти від випадкових функцій $\vec{y}(t)$ до випадкових багатовимірних величин; ввести щільності ймовірності прийнятих реалізацій як функції багатьох змінних; дискретизація в часі набуває самостійного значення при переході до цифрової обробки сигналів.

Припустимо, що кожна із скалярних функцій $y_i(t)$ містить L часових дискретів. Тоді загальна кількість дискретів при M -каналному прийомі, $i = 1, 2, \dots, M$, складатиме $m = LM$.

В цьому випадку рішення приймається за m -мірним рядком (стовпцем):

$$\vec{y}^T(t) = \|y_1(t) \quad y_2(t) \quad \dots \quad y_M(t)\| \tag{3}$$

В даному випадку вирішуючий функціонал (2) переходить у вирішальну функцію m скалярних змінних:

$$\hat{A}[\vec{y}(t) | \vec{\alpha}, \vec{\lambda}] = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \tag{4}$$

Слід відзначити, що класичні задачі виявлення і розпізнавання сигналів неадекватні реальним завданням радіомоніторингу. У багатьох випадках виникає необхідність виявляти і розпізнавати сигнали з невідомими статистичними характеристиками. Для подолання апріорної невизначеності під час виявлення і розпізнавання можуть бути використані навчальні вибірки реальних сигналів і завад [2, 3, 4, 13].

Однак, специфіка завдань радіомоніторингу така, що доводиться вирішувати завдання виявлення і розпізнавання радіовипромінювань (РВ) за відсутності для них навчальних вибірок.

Методика розпізнавання (багатоальтернативного виявлення) заданих сигналів за наявності класу невідомих сигналів, які адекватні реальним задачам радіомоніторингу.

В деякому M -елементному антенно-приймальному блоці системи радіомоніторингу із апріорно визначеною просторово-часовою конфігурацією рухомих радіоприймачів, розташованих в декількох пунктах прийому, спостерігаються сигнали на тлі завад.

З усієї безлічі сигналів, що з'являються у визначеній багатоканальній системі, потрібно виділити і розпізнати N заданих сигналів, які представляють інтерес для завдань радіомоніторингу.

При цьому фактично необхідно виявити, розділити і розпізнати N заданих сигналів, а також віднести у $(N+1)$ -й клас сигнали, які не становлять інтерес для радіоконтролю.

У деяких випадках радіомоніторингу, при появі сигналів із $(N+1)$ -го класу, приймається рішення про те, що з'явилися нові невідомі радіовипромінювання, які підлягають подальшому аналізу з метою визначення виду і параметрів модуляції.

Приймається, що в M -елементному приймальному блоці системи діє або один із заданих сигналів $x^i(t)$, або новий невідомий сигнал в адитивній суміші з завадою $n(t)$:

$$y(t) = x^i(t) + n(t), i = \overline{1, N+1},$$

де $x^i(t)$ – сигнал, який визначається переданим повідомленням, видом оператора модуляції, видом і параметрами сигналу-переносника, типом кодування повідомлень.

В ході автоматизованого радіоконтролю для ряду апріорно відомих радіовипромінювань відомі вид і параметри модуляції, вид кодування, імовірнісні характеристики повідомлення.

Якщо вони невідомі, то така інформація може бути отримана шляхом додаткових досліджень з використанням навчальних вибірок реальних сигналів для заданих РВ.

Для безлічі інших радіовипромінювань, які не представляють інтересу для радіомоніторингу і об'єднуються в $(N+1)$ -й клас невідомих РВ, імовірнісний опис відповідних їм сигналів невідомий і відсутні їх навчальні вибірки сигналів.

Припустимо, що невідомі радіовипромінювання відрізняються від N апріорно заданих.

Таким чином, по відношенню до радіовипромінювань, які спостерігаються в M -канальній системі моніторингу, можна прийняти рішення на користь однієї з гіпотез:

$$H^i : y(t) = x^i(t) + n(t), i = \overline{1, N} — діє одне із N заданих радіовипромінювань; \quad (5)$$

$$H^{N+1} : y(t) = x^i(t) + n(t), i = \overline{1, N+1} — діє одне із $(N+1)$ невідомих радіовипромінювань. \quad (6)$$

Приймається, що в M -канальній системі спостереження сигнали відповідних класів надходять послідовно в часі, тобто на інтервалі моніторингу $(0, T_m)$ може діяти тільки один із сигналів з ймовірністю появи P_i , при цьому:

$$\sum_{i=1}^{N+1} P_i = 1$$

Ця задача фактично являє собою задачу розпізнавання заданих сигналів за наявності $(N+1)$ -го класу невідомих сигналів. У цьому завданні ймовірність помилкових рішень складається з трьох складових, що визначаються відповідно:

$P_{ном}(N)$ – переплутування N заданих сигналів між собою;

$P_{ном}(N+1/N)$ – прийняття гіпотези H^{N+1} у разі, коли діє один з N заданих сигналів;

$P_{ном}(N/N+1)$ – прийняття гіпотези про дію одного з N заданих сигналів, за умови, що діє сигнал з $(N+1)$ -го класу.

За рахунок наявної апріорної інформації можливо контролювати лише перші дві складові ймовірності помилки.

Для обліку третьої складової можна вводити показник у вигляді обсягу критичної області відхилення гіпотези H^{N+1} про дію $(N+1)$ -класу сигналів.

$$K = \bigcup_{i=0}^N K_i$$

Дана область має сенс власної області N заданих сигналів і завод.

Для вирішення завдання розрізнення (розпізнавання) N заданих сигналів запропоновано ввести векторний критерій якості, який враховує зазначені складові ймовірності помилки.

При цьому в роботі вирішене завдання максимізації сумарної ймовірності правильного розпізнавання N заданих сигналів при фіксовану обсязі їх власної області.

Вирішення цього завдання призвело до отримання правила:

$$H^i : \max \left[\left(P_l \omega(y / x^l) \right) \right] \geq \lambda \quad (7)$$

$$l = \overline{1, N}$$

$$P_i \omega(y / x^i) \geq_l \omega(y / x^l), l = \overline{1, N}, l \neq i \quad (8)$$

$$H^{N+1} : \max \left[\left(P_l \omega(y / x^l) \right) \right] < \lambda \quad (9)$$

$$l = \overline{1, N}$$

При виконанні (7), (8) приймається рішення про дію одного з N заданих сигналів. Коли виконується

(9), приймається рішення про дію невідомого сигналу з $(N+1)$ -го класу.

Це вирішальне правило відноситься до класу небайєсовських правил прийняття рішень [12]. Воно дає можливість вирішувати завдання розпізнавання радіовипромінювання в багатоканальній системі радіомоніторингу, як нове завдання селекції і розрізнення сигналів.

У випадку, коли враховуються помилки лише за рахунок переплутування $(N+1)$ -класу сигналів із N -відомими сигналами можна прийти до прийняття однієї з двох гіпотез:

$$H^N : \max_{l=1, \overline{N}} \left[\left(P_l \omega(y/x^l) \right) \right] \geq \lambda; H^{N+1} : \max_{l=1, \overline{N}} \left[\left(P_l \omega(y/x^l) \right) \right] < \lambda \quad (10)$$

Вище наведені вирази являють собою вирішальне правило виявлення невідомих радіовипромінювань на тлі стаціонарної завади.

При цьому приймається рішення про те, що в M -канальній системі спостереження на тлі стаціонарної завади діє або нове радіовипромінювання, або одне із N апріорно відомих.

Висновки

1. При вирішенні розглянутих завдань виявлення і розпізнавання радіовипромінювань повинна бути обрана адекватна імовірнісна модель апріорно відомих сигналів, яка повинна відображати їх властивості реального фізичного сигналу на виході радіоприймача, налаштованого на задане радіовипромінювання.

При цьому алгоритми виявлення і розпізнавання радіовипромінювань на основі розглянутих правил можуть бути конкретизованими з урахуванням виду щільності розподілення, які визначаються обраною ймовірнісною моделлю сигналів.

2. В задачах виявлення і розпізнавання радіовипромінювань має місце апріорна невизначеність, коли невідомі параметри щільності розподілу відповідних сигналів або взагалі невідомий вид щільності розподілу. Це визначає необхідність накопичення навчальних вибірок сигналів для подолання апріорної невизначеності. За цими вибірками повинні знаходитися оцінки невідомих параметрів випромінювань для подальшого застосування цієї інформації в розглянутих алгоритмах виявлення і розпізнавання.

Література

1. Безрук В.М. Обнаружение и распознавание сигналов в условиях априорной неопределенности при автоматизированном радиомониторинге / В.М. Безрук, С. А. Иваненко // РИ. – 2018. – № 3. – С. 8–12.
2. Методика визначення місцезнаходження джерел радіозавад в умовах пасивної локації [Електронний ресурс] / В.А. Дружинін, В.І. Корсун, К.А. Соколов, Ю.М. Бойко, О.Ю. Богомол // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 3. – С. 82–91. – Режим доступу : <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/7606>.
3. Дружинін В. А. Проблеми формування та обробки радіолокаційної інформації в системах радіобачення : монографія / В. А. Дружинін. – Київ : Логос, 2013. – 230 с.
4. Методи та алгоритми обробки і захисту інформації в радіолокаційних системах із змінною просторовою конфігурацією : монографія / [В. А. Дружинін, С.В. Толюпа, В.С. Наконечний, Н.В. Цьопа, С.В. Батрак]. – Київ : Логос, 2014. – 251 с.
5. Hayes M.P., Gough P.T. Synthetic aperture sonar: a review of current status // IEEE J. Ocean. Eng. 2009. V. 34. № 3. P. 207–224.
6. Autrey S.W. Passive synthetic arrays // IEEE J. Ocean. Eng. 1988. V. 84. № 2. P. 592–598.
7. Stergiopoulos S. Optimum bearing resolution for a moving towed array and extension of its physical aperture // The Journal of the Acoustical Society of America. 1990. V. 87, № 5. P. 2128–2140.
8. Edelson G.S., Tufts D.W. On the ability to estimate narrow-band signal parameters using towed arrays // IEEE Journal of Oceanic Engineering. 1992. V. 17, № 1. P. 48–61.
9. Ivanenkov A.S., Korotin P.I., Orlov D. A., Rodionov A.A., Turchin V.I. Cramer–Rao lower bound for localization of a source with partial temporal coherence using passive synthetic aperture // Proc. of the 12th European Conference on Underwater Acoustics. 2012. Edinburgh, United Kingdom. P. 564–571.
10. I.R. Parhomey, J.M. Boiko and O.I. Eromenko (2016, Aug.). Features of digital signal processing in the information control systems of multipositional radar // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2(77): 75–84. DOI: 10.5604/17348412.1230101.
11. Пархомей І. Р. Особливості функціонування радіолокаційних систем локації об'єктів з низькою поверхнею віддзеркалення [Електронний ресурс] / І. Р. Пархомей, Ю. М. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 5. – С. 194–201. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2015_5_39.
12. Parkhomey I. Identification information sensors of robot systems / I. Parkhomey, J. Boiko, O. Eromenko // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2019. – Vol.14, nr. 3. – P. 1235–1243. DOI: 10.11591/ijeecs.v14.i3.pp1235-1243.
13. Науково-прикладні питання забезпечення роздільної здатності і ефективності обробки сигналів у радіотехнічних та телекомунікаційних системах за наявності завад [Електронний ресурс] : монографія / Ю. М. Бойко, О. М. Шинкарук, Л. В. Карпова, І. І. Чесановський. – Хмельницький : ХНУ, 2019. – 218 с. – Режим доступу : <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/7556>.

References

1. Bezruk V.M. Obnaruzhenie i raspoznavanie signalov v usloviyah apriornoj neopredelennosti pri avtomatizirovannom radiomonitoringe / V.M. Bezruk, S. A. Ivanenko // RI. – 2018. – № 3. – S. 8–12.
2. Method for determining the location of sources of radio interference in passive location / V.A. Druzhinin, V.I. Korsun, K.A. Sokolov, J.M. Boiko, O.Yu. Bohomol // Herald of Khmelnytskyi National University : scientific journal. Technical Sciences. – Khmelnytskyi, 2019. – Issue 3. – P. 82–91. – URL : <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/7606>.
3. Druzhinin V. A. Problemy formuvannia ta obrobky radiolokatsiinoi informatsii v systemakh radiobachennia : monohrafiia / V.A. Druzhinin. – Kyiv : Lohos, 2013. – 230 s.
4. Metody ta alhorytmy obrobky i zakhystu informatsii v radiolokatsiinykh systemakh iz zminnoiu prostorovoiu konfiguratsiieiu : monohrafiia / [V. A. Druzhinin, S.V. Toliupa, V.S. Nakonechnyi, N.V. Tsopa, Ye.V. Batrak]. – Kyiv : Lohos, 2014. – 251 s.
5. Hayes M.P., Gough P.T. Synthetic aperture sonar: a review of current status // IEEE J. Ocean. Eng. 2009. V. 34. № 3. P. 207–224.
6. Autrey S.W. Passive synthetic arrays // IEEE J. Ocean. Eng. 1988. V. 84. № 2. P. 592–598.
7. Stergiopoulos S. Optimum bearing resolution for a moving towed array and extension of its physical aperture // The Journal of the Acoustical Society of America. 1990. V. 87, № 5. P. 2128–2140.
8. Edelson G.S., Tufts D.W. On the ability to estimate narrow-band signal parameters using towed arrays // IEEE Journal of Oceanic Engineering. 1992. V. 17, № 1. P. 48–61.
9. Ivanenkov A.S., Korotin P.I., Orlov D. A., Rodionov A.A., Turchin V.I. Cramer–Rao lower bound for localization of a source with partial temporal coherence using passive synthetic aperture // Proc. of the 12th European Conference on Underwater Acoustics. 2012. Edinburgh, United Kingdom. P. 564–571.
10. I.R. Parhomey, J.M. Boiko and O.I. Eromenko (2016, Aug.). Features of digital signal processing in the information control systems of multipositional radar // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2(77): 75–84. DOI: 10.5604/17348412.1230101.
11. Parhomey I.R. Features of objects radar systems ranging from low reflection surface / I.R. Parhomey, J.M. Boiko // Herald of Khmelnytskyi National University : scientific journal. Technical Sciences. – Khmelnytskyi, 2015. – № 5. – P. 194–201. URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2015_5_39.
12. Parkhomey I. Identification information sensors of robot systems / I. Parkhomey, J. Boiko, O. Eromenko // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2019. – Vol.14, nr. 3. – P. 1235–1243. DOI: 10.11591/ijeecs.v14.i3.pp1235-1243.
13. Naukovo-prykladni pytannja zabezpechennja rozdilnoi zdatnosti i efektyvnosti obrobky syghnaliv u radiotekhnichnykh ta telekomunikacijnykh systemakh za najavnosti zavad : monohrafiia / J. Boiko, O. Shynkaruk, L. Karpova, I. Chesanovskiy. – Khmelnytskyi : KhNU, 2019. – 218 s. – URL : <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/7556>.

Рецензія/Peer review : 6.6.2019 р. Надрукована/Printed : 18.7.2019 р.
Стаття рецензована редакційною колегією