

М.О. Гуменюк, н.с.
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
Національного авіаційного університету

ДОСТАТНЯ УМОВА ІНФОРМАТИВНОСТІ ПАРАМЕТРА ДІАГНОСТИКИ СКЛАДНОЇ РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

(Представлено д.т.н., проф. Манойловим В.П.)

Проведено доведення достатньої умови інформативності параметра діагностики складної радіотехнічної системи з необхідною ймовірністю прийняття рішення про стан системи. Доведена умова може бути використана для визначення корисності параметрів діагностики складної радіотехнічної системи.

Постановка проблеми у загальному вигляді. В умовах стрімкого розвитку складних радіотехнічних систем постійно підвищуються вимоги до якості технічної діагностики. Це обумовлює необхідність підвищення ефективності її системи.

Одним із пріоритетних напрямків підвищення ефективності ведення технічної діагностики є розробка сучасної методологічної бази автоматизованого процесу добування, накопичення та обробки інформації на основі всебічного комплексного аналізу даних з використанням системних підходів.

Так відомо, що до системних методів добування інформації належать сигнатурно-системний метод. Він передбачає перехід від розпізнавання джерел і об'єктів дослідження до прогнозування їх стану. Для розпізнавання стану об'єктів дослідження аналітиками (експертами) розробляються сценарії розвитку подій, що максимально наближені до реальності, аналізується поточний хід розвитку подій і зміни у стані на визначеному інтервалі часу. Таким чином, проводиться розпізнавання стану об'єкта дослідження (сигнатурне розпізнавання). Наприклад, за такою схемою діють при діагностиці в медицині, техніці, дослідженні екосистем [1–3].

При реалізації сигнатурно-інформаційних технологій множину параметрів діагностики складної радіотехнічної системи групують у так звані сигнатури, які найбільш повно описують ті чи інші властивості радіотехнічної системи. При цьому виникає завдання відбору корисних параметрів, що мають належати до складу сигнатури та забезпечувати необхідну якість розпізнавання стану складної радіотехнічної системи. Для вирішення даного завдання необхідно проводити визначення корисності параметрів діагностики. Оскільки розпізнавання стану складної радіотехнічної системи відбувається в умовах невизначеності, то корисність ознак має визначатись при статистичній постановці задачі розпізнавання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При статистичній постановці задачі розпізнавання корисності параметра діагностики визначається шляхом визначення величини зміни середньої ймовірності похибки діагностики при включенні даного параметра до складу сигнатури [3]. Разом з тим, при діагностиці складної радіотехнічної системи може визначатись велика кількість параметрів діагностики та їх градацій, що значно ускладнює процес знаходження середньої ймовірності похибки діагностики [5].

За таких умов в теорії розпізнавання найбільше визнання отримали критерії, що відображають відстань між розподілами класів, зокрема дивергенція, яка використовує інформаційну міру Кульбака [6], метод проєкцій на один вимір [7], відстань Бхаттачарія [8], ентропійний підхід [4, 7, 9, 10]. Вибір даних критеріїв здійснюється залежно від наявної апіорної інформації та зручності їх використання для вирішення конкретних завдань розпізнавання.

При цьому слід зазначити, що застосування даних критеріїв характеризується суттєвим недоліком: при обов'язковій наявності зв'язків між критеріями ефективності ознак та середньою ймовірністю похибки діагностики функціональної залежності між цими величинами немає. Це не дозволяє надійно оцінити зміну середньої ймовірності похибки діагностики складної радіотехнічної системи після включення параметра до складу сигнатури, залишаючи тим самим сумніви в його корисності.

Метою статті є визначення корисності параметра діагностики складної радіотехнічної системи.

Викладення основного матеріалу. При використанні ентропійного підходу інформативність I_k деякого k -го параметра діагностики x_k щодо розпізнавання стану складної радіотехнічної системи L можна оцінити як різницю початкової ентропії рішення про стан системи H_0 й ентропії рішення за цим параметром $H(x_k)$:

$$I_k = H_0 - H(x_k) \quad (1)$$

Нехай при розпізнаванні стану складної радіотехнічної системи параметр діагностики x_k може приймати J дискретних значень (градацій), а стан, в свою чергу, може бути віднесений до i -го класу L_i , де $i = \overline{1, N}$, N – максимальна кількість можливих станів складної радіотехнічної системи. Тоді значення початкової ентропії рішення дорівнює:

$$H_0(\mathcal{C}) = - \sum_{i=1}^N p(\mathcal{C}_i) \log_2 p(\mathcal{C}_i), \quad (2)$$

де $p(\mathcal{C}_i)$ – апіорна ймовірність розпізнавання i -го стану складної радіотехнічної системи L .

Ентропія рішення про стан складної радіотехнічної системи за j -ою градацією параметра діагностики x_k визначається як:

$$H(\mathcal{C}/x_{kj}) = - \sum_{i=1}^N p(\mathcal{C}_i/x_{kj}) \log_2 p(\mathcal{C}_i/x_{kj}), \quad (3)$$

де $p(\mathcal{C}_i/x_{kj})$ – умовна ймовірність розпізнавання i -го стану за j -ою градацією параметра діагностики x_k ; $j = \overline{1, J}$.

Застосовуючи формулу Байеса для визначення умовної ймовірності $p(\mathcal{C}_i/x_{kj})$, отримаємо:

$$p(\mathcal{C}_i/x_{kj}) = \frac{p(\mathcal{C}_i) p(\mathcal{C}_{kj}/L_i)}{p(\mathcal{C}_{kj})},$$

де $p(\mathcal{C}_{kj}) = \sum_{i=1}^N p(\mathcal{C}_i) p(\mathcal{C}_{kj}/L_i)$ – ймовірність появи j -ої градації k -го параметра діагностики в описах усіх можливих станів складної радіотехнічної системи; $p(\mathcal{C}_{kj}/L_i)$ – умовна ймовірність появи j -ої градації k -ого параметра діагностики в описі L_i .

Після підстановки останнього виразу в (3) формула для розрахунку ентропії рішення при розпізнаванні i -го стану j -ою градацією k -го параметра діагностики буде мати вигляд:

$$H(\mathcal{C}/x_{kj}) = - \frac{1}{p(\mathcal{C}_{kj})} \left\{ \sum_{i=1}^N p(\mathcal{C}_i) p(\mathcal{C}_{kj}/L_i) \log_2 p(\mathcal{C}_i) p(\mathcal{C}_{kj}/L_i) - \sum_{i=1}^N p(\mathcal{C}_i) p(\mathcal{C}_{kj}/L_i) \log_2 \sum_{i=1}^N p(\mathcal{C}_i) p(\mathcal{C}_{kj}/L_i) \right\}.$$

Для одержання ентропії рішення слід знайти суму значень величин $H(\mathcal{C}/x_{kj})$ по всіх градаціях з вагами, пропорційними ймовірності появи кожної градації, тобто $p(\mathcal{C}_{kj})$. Тоді:

$$H(\mathcal{C}/x_k) = \sum_{j=1}^J p(\mathcal{C}_{kj}) H(\mathcal{C}/x_{kj}) = - \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N p(\mathcal{C}_i, x_{kj}) \times \log_2 p(\mathcal{C}_i, x_{kj}) + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N p(\mathcal{C}_i, x_{kj}) \sum_{i=1}^N \log_2 p(\mathcal{C}_i, x_{kj}) \quad (4)$$

де $p(\mathcal{C}_i, x_{kj}) = p(\mathcal{C}_i) p(\mathcal{C}_{kj}/L_i)$.

Підставивши вирази (2), (4) у (1), отримаємо значення інформативності k -го параметра діагностики при розпізнаванні стану складної радіотехнічної системи:

$$I_k(\mathcal{C}) = - \sum_{i=1}^N p(\mathcal{C}_i) \log_2 p(\mathcal{C}_i) + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N p(\mathcal{C}_i, x_{kj}) \log_2 p(\mathcal{C}_i, x_{kj}) - \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N p(\mathcal{C}_i, x_{kj}) \sum_{i=1}^N \log_2 p(\mathcal{C}_i, x_{kj}) \quad (5)$$

Вираз (5) характеризує інформативність окремого параметра діагностики. Якщо параметр діагностики розглядається в складі сигнатури, що складається з n параметрів, то відповідно до [11], інформативність параметра має визначатися як:

$$I_k(\mathcal{C}) = H(\mathcal{C}/x^{(k-1)}) - H(\mathcal{C}/x^{(k)}), \quad (6)$$

де $H(\mathcal{C}/x^{(k)})$, $H(\mathcal{C}/x^{(k-1)})$ – ентропії рішення про стан складної радіотехнічної системи за умови отримання сигнатури $x^{(k)}$ з врахуванням k -го параметра діагностики та без врахування k -го параметра $x^{(k-1)}$ відповідно.

Разом з тим, як зазначено в [4], інформативність ознаки розпізнавання є необхідною, але недостатньою умовою її корисності. При цьому в [4] показано, що, якщо розпізнавання проводиться серед двох класів, то для забезпечення корисності його ознаки достатньо виконання умови:

$$I_k \left(\mathcal{C}_1 \right) > -H \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right) + 0,5 \log_2 0,5 H \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right) - \left(-0,5 H \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right) \right) \log_2 \left(-0,5 H \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right) \right) \quad (7)$$

Дана умова в [4] доведена з врахуванням того, що, відповідно до теореми В.А. Ковалевського $\inf H \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right) = 2p_e^{\mathcal{C}_1}$, де $p_e^{\mathcal{C}_1}$ – середня ймовірність похибки розпізнавання, що забезпечується сигнатурою $x^{\mathcal{C}_1}$.

При розпізнаванні серед двох класів значення верхньої й нижньої границь необхідної середньої умовної ентропії $H \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right)$, відповідно до [5], можуть бути знайдені з врахуванням апріорних ймовірностей виникнення та середньої ймовірності похибки розпізнавання стану складної радіотехнічної системи:

$$\sup H \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right) = -p_e^{\mathcal{C}_1} \log_2 p_e^{\mathcal{C}_1} - \left(-p_e^{\mathcal{C}_1} \right) \log_2 \left(-p_e^{\mathcal{C}_1} \right); \quad (8)$$

$$\inf H_{\text{необх}} \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right) = -p_0 \log_2 \left(\frac{p_0}{p_0 + p_e^{\mathcal{C}_1}} \right) - p_e^{\mathcal{C}_1} \log_2 \left(\frac{p_e^{\mathcal{C}_1}}{p_0 + p_e^{\mathcal{C}_1}} \right), \quad (9)$$

де $p_0 = \min \left\{ p \left(\mathcal{C}_1 \right), p \left(\mathcal{C}_2 \right) \right\}$, $p_e^{\mathcal{C}_1}$ – середня ймовірність похибки розпізнавання стану складної радіотехнічної системи, що забезпечується сигнатурою $x^{\mathcal{C}_1}$.

З врахуванням виразів (8), (9), проведемо доказ достатньої умови інформативності параметра діагностики:

$$I_k \left(\mathcal{C}_1 \right) > H \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right) + p_0 \log_2 \left(\frac{p_0}{p_0 + p_e^{\mathcal{C}_1}} \right) + p_e^{\mathcal{C}_1} \log_2 \left(\frac{p_e^{\mathcal{C}_1}}{p_0 + p_e^{\mathcal{C}_1}} \right), \quad (10)$$

де $p_e^{\mathcal{C}_1} = f \left(\inf H \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right) \right)$ при $p_0 = \text{const}$.

На основі виразу (6) умову (10) можна представити у вигляді:

$$H \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right) > H \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right) + p_0 \log_2 \left(\frac{p_0}{p_0 + p_e^{\mathcal{C}_1}} \right) + p_e^{\mathcal{C}_1} \log_2 \left(\frac{p_e^{\mathcal{C}_1}}{p_0 + p_e^{\mathcal{C}_1}} \right),$$

або

$$H \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right) > -p_0 \log_2 \left(\frac{p_0}{p_0 + p_e^{\mathcal{C}_1}} \right) - p_e^{\mathcal{C}_1} \log_2 \left(\frac{p_e^{\mathcal{C}_1}}{p_0 + p_e^{\mathcal{C}_1}} \right). \quad (11)$$

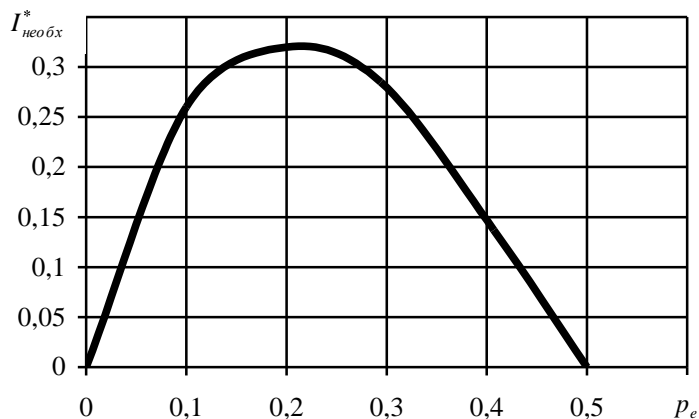
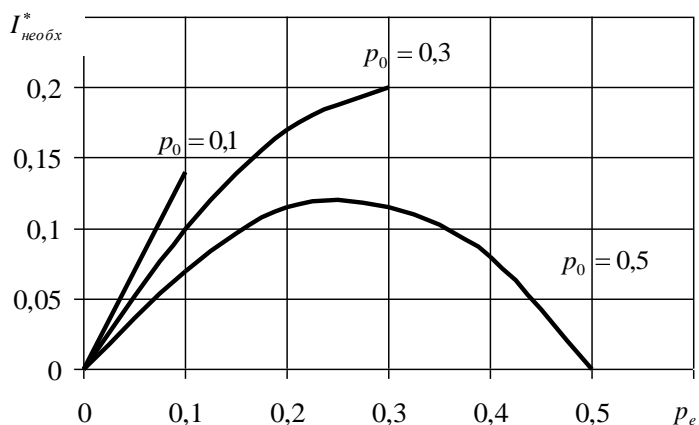
Покажемо, що при виконанні цієї умови $p_e^{\mathcal{C}_1} < p_e^{\mathcal{C}_1}$. Так, насправді, припустимо протилежне тобто, що $p_e^{\mathcal{C}_1} = p_e^{\mathcal{C}_1}$ (випадок $p_e^{\mathcal{C}_1} > p_e^{\mathcal{C}_1}$ взагалі неможливий при рішеннях, що приймаються за правилом максимальної апостеріорної ймовірності [4]). При такому припущенні, відповідно до виразу (9), отримаємо:

$$\inf H \left(\mathcal{C}_1 / x^{\mathcal{C}_1} \right) = -p_0 \log_2 \left(\frac{p_0}{p_0 + p_e^{\mathcal{C}_1}} \right) - p_e^{\mathcal{C}_1} \log_2 \left(\frac{p_e^{\mathcal{C}_1}}{p_0 + p_e^{\mathcal{C}_1}} \right).$$

Проте дана умова суперечить умові (11). Отже достатність умови (10) доведено.

Відповідно до [10], зменшення суми середніх ймовірностей похибок розпізнавання при попарному розпізнаванні класів призводить до зменшення середньої ймовірності його похибки серед всієї сукупності класів. Тому k -ий параметр діагностики будемо вважати корисним, коли умови (7) або (10) виконуються при розпізнаванні будь-яких двох можливих станів складної радіотехнічної системи.

Проведемо порівняння достатніх умов інформативності параметра діагностики складної радіотехнічної системи. Для цього побудуємо графіки залежності кількості інформації, яку повинен привнести параметр діагностики в процес розпізнавання стану складної радіотехнічної системи $I_{\text{необх}}^*$ від середньої ймовірності похибки розпізнавання p_e для умов (7) та (10) (рис. 1–2).

Рис. 1. Графік залежності $I_{необх}^*$ від p_e за умови (7)Рис. 2. Графік залежності $I_{необх}^*$ від p_e за умови (10)

З наведених графіків можна зробити висновки, що умова (10) забезпечує більш точне визначення значення оцінки p_e . Це підвищує вірогідність оцінювання корисності параметра діагностики складної радіотехнічної системи.

Висновки. Таким чином, в статті доведено достатню умову інформативності параметра діагностики складної радіотехнічної системи. Використання доведеної умови дозволяє проводити визначення корисності параметра діагностики. Це надає можливість оцінювати доцільність використання тих чи інших параметрів діагностики при розпізнаванні стану складної радіотехнічної системи.

Список використаної літератури:

1. Спиридонов И.Н. Методы традиционной функциональной диагностики / И.Н. Спиридонов. – М. : МГТУ, 1993. – 290 с.
2. Глуценко П.В. Моделирование в диагностировании и прогнозировании состояния технических объектов / П.В. Глуценко. – М. : Вузовская книга, 2004. – 248 с.
3. Черныш В.И. Введение в экологическую кибернетику / В.И. Черныш. – М. : ЦАО, 1990. – 568 с.
4. Файнзильберг Л.С. Математические методы оценки полезности диагностических признаков : монография / Л.С. Файнзильберг. – К. : Освіта України, 2010. – 152 с.
5. Вопросы статистической теории распознавания / Ю.Л. Барабаш, Б.В. Варский, В.Т. Зиновьев и др. – М. : Советское радио, 1967. – 399 с.
6. Горелик А.Л. Современное состояние проблемы распознавания / А.Л. Горелик, И.Б. Гуревич, В.А. Скрипник. – М. : Радио и связь, 1985. – 160 с.
7. Горелик А.Л. Методы распознавания / А.Л. Горелик, В.А. Скрипник. – М. : Высшая школа, 1989. – 230 с.

8. *Kailaht T.* The Divergence and Bhattacharya distance Measures in Signal selection / *T.Kailaht* // IEEE Transaction on Communication Technology, COM-15. – № 1. – 1967. – Pp. 281–289.
9. *Ту Дж.* Принципы распознавания образов : пер. с англ. / *Ту Дж., Р.Гонсалес* ; под ред. *Ю.В. Линника*. – М. : Мир, 1978. – 412 с.
10. *Анисимов Б.В.* Распознавание и цифровая обработка изображений : учеб. пособие / *Б.В. Анисимов, В.Д. Курганов, В.К. Злобин*. – М. : Высшая школа, 1983. – 295 с.
11. *Биргер И.А.* Определение диагностической ценности признаков / *И.А. Биргер*. – Кибернетика. – 1968. – № 34. – С. 80–85.

ГУМЕНЮК Максим Олексійович – науковий співробітник Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– розробка алгоритмів обробки інформації.

Тел.: (067)215-01-75.

E-mail: maxxxx-ua@mail.ru

Стаття надійшла до редакції 22.05.2012

Гуменюк М.О. Достатня умова інформативності параметра діагностики складної радіотехнічної системи
Гуменюк М.А. Достаточное условие информативности параметра диагностики сложной радиотехнической системы

Humeniuk M.O. Sufficient condition of diagnostic parameter information capability of complex radio system

УДК 681.32

Достаточное условие информативности параметра диагностики сложной радиотехнической системы / М.А. Гуменюк

Осуществлено доказательство достаточного условия информативности параметра диагностики сложной радиотехнической системы с необходимой вероятностью принятия решения о состоянии системы. Доказанное условие может быть использовано для определения полезности параметров диагностики сложной радиотехнической системы.

УДК 681.32

Sufficient condition of diagnostic parameter information capability of complex radio system / M.O. Humeniuk

Proof of sufficient condition of diagnostic parameter information capability of complex radio system with required decision probability of system state is carried out. Proved condition can be used for diagnostic parameters utility determination of complex radio system.