

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДА НАВЧАННЯ ЛІНІЙНОГО ПОРОГОВОГО ЕЛЕМЕНТА В ЗАДАЧАХ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЖЕРЕЛ РАДІОСИГНАЛІВ

Колесніков О.М., Єлізаренко І.О.

Український державний центр радіочастот (УДЦР),
Україна

E-mail: kan1962doka@gmail.com

Abstract

Ensuring the effective use of the radio frequency spectrum requires the availability of up-to-date information about the actual state of its use. Obtaining such information is achieved by building automated information systems for radio frequency spectrum management and a radio control system. The technical basis of the radio control system is an automated radio frequency monitoring system, which includes both stationary and mobile radio monitoring stations and automated radio monitoring control systems. The application of pattern recognition technology for the task of identifying sources of radio radiation signals is shown on the example of the method of learning a linear threshold element. Based on this, one of the promising areas of work in this field is the use of artificial neural networks, which will allow the implementation of a parallel distributed processor and ensure reliable automatic identification of sources of radio radiation signals.

Радіочастотний спектр є стратегічним ресурсом держави. Управління та регулювання у сфері використання радіочастотного спектру здійснюється державою на основі Конституції України, Закону України “Про електронні комунікації”, інших актів законодавства, а також міжнародних договорів України, згода на обов’язковість яких надана Верховною Радою України. Згідно частині 2 статті 46 Закону України “Про електронні комунікації” технічні принципи користування радіочастотним спектром визначаються у плані розподілу і користування радіочастотним спектром в Україні з урахуванням особливостей відповідного радіочастотного спектра та необхідності забезпечення:

- захисту від радіозавад та їх мінімізації;
- створення належних умов для спільного використання радіочастотного спектра, за необхідності;
- показників якості електронних комунікаційних послуг;
- визначених законом цілей суспільного інтересу;
- ефективного використання радіочастотного спектра.

Забезпечення ефективного використання радіочастотного спектра потребує наявності актуальної інформації про реальний стан його використання. Отримання такої інформації досягається шляхом побудови автоматизованих інформаційних систем управління радіочастотним спектром і системи радіоконтролю. Технічною основою системи радіоконтролю в Україні є автоматизована система радіочастотного моніторингу, що включає як стаціонарні, так і мобільні станції радіомоніторингу та автоматизовані комплекси управління засобами радіомоніторингу [1].

Основними завданнями радіочастотного моніторингу є [2]:

- визначення відповідності параметрів випромінювання радіообладнання технічним та експлуатаційним умовам присвоєнь радіочастот, які впливають на електромагнітну сумісність, вжиття заходів по усуненню виявлених невідповідностей;
 - сприяння загальним, спеціальним користувачам та НКЕК у вирішенні питань, пов’язаних із впливом радіозавад;
 - збір та обробка даних;
-

- визначення на підставі аналізу даних радіочастотного моніторингу;
- можливості удосконалення розподілу смуг радіочастот;
- можливості впровадження нових радіотехнологій та зміни до умов або припинення застосування діючих радіотехнологій;
- необхідності здійснення міжнародно-правового захисту інтересів України з питань користування радіочастотним спектром;
- виявлення незаконно діючого радіообладнання або випромінювальних пристроїв, вжиття заходів в межах компетенції щодо припинення його застосування, у тому числі у смугах радіочастот спеціального користування.

Для вирішення зазначених завдань станції радіомоніторингу оснащуються відповідним обладнанням та програмним забезпеченням. В останні роки з'явилося обладнання, яке забезпечує автоматизовану обробку та аналіз прийнятих сигналів на основі кореляційного методу. Зокрема, цей метод використовується для вирішення задачі ідентифікації сигналів джерел радіовипромінювань (ДРВ). Однак, застосування кореляційного методу, має низку обмежень, пов'язаних з визначенням виду модуляції сигналів та наповненням електронної бази даних ДРВ, які можуть брати участь у механізмі створення радіоперешкод [3].

Постановка задачі. Метою ідентифікації сигналів ДРВ є встановлення відповідності того, що в контрольній смузі частот працює саме той передавач, який повинен працювати, і що параметри його випромінювання відповідають тим, що були йому визначені.

Як правило, процес прийняття рішень про ідентифікацію сигналів ДРВ відбувається в умовах невизначеності та сигнально-завадової обстановки, що швидко змінюється, обліку великої кількості суперечливих вимог. У таких умовах добре себе зарекомендували підходи, засновані на ідеях та методах теорії розпізнавання та класифікації образів [4, 5].

Ідентифікація сигналів можлива за наявності деякої вихідної інформації (або пристроїв, які забезпечують її отримання під час навчання) про сигнали, які потребують класифікації. Існуюче обладнання радіомоніторингу дозволяє приймати сигнали з різними видами модуляції та проводити вимірювання наступних параметрів радіовипромінювань:

- несучої (або центральної) частоти радіовипромінювання;
- ширини займаної смуги частот радіовипромінювання;
- рівня прийнятого сигналу;
- параметра модуляції.

Таким чином, система ідентифікації сигналів ДРВ може складатися з двох основних частин: вхідного пристрою та пристрою прийняття рішення (класифікатора). У вхідному пристрої відбувається вимірювання параметрів радіовипромінювань та перетворення їх у форму, зручну для подальшого аналізу. Результати цього перетворення дають n - вимірний вектор

$$X=(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

який назвемо кодом об'єкта, де x_1, x_2, \dots, x_n – числові значення ознак (параметрів) радіовипромінювань. Тоді сукупність векторів, які відповідають об'єктам R різних класів (образів), утворюють окремі області $R_i (i = \overline{1, R})$ в n - мірному просторі кодів об'єктів.

Задача ідентифікації сигналів ДРВ полягає у побудові у просторі X^n поверхні, що розділяє безліч областей R_i , що відповідають різним класам випромінювань. Ця побудова виконується за векторами, що з'являються в процесі “навчання” X , про кожного з яких “вчитель” додатково повідомляє класифікатору про належність його до конкретного класу. Після побудови такої поверхні нові вектори будуть ідентифікуватися класифікатором залежно від їх положень відносно поверхні, що розділяє.

Розділяючи поверхні будь-якого класифікатора об'єктів можна повністю визначити R скалярними функціями $g_1(X), \dots, g_R(X)$, які називаються дискримінантними функціями (ДФ) [4]. ДФ обирають так, щоб виконувалася умова:

$$\forall X \in R_i \quad g_i(X) > g_j(X) \quad \text{при } i, j = 1, 2, \dots, R, \quad i \neq j, \quad (2)$$

тобто i -я – дискримінантна функція на області R_i приймає найбільше значення в порівнянні з іншими ДФ. Тоді поверхня, що розділяє суміжні області R_i та R_j , визначається рівнянням

$$g_i(X) - g_j(X) = 0. \quad (3)$$

Заради простоти будемо розглядати лінійні ДФ виду

$$g(X) = \sum_{i=1}^n \omega_i x_i + \omega_{n+1} = X \cdot W + \omega_{n+1}, \quad (4)$$

де $\omega_i (i = 1, \dots, n)$ – вагові коефіцієнти або компоненти вектора ваг $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$.

Опис методу. Нехай $\mathbf{x} = \{X_1, \dots, X_M\}$ – кінцева множина об'єктів $X_j (j = \overline{1, M})$, які класифіковані так, що кожен об'єкт належить лише одному з R класів (образів). Така класифікація розбиває \mathbf{X} на множину X_1, \dots, X_R так, що кожен об'єкт належить класу $i (i = \overline{1, R})$. Назвемо X_i навчальними вибірками. Якщо існує лінійне правило класифікації (ПК), що правильно відносить кожен об'єкт $X_i \in X_n$ до відповідного класу, то підмножини X_1, \dots, X_R називаються лінійно розділеними, і ми маємо справу з лінійною класифікацією. Іншими словами, якщо образи, що розпізнаються R_1, \dots, R_R в X^n лінійно розділені, то існують такі лінійні ДФ $g_1(X), \dots, g_R(X)$, що

$$g_i(X) > g_j(X) \quad \forall X \in X_i, \quad (5)$$

$$j = 1, \dots, R; \quad j \neq i \quad \forall i = 1, \dots, R$$

і можна машинним шляхом отримати нові знання у формі правила, що розпізнає, (закономірності) $\Phi(X)$:

$$\Phi(X) = g_i(X) = \max\{g_1(X), g_2(X), \dots, g_R(X)\}, \text{ якщо } X \in X_i. \quad (6)$$

У разі двох класів ($R=2$) знання, що треба зайти, описуються у формі ПК:

$$\begin{cases} g(X) > 0, \text{ якщо } X \in X_1, \\ g(X) < 0, \text{ якщо } X \in X_2. \end{cases} \quad (7)$$

Навчання будемо проводити за допомогою алгоритму отримання класифікуючих знань методом навчання лінійного порогового елемента (ЛПЕ), що реалізує підбір ваг w_1, \dots, w_n .

Лінійним пороговим елементом називається пристрій, що реалізує лінійну ДФ виду (4) так, що на виході ЛПЕ з'являється сигнал "+1", якщо $g(X) > 0$, и "-1", якщо $g(X) < 0$. Блок-схема ЛПЕ зображена на рис.1.

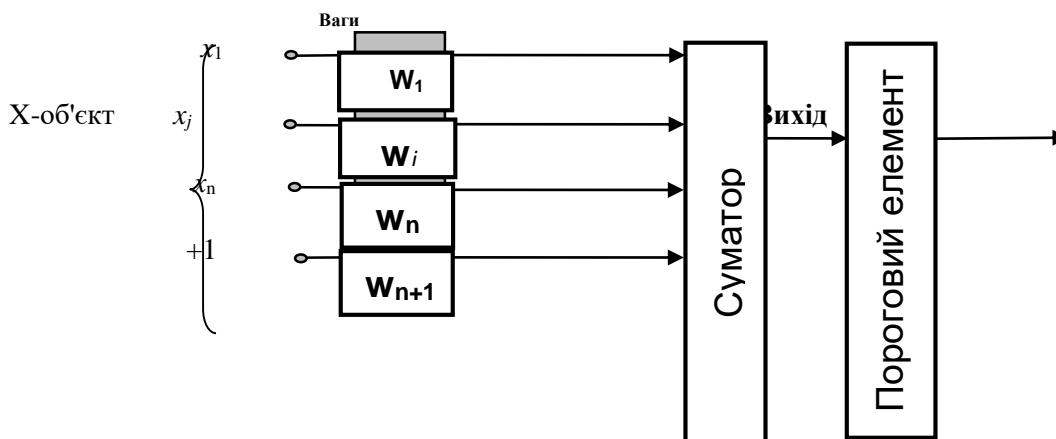


Рис.1. Блок-схема ЛПЕ

Завдання полягає в тому, щоб “навчити” ЛПЕ за допомогою алгоритму, що треба знайти, формувати на виході “+1” при появі на його вході об'єкта $X \in K_1$ і сигнал “-1” у разі будь-якого об'єкта $X \in K_2$.

Навчання ЛПЕ. Розглянемо алгоритм, який передбачає ітераційний процес коригування ваг w_i , що відповідає послідовній зміні положення та орієнтації гіперплощини, що розділяє класи K_1 і K_2 .

Для з'ясування цього процесу введемо розширений вектор-об'єкт Y :

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_D), \quad (8)$$

де $y_i = x_i$, $D = n + 1$, $y_D = +1$, $i = 1, 2, \dots, n$, і перейдемо в новий простір ваг $W^D = \{w_1, \dots, w_n, w_{n+1=D}\}$.

В просторі W^D лінійна ДФ виду

$$g(X) = Y \cdot W = 0 \quad (9)$$

визначає гіперплощину і називається площиною об'єкта (ПО). ПО ділить простір W^D на два класи так, що ті з точок W , які для об'єкту Y забезпечують на виході "+1", лежать по один бік гіперплощини (позитивна сторона), а по негативну сторону розташовуються точки, що дають на виході ЛПЕ "-1".

Припущення про лінійну роздільність K_1 і K_2 означає, що існує вектор W , який має назву ваговий вектор, що вирішує, такий що

$$\begin{cases} Y \cdot W > 0, & \text{для } \forall Y \in K_1, \\ Y \cdot W < 0, & \text{для } \forall Y \in K_2. \end{cases} \quad (10)$$

Вектор W можна визначити за навчальною вибіркою за допомогою алгоритмів з виправленням помилок у процесі циклічного пред'явлення навчальних об'єктів Y .

Якщо, наприклад, для деякого об'єкту $Y \in K_1$ з вагою W на виході ЛПЕ маємо "-1" (тобто $Y \cdot W < 0$) замість $Y \cdot W > 0$, що означає помилку, або $Y \cdot W = 0$, тобто вихід не визначений, то цю помилку можна виправити, перенісши W в точку на позитивному боці площини об'єкта. Це можна здійснити найкоротшим шляхом по лінії, перпендикулярній до ПО (9), тобто додаючи до W вектор об'єкту Y і отримуючи, таким чином, новий ваговий вектор W' рівний

$$W' = W + CY, \quad (11)$$

де C – позитивне число, що називається коефіцієнтом корекції.

Для досить великих C точка ваг W' перейде на інший бік гіперплощини і $Y \cdot W' > 0$. Якби W помилково потрапив би на позитивний бік площини об'єкта, то тоді

$$W' = W - CY. \quad (12)$$

Після узагальнення виразів (11), (12), при $C=1$ алгоритм навчання набуде вигляду:

$$\begin{aligned} &\text{якщо } Y_i \in K_1 \text{ та } Y \cdot W < 0; \\ &\text{якщо } Y_i \in K_2 \text{ та } Y \cdot W > 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Початковий вектор W в алгоритмі (13) вибирається випадково, чи рівним 0.

Заключення

На прикладі методу навчання лінійного порогового елемента показано застосування технології розпізнавання образів для задачі ідентифікації сигналів ДРВ. Виходячи з цього, одним

із перспективних напрямів роботи в цій галузі є використання штучних нейронних мереж, що дозволить реалізувати паралельно розподілений процесор та забезпечити достовірну автоматичну ідентифікацію сигналів ДРВ.

Література

1. Ільченко М.Ю., Наритник Т.М., Капштик С.В., Авдєєнко Г.Л., Корсун В.І., Присяжний В.І. Планування та електромагнітна сумісність в безпроводових інфокомунікаціях: Навч. посібник. – Електронне мережне навчальне видання. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.— 275 с.
2. Порядок здійснення радіочастотного моніторингу у смугах радіочастот загального користування, затверджений Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку 19.04.2023 року № 139, зареєстровано в Міністерстві Юстиції України 08.05.2023 р. за № 758/39814.
3. Ральников В.И., Харченко И.П. Идентификация источников помех с помощью корреляционного регистратора // Электросвязь. – 2001. - № 9. – С.23–29.
4. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. – М.: Мир, 1978. – 411 с.