

лу  $u_c(t)$  на вході радіоприймача РПрП1. Тому застосування нечіткого регулятора для систем, що функціонують на базі наведеної математичної моделі, доцільне й перспективне.

#### Література

1. Алтунин, А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: монография / А. Е. Алтунин, М. В. Семухин.— Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2000.— 352 с.

2. Гостев, В. И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления / В. И. Гостев.— К.: Радиоаматор, 2003.— 512 с.

3. Гостев, В. И. Синтез цифровых регуляторов систем автоматического управления / В. И. Гостев, Д. А. Худой, А. А. Баранов.— К.: Радиоаматор, 2000.— 400 с.

4. Дьяконов, В. Математические пакеты расширения MATLAB: спец. справочник / В. Дьяконов, В. Круглов.— СПб.: Питер, 2001.— 480 с.

5. Интеллектуальные системы автоматического управления; под ред. И. М. Макарова, В. М. Лохина.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.— 576 с.

6. Кондрашов, В. Е. MATLAB как система программирования научно-технических расчетов / В. Е. Кондрашов, С. Б. Королев.— М.: Мир, 2002.— 359 с.

7. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков.— СПб.: БХВ-Петербург, 2003.— 736 с.

8. Олссон, Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Олссон, Дж. Пиани.— СПб.: Невский Диалект, 2001.— 557 с.

Рецензент: доктор техн. наук, професор Б. Ю. Жураковський, Державний університет телекомунікацій, Київ.

О. Н. Ткаленко

#### АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМЕ АРМП ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ

Рассмотрена математическая модель системы АРМП, составленная в интерактивной системе MATLAB с использованием регулятора, работающего на базе нечеткой логики. Проанализированы процессы, протекающие в системе при наличии мультипликативных помех.

**Ключевые слова:** система автоматического регулирования мощности передатчика; мультипликативные помехи; аддитивные помехи; нечеткая логика; регулятор; математическая модель; фаззи-система; аттенюатор.

О. М. Tkalenko

#### ANALYSIS OF THE USE OF DIGITAL FUZZY CONTROLLER IN THE SYSTEM ACPT WHEN EXPOSED MULTIPLICATIVE NOISES

In the article the mathematical model of the system ACPT, composed in an interactive system MATLAB, using the controller, which is based on fuzzy logic. The processes of the system in the presence of multiplicative noises.

**Keywords:** system of automatic control of power of transmitter; multiplicative distorting actions; additive distorting actions; fuzzy logic; controller; mathematical model; fuzzy-system; attenuator.

УДК 621.391.82

В. С. НАКОНЕЧНИЙ, доктор техн. наук, ст. наук. співробітник,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ МЕТОДОЛОГІЇ ПОБУДОВИ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ

Розглянуто ідеологію розробки сучасних радіотехнічних систем розпізнавання. Обґрунтовано й визначено концептуальні засади та головні положення методології їх побудови. Подано найбільш загальний опис створюваної системи з використанням функціоналу ефективності, який слугує вихідною позицією для подальшої деталізації опису за допомогою декомпозиції метасистеми на підсистеми та елементи, пов'язані з нею певними залежностями.

**Ключові слова:** класифікаційні ознаки; об'єкт моніторингу; радіотехнічна система; ефективність розпізнавання.

#### Вступ

Створення високоефективних радіотехнічних систем розпізнавання (РТСР) об'єктів моніторингу (ОМ) в сучасних умовах вимагає фундаментальних і прикладних наукових досліджень, пошуків новітніх підходів до формування ідеології, розробки методології та технологій побудови зазначених систем. На основі аналізу причин виникнення і суті проблеми щодо принципів побудови РТСР, а також пошуку підходів і методів її розв'язання було розроблено методологію створення проблемно-орієнтованих радіотехнічних систем радіолокаційного моніторингу та розпізнавання.

**Мета статті** — розкрити суть проблеми, що полягає в підвищенні ефективності розпізнавання ОМ.

Річ у тім, що при побудові РТСР слід виходити з цільового призначення таких систем, тобто з визначення їх місця та ролі в системі більш високого порядку — так званій *метасистемі* (МС), у структурі та в інтересах якої функціонуватиме створювана система. Це дає змогу сформулювати найбільш загальний опис створюваної системи за допомогою *функціоналу ефективності* [1]. Ефективність — вихідна позиція для подальшої деталізації опису за допомогою декомпозиції МС на підсистеми та елементи, пов'язані з нею певними залежностями. Ці залежності враховуються включенням у функціонал ефективності відповідних факторів. Далі здійснюється оптимізація підсистем з урахуванням фізичних, економічних, конструктивних та інших обмежень. Таку послідовну оптимізацію слід виконувати за одним і тим самим критерієм, підтверджуючи актуальність його вибору.

### Основна частина

Для з'ясування суті проблеми підвищення ефективності РТСР, а також підходів до її розв'язання розглянемо в загальному вигляді завдання розпізнавання.

Нехай маємо множину  $W = \{w_i\}$ ,  $i = 1, \dots, \rho$ , об'єктів зовнішнього середовища, на якій існує розбиття на скінченну кількість підмножин — так званих *класів*  $L = \{A_\mu\}$ ,  $\mu = 1, \dots, M$ .

Сукупність  $L = \bigcup_{\mu=1}^M A_\mu$  — *алфавіт класів*, у загальному випадку визначено не повністю. Задано лише

деяку апріорну інформацію  $J(M)$  про класи, тоді як кількість  $M$  класів невідома. Об'єкти  $w$  зовнішнього середовища подаються сукупністю числових значень результатів деяких вимірювань, що становлять *портрет об'єкта розпізнавання*. Сукупність, створена з  $N$  значень ознак, що визначають *словник ознак*  $X = \{x_j\}$ ,  $j = 1, \dots, N$ , за якими, власне, здійснюється розпізнавання, може бути знайдена за допомогою попередньої обробки (перетворення)  $J(w)$ , тобто  $x_j = J(w_j) \cdot w_j$ . Чим більші значення  $M$  і  $N$ , тим ширший алфавіт класів і, отже, тим більшою мірою класи перетинаються між собою, що відбиває складність зовнішнього середовища.

Спостереження (вимірювання характеристик) об'єктів зовнішнього середовища пов'язані зі значними дестабілізуючими чинниками, що мають випадковий характер (завади і шуми різного роду, інструментальні похибки, нестабільність джерел живлення і т. ін.), а тому ознаки розпізнаваних об'єктів і їхні портрети будуть імовірнісними. Це можна врахувати *функцією щільності ймовірності* (ФЩІ)  $f(X)$ , яка являє собою суму розподілів ознак за всіма класами [2]:

$$f(X) = \sum_{\mu=1}^M f(A_\mu) \cdot f(X/A_\mu),$$

де  $f(A_\mu)$  — ФЩІ появи  $\mu$ -го класу;  $f(X/A_\mu)$  — функція щільності умовної ймовірності ознак  $X$  у разі появи  $\mu$ -го класу.

Зауважимо, що просторово-часові зміни параметрів об'єктів вимагають урахування змінюваності  $f(X)$  як процесу, що розгортається в часі, відбиваючи динамічність зовнішнього середовища.

Сукупність  $X$  випадкових відображень об'єктів зовнішнього середовища трансформується внаслідок навчання в *імовірнісний портрет* об'єкта

$$\Pi(X) = Y_{\text{навч}}(X) \cdot X,$$

де  $Y_{\text{навч}}(X)$  — оператор підсистеми навчання в РТСР, що визначає її цільове та функціональне призначення.

Імовірнісний портрет виконує роль узагальненого імовірнісного еталона, що формується в процесі навчання і використовується при розв'язанні задачі розпізнавання.

Таким чином, завдання розпізнавання полягає в тому, щоб для об'єкта  $w_i$  зовнішнього середовища, алфавіту класів  $L = \{A_\mu\}$ ,  $\mu = 1, \dots, M$  (чи апріорної інформації  $J(M)$  про класи) і словника ознак  $X = \{x_j\}$ ,  $j = 1, \dots, N$ , на підставі отриманого опису  $X$  і його ймовірнісного портрета  $\Pi(X)$  ухвалити рішення щодо належності об'єкта  $w_i$  одному з класів  $A_\mu$ , тобто

$$H(w_i/A_\mu) \rightarrow w_i \in A_\mu, \quad \mu = 1, \dots, M.$$

Можливість динамічної зміни структури зовнішнього середовища, тобто  $w_i(t) \in W(t) \rightarrow \text{var}$ , призводить до невідповідності значень  $w_i$  і  $A_\mu$ , а через це маємо суперечливу інформацію при розпізнаванні. Ефективність розв'язання задачі ідентифікації ОМ у РТСР оцінюється за багатьма *критеріями*. Саме цим і зумовлюється складність проблеми розпізнавання. Загалом критерії ефективності можна поділити на *частинні*, що оцінюють власне якість процесу розпізнавання, та *загальні* (метакритерії), що оцінюють ефект, отриманий при реалізації результатів розпізнавання.

При виборі метакритерію рекомендується виходити з таких міркувань [1].

1. Метакритерій має дозволяти оцінювати ефективність використання результатів розпізнавання в процесі функціонування РТСР.

2. Загальність метакритерію має відповідати змісту завдань, що розв'язуються з прийнятними результатами розпізнавання.

3. Метакритерій повинен мати чіткий фізичний сенс, пов'язаний з ефективністю застосування метасистеми і залежати від мінімальної кількості параметрів, не пов'язаних із завданням розпізнавання.

Згідно з принципом забезпечення максимальної ефективності рішень, що ухвалюються метасистемою за результатами розпізнавання, беруть як метакритерій  $R$  ефективності математичне сподівання виграшу тієї РТСП, у структурі якої розв'язується завдання розпізнавання [3]:

$$R = M \left\{ G(A_{\mu}^{K_i}) \right\} = \sum_{i=1}^M P_{\text{пр}}(A_{\mu}^{K_i} / \lambda) G(A_{\mu}^{K_i}),$$

де  $G(A_{\mu}^{K_i})$  — виграш, пов'язаний із реалізацією можливих рішень при розпізнаванні об'єкта  $w_i$ , віднесеного до класу  $A_{\mu}$  за варіантом класифікації  $K_i$ ;  $P_{\text{пр}}$  — імовірність правильного розв'язання задачі розпізнавання всіх класів;  $\lambda$  — вектор, компоненти якого набувають значень 1 або 0 — залежно від факту використання ознаки  $x_j$  у робочому словнику ознак РТСП.

За такого підходу до вибору критерію ефективності оптимізується завдання вибору алфавіту класів і словника ознак, тобто в межах виділених ресурсів  $C$  реалізується такий варіант  $K_i$  розбиття об'єктів  $w_i$  на класи  $A_{\mu}$  і такий словник ознак  $X$ , заданий вектором  $\lambda_i$ , щоб справджувалися

$$R_{\max}(K_i, \lambda_i) = \max_{K_i} \max_{\lambda_i} R(K_i, \lambda_i) = \max_{K_i} \max_{\lambda_i} \sum_{i=1}^M P_{\text{пр}}(A_{\mu}^{K_i} / \lambda) G(A_{\mu}^{K_i})$$

у разі виконання умови

$$C_r = \sum_{i=1}^M \lambda_i C_i \leq C_{r_{\text{доп}}}.$$

Розв'язуючи сформульовану оптимізаційну задачу, знаходимо оптимальний алфавіт класів і словник ознак, а отже, і оптимальний розв'язок задачі класифікації ОМ. Вважається, що саме такі значення алфавіту класів за заданих обмежень забезпечують ухвалення РТСП найбільш ефективного рішення за результатами здійсненого розпізнавання.

У цій статті пропонується такий підхід до вибору критерію ефективності РТСП.

Як **основний постулат** приймається твердження про те, що РТСП і зовнішнє середовище являють собою антропогенну систему, звідки впливає адекватність властивостей РТСП і зовнішнього середовища. Цим самим припускається побудова адекватних математичних моделей зовнішнього середовища і розроблюваної РТСП, що відбивають взаємні зв'язки елементів її структури.

Із погляду системного аналізу ефективність систем розпізнавання (СР) залежить від параметрів (ознак) зовнішнього середовища  $X = \{x_j\}$ ,  $j = 1, \dots, N$ , і параметрів структури самої системи  $S = \{S_K\}$ ,  $K = 1, \dots, d$ , причому параметри структури СР характеризують як елементи цієї структури, так і зв'язки між ними (рис. 1).

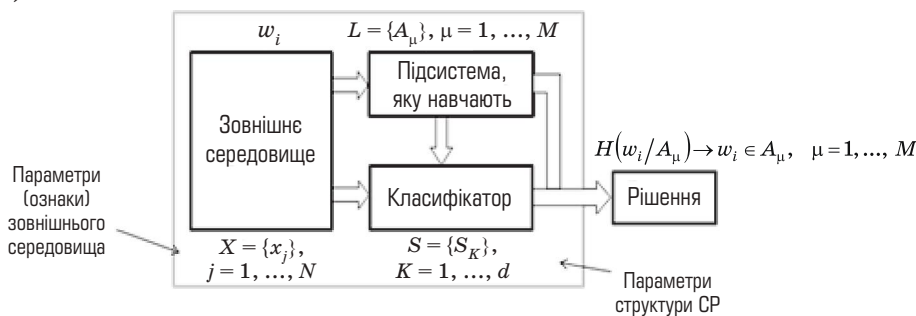


Рис. 1. Елементи структури РТСП і зв'язки між ними

Отже, ефективність РТСП у загальному вигляді оцінюється функціоналом

$$E = E \left[ \{x_j\}, j = 1, \dots, N; \{S_K\}, K = 1, \dots, d \right],$$

а розв'язання проблеми підвищення цієї ефективності зводиться до пошуку його екстремуму за заданих обмежень на витрати, пов'язаних з отриманням алфавіту  $L$  класів, вимірюванням і обробкою словника  $X$  ознак, створенням математичного забезпечення функціонування та апаратною реалізацією  $r_0$  власне СР, тобто

$$E_{\max} = \max_{X_j, S_K} E \left[ \{x_j\}, j = 1, \dots, N; \{S_K\}, K = 1, \dots, d \right],$$

у тому разі, якщо  $C_{r_0} \leq C_{r_{\text{доп}}}$ .

Використовуючи принцип декомпозиції РТСР і базуючись на феноменологічному підході до її структури, відповідно до якого кожний елемент СР є деяким багатополюсником із відомим зв'язком входу і виходу, подаємо узагальнену модель такої системи у вигляді сукупності підсистем, функціонуванню кожної з яких відповідає деякий детермінований або стохастичний оператор (рис. 2).

За такої узагальненої моделі РТСР її ефективність можна подати функціоналом виду

$$Z = \Phi \left\{ J(w_i), Y_{\text{навч}}(X), Y_K(X), Y_{\text{пом}}(C_r/A_\mu) \right\}, \quad (1)$$

де  $J(w_i)$  — оператор подання (опису) зовнішнього середовища;  $Y_{\text{навч}}(X), Y_K(X)$  — оператор відповідно перетворення в навчальній підсистемі та класифікаторі;  $Y_{\text{пом}}(C_r/A_\mu)$  — оператор оцінювання помилок ухвалення рішень.



Рис. 2. Узагальнена модель РТСР

Розв'язання задачі відшукування екстремуму функціоналу (1) зводиться до розв'язання системи рівнянь у частинних похідних у разі виконання граничних умов, проте такий шлях розв'язання є операцією, що практично не реалізовується. Тому як критерій ефективності РТСР пропонується використати функціонал (1), перетворений до вигляду

$$Z = C_r \int_X \left[ J(w_i) Y(X) w_i - J^*(w_i) Y^*(X) w_i \right]^2 f(X) dx, \quad (2)$$

де  $J(w_i), Y(X)$  — оператори перетворень у необхідній (потенційно досяжній) РТСР;  $J^*(w_i), Y^*(X)$  — оператори перетворень у реальній (тій, що розробляється) РТСР. Відмінність між  $J^*(w_i)$  і  $J(w_i)$  виникає в результаті спотворень і завад (шумів), що вносяться в процесі обробки  $w_i$ ;  $f(X)$  — розподіл імовірностей значень ознак класів (у разі апріорної невизначеності маємо  $f^*(X)$ );  $C_r$  — платіжна матриця, елементи якої відповідають правильним і помилковим рішенням.

У більшості досліджень щодо проблем розпізнавання як частинні критерії ефективності використовують умовну і безумовну ймовірність помилкових і правильних рішень різного виду, які характеризують власне процес розпізнавання.

До частинних критеріїв розпізнавання належать:

- 1) імовірність правильного розпізнавання  $P_{\text{пр } ij}$ ;
- 2) імовірність переплутування класів  $P_{\text{пом.р } ik}, P_{\text{пом.р } ik} = \int_{XK} f(X/A_\mu) dx$ ;
- 3) умовна ймовірність помилки розпізнавання  $P_{\text{пом.р } i}, P_{\text{пом.р } i} = \sum_{K=1}^M P_{\text{пом.р } ik}$ ;
- 4) середня ймовірність помилки розпізнавання  $\lambda, \lambda = \sum_j P(X_j) \lambda_j = \sum_{i,j} P(X_j) (1 - P_{\text{пр } ij})$ .

Часто є сенс застосувати монотонно спадні функції ймовірностей помилок, за допомогою яких оцінюють імовірність розпізнавання. Мірою вірогідності вважають величину  $F = K \ln P_{\text{пом.р}}$ , де  $K$  — деяка функція, що визначає завдання дослідження.

Основний недолік частинних критеріїв ефективності полягає в тому, що вони визначені на нескінченній кількості процесів розпізнавання  $P_{\text{пом.р}} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_{\text{пом}}}{N}$ .

Вважають, що чим менше  $P_{\text{пом.р}}$ , тим менше математичне сподівання  $M(N_{\text{пом}}) = P_{\text{пом.р}} N$  кількості  $N_{\text{пом}}$  помилкових розпізнавань, тим ефективніше розпізнавання.

Окрім імовірності істотною для оцінювання якості розв'язання задачі розпізнавання є оперативність розпізнавання, що характеризується часом  $t_p$  розпізнавання.

Ефективне функціонування МС у масштабі часу, близькому до реального, багато в чому визначатиметься розв'язанням власне завдання розпізнавання в реальному масштабі часу.



Отже, з урахуванням прийнятого загального критерію ефективності РТСР (2) і найбільш важливих частинних критеріїв ефективності  $P_{\text{пр.р}}$ ,  $t_{\text{р}}$  розв'язання проблеми підвищення ефективності РТСР можна сформулювати так.

Необхідно мінімізувати функціонал

$$Z_{\min} = \min_{X, Y^*} Z = C_r \int_X [J(w_i)Y(X)w_i - J^*(w_i)Y^*(X)w_i] f(X) dx, \quad (3)$$

за умови виконання таких обмежень:

$$C_r \leq C_{r \text{ доп}}; P_{\text{пр}} \geq P_{\text{пр потр}}; t_{\text{р}} \leq t_{\text{р доп}}.$$

Відшукати екстремум цього функціоналу звичайними методами неможливо через дискретність і невпорядкованість усіляких варіантів розрізнення об'єктів різних типів між класами. Повний перебір усіх можливих варіантів розв'язання в разі великих значень  $M$  і  $N$  нереальний. У таких випадках доцільно застосовувати деякі, зокрема й ітеративні, пошукові алгоритми, що використовують прирости критерію ефективності  $Z$  при різних  $A_{\mu}$  [2; 4].

### Висновки

Дослідження можливостей розв'язання проблеми підвищення ефективності РТСР необхідно здійснювати за таким планом.

1. Пошук оптимального алгоритму виявлення ОМ, що забезпечить найбільше відношення сигнал/завада на результуючому радіолокаційному зображенні.

2. Побудова адекватних інформативних моделей формалізованого опису та перетворення об'єктів зовнішнього середовища  $J(w)$ , розробка принципів і методів оптимальної класифікації, отримання оптимального щодо інформативності набору ознак  $X$ , а також їх опису з урахуванням імовірнісного характеру зовнішнього середовища  $f(X)$ .

3. Розробка і реалізація сучасних високоефективних методів розпізнавання  $Y_K^*(X)$  і навчання  $Y_{\text{навч}}^*(X)$ , що дозволять забезпечити надійне та своєчасне розпізнавання в умовах дефіциту часу, неповної, нечіткої та суперечливої інформації, що характеризується оцінками  $f^*(X)$  розподілу ймовірностей зовнішнього середовища.

4. Вибір оптимальних методів і вирішальних правил, які забезпечують максимум правильного розпізнавання  $P_{\text{пр}}$  і характеризуються деякою платіжною матрицею.

### Література

1. Новиков, В. Ф. Методы адаптации проблемно-ориентированных нейроразличных систем распознавания к изменениям внешней среды: тез. докл. науч.-техн. конф. / В. Ф. Новиков. — Житомир, 1994.
2. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: справочник; под ред. Я. Д. Ширмана. — 2-е изд., пер. и доп. — М.: Радиотехника, 2007. — 512 с.
3. Селекция и распознавание на основе локационной информации / [А. Л. Горелик, Ю. Л. Барабаш, О. В. Кривошеев, С. С. Эпштейн]; под ред. А. А. Горелика. — М.: Радио и связь, 1990. — 240 с.
4. Новиков, В. Ф. Синтез оптимальных структур нейроразличных систем распознавания радиолокационных сигналов: тез. докл. I науч. конф. КВВИУС / В. Ф. Новиков, В. В. Береза. — К., 1993.

Рецензент: доктор техн. наук, доцент І. Р. Пархомей, Державний університет телекомунікацій, Київ.

В. С. Наконечный

### КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ

Рассмотрена идеология разработки современных радиотехнических систем распознавания. Обоснованы и определены концептуальные положения методологии их построения. Представлено наиболее общее описание создаваемой системы с использованием функционала эффективности как исходной позиции для дальнейшей детализации описания — декомпозиции метасистемы на подсистемы и элементы, связанные с ней определенными зависимостями.

**Ключевые слова:** классификационные признаки; объект мониторинга; система распознавания образов; эффективность распознавания.

V. S. Nakonechniy

### FOUNDATIONS OF CONSTRUCTION METHODOLOGY OF PATTERN RECOGNITION SYSTEMS

The article discusses approaches to the development of the ideology and methodology of modern radio systems recognition. Grounded and defined the conceptual framework and its Central position in the methodology of their construction. Formulated the most General description of the system using a function of efficiency, which serves as the starting point for further detailing the description, which consists in the decomposition of metasystem into subsystems and elements, related by certain dependencies.

**Keywords:** classification features; the object of the monitoring electronic system; pattern recognition system; the efficiency of recognition.