

*О.В. Загора, к.т.н., доцент, ст. викладач, НУЦЗУ,
А.Б. Фещенко, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

АЛГОРИТМИ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ОБ'ЄКТА У СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄ ДАНІ РІЗНОРІДНИХ ДАТЧИКІВ

(представлено д-ром техн. наук Басмановим О.Є.)

Розроблено пропозиції щодо вдосконалення системи моніторингу об'єкта шляхом побудови алгоритму підсистеми визначення стану об'єкта по вектору параметрів об'єкта, вимірюваних системою моніторингу, методами теорії розпізнавання образів. Проведено обґрунтування математичних моделей образів, що розпізнаються, структури підсистеми розпізнавання.

Ключові слова: система моніторингу, комплексування сигналів, пожежний сповіщувач, виявлення пожежі, моніторинг об'єкта.

Постановка проблеми. Однією зі стійких тенденцій вдосконалення сучасних систем моніторингу є підвищення вимог до складу інформації про охоронюваний об'єкт (ОО), на якому виявлено надзвичайну ситуацію. Такі відомості отримується застосуванням спеціальних датчиків, а також збільшенням можливого переліку рішень, що приймаються по роботі системи моніторингу у позаштатних ситуаціях. Вдосконалення системи моніторингу дозволяє зменшити час реагування на виникнення надзвичайної ситуації, розширює тактичні можливості її використання, підвищує надійність системи у цілому. Певний прогрес у даному напрямку пов'язаний, зокрема, із впровадженням датчиків, що використовують для вивчень властивостей об'єкта методи активної локації [1]. Розширення складу ознак станів (датчиків) ОО та переліку рішень, що приймаються системою моніторингу, дозволяє говорити про перехід від рішення окремих задач виявлення системою моніторингу тривожних станів ОО (таких, як осередок пожежі або пошкодження зовнішньої оболонки) до задачі об'єднання різнорідної інформації у комплексній системі розпізнавання станів (КСРС) ОО на основі загальної теорії розпізнавання образів (об'єктів, станів) [2]. Представляє інтерес аналіз структури, методів, складу ознак розпізнавання і алгоритмів функціонування системи моніторингу, що реалізує такий підхід.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [3] обґрунтовано можливість зниження збитків від надзвичайної ситуації шляхом впровадження автоматичних систем раннього виявлення небезпечних факторів.

У роботі [4] розглянуто варіант побудови виявлювача станів "Тривога", "Шум", "Пожежа" ОО на основі доплерівського ультразвукового сповіщувача з роздільними каналами виявлення.

Методи виявлення пожежі і проникнення за допомогою аналізу характеристик інфразвукових акустичних процесів у повітряному середовищі ОО обґрунтовуються в роботах [5, 6], а у роботі [7] ця задача вирішується акустичним ревербераційним методом.

Звуковий метод дистанційного виявлення терморуйнування за-склених конструкцій описано у [8].

Короткий опис сучасних методів теорії розпізнавання образів на-водиться в роботі [2].

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є побудова алгоритму визначення стану об'єкта у системі моніторингу, що використовує дані різнорідних датчиків. Застосування методів теорії розпізнавання образів до вирішення завдань системи моніторингу ОО вимагає додаткового дослідження (вибору) щодо складу ознак розпізнавання, структури, методів та алгоритмів функціонування такої системи.

Важливе значення у роботі будь-якої системи розпізнавання має перелік і властивості ознак, що використовуються. Аналіз наведених публікацій дозволяє зробити висновок, що основними ознаками, які можуть бути отримані і використовуються у системі моніторингу, є ознаки, обумовлені або наявністю власних випромінювань ОО тієї чи іншої природи (перевипромінювань від джерел природного опромінення), або одержувані у процесі обробки відбитих від елементів ОО сигналів, що формуються самим датчиком.

До ознак першої групи можуть бути віднесені, наприклад:

- інфразвукові сигнали, викликані флуктуаціями тиску повітря;
- акустичні процеси, породжені акустичною емісією руйнування скла (реверберацією);

- час реверберації закритого приміщення;

- фото і відеозображення приміщення та ін.

До ознак другої групи:

- симетричність енергетичного спектру, швидкість наростання амплітуди, частотно-часова структура відбитого сигналу, прийнятого доплерівським ультразвуковим сповіщувачем;

- фото і відеозображення, сигнальні "портрети" ОО, отримані з використанням відповідного "підсвітлювання" та ін.

Рішення про віднесення поточного стану ОО до одного з можливих зі задалегідь визначеного переліку (абетки) класів приймається на основі прийнятого методу або критерію оптимальності. Існує велика кількість методів (алгоритмів) розпізнавання, які використовуються для прийняття рішень і об'єднання різнорідної інформації в сучасних системах прийняття рішень. Таке розмаїття зумовлено специфікою різних

підходів до опису розпізнаваних класів, прийняття рішень і використаних ознак, які за характером прояву і особливостям обробки у пристроях розпізнавання можна умовно розділити на скалярні (одиночні) і векторні (безперервні, кореляційні) ознаки.

Особливістю скалярних ознак є те, що кожна з них окремо може використовуватися для розбиття множини розпізнаваних об'єктів на декілька класів і розпізнавання у відповідному алфавіті класів. До таких ознак можуть бути віднесені числові характеристики (вимірювані параметри) ОО. Різні скалярні ознаки можуть використовуватися для розпізнавання як окремо, так і у сукупності з іншими ознаками, причому, порядок їх обробки принципового значення для процедури розпізнавання, як правило, не має, хоча може впливати на такі характеристики класифікатора, як швидкодія чи ін.

Векторні ознаки також є сукупностями параметрів (відліків) сигналів, проте корисна інформація при використанні цих ознак може бути отримана тільки у разі використання всієї сукупності, оскільки витягується з аналізу співвідношення різних елементів вибірки. Зазначені особливості дозволяють розглядати таку сукупність параметрів як одну векторну ознаку. До цих ознак належать безперервні сигнали, що зчитуються з виходів датчиків, такі як сигнальні портрети ОО, спектральні характеристики доплерівських сигналів, енергетичний спектр сигналу, відбитого від вогнища пожежі, та ін. Різні векторні ознаки можуть використовуватися для розпізнавання станів як самостійно, так і спільно з іншими скалярними або векторними ознаками.

Окремого дослідження вимагає питання про визначення складу розпізнаваних класів (станів ОО) і описи цих класів на мові обраних сигнальних ознак, які традиційно вирішуються методами кластеризації. Використовуючи дані, наведені у названих публікаціях, можна, наприклад, виділити у цій абетці такі стани, як:

- "Пожежа", "Ударне руйнування скла", "Горіння спирту";
 - "Тривога" (проникнення людини до приміщення);
 - "Зовнішній шум" (виявлення джерела активних перешкод);
 - "Метеорологічні феномени", "Гроза" (вітри, випуск газу під великим тиском, електричні розряди в атмосфері й ін.);
 - "Ударна хвиля" (вибухи, літаки), "Рух водних мас" (морські хвилі, греблі), "Робота машин і механізмів" та ін.,
- які, у свою чергу, можуть бути класифіковані за ступенями загроз ОО.

У досить загальному випадку в залежності від способів опису об'єктів (станів) мовою обраних ознак і правил прийняття рішень методи розпізнавання можна розділити на:

- логічні (детерміновані);
- структурні (лінгвістичні, синтаксичні);
- імовірнісні;
- нечіткі та ін.

В окремий клас можна виділити також евристичні методи, які розробляються у рамках кожного із зазначених напрямків і в ряді випадків дозволяють отримати прості і досить достовірні алгоритми класифікації.

Особливістю структурних методів є використання для опису об'єктів специфічних (структурних) граматики, що дозволяють врахувати характер взаємин різних елементів вибірки ознак (характерних елементів експериментальних кривих) і використовувати їх специфічні особливості з метою класифікації.

У логічних алгоритмах як критерій для віднесення вибірки ознак до одного з розпізнаваних класів використовується факт потрапляння вибірки параметрів сигналу в інтервали значень параметрів, визначені для даного класу, або рівність значень вибірки детермінованих ознак відповідним значенням еталонних описів класу. В якості ознак у логічних алгоритмах використовуються, як правило, виміряні значення параметрів сигналів.

Значно більшою універсальністю по використуванню ознакам відрізняються статистичні методи класифікації [9]. Синтез статистичних алгоритмів ґрунтується на використанні байєсівської стратегії (критерію) мінімізації середнього ризику (максимізації середнього виграшу) системи класифікації або на використанні інших статистичних критеріїв, таких як мінімаксий, критерій Неймана-Пірсона та ін. До імовірнісних алгоритмів відносяться також алгоритми класифікації, що використовують довірчі області (інтервали) можливих значень для параметрів випромінювань різних об'єктів. Імовірнісні властивості ознак, використуваних для класифікації об'єктів статистичними методами, задаються за допомогою спільного закону розподілу, що є статистичною моделлю поведінки ознак на інтервалі спостереження. Дані методи розраховані, в основному, на використання гаусівської, або рівномірної моделі розподілу вибірки ознак.

Разом з тим не завжди статистичні властивості ознак, використуваних для класифікації станів ОО, можуть бути описані даними розподілами, тому у наш час інтенсивно розвиваються методи, засновані на використанні інших моделей, більш адекватних умовам розпізнавання.

Нечіткі методи класифікації засновані на використанні методів теорії нечітких множин та теорії можливостей, які дозволяють формалізувати процес розпізнавання об'єктів за ознаками різної фізичної природи, що часом не піддаються опису при використанні традиційних методів. Віднесення вибірки ознак до одного з розпізнаваних класів проводиться по максимуму величини, що характеризує ступінь впевненості у тому, що вибірка відноситься до даного класу, причому отримання даних мір належності може проводитися з використанням як традиційних (статистичних, логічних та ін.) методів, так і на основі власного апарату, за наявними припущеннями і експертними оцінками характеристик класів.

Використання нечітких методів дозволяє подолати ряд складнощів, що виникають при класифікації об'єктів імовірнісними методами. Можна припустити, що в ряді випадків результати класифікації станів ОО, одержувані за допомогою нечітких яких статистичних (логічних) алгоритмів, будуть збігатися, однак статистичні методи розпізнавання дозволяють синтезувати більш обґрунтовані (менше суб'єктивні) правила, оперативно враховують наявну апріорну інформацію про об'єкти, а так ж найбільше число різних факторів, що впливають на результати класифікації.

Методи об'єднання інформації про об'єкти, які розпізнаються, розробляються у рамках кожного з названих напрямів, оскільки спільне використання різних ознак передбачає таке об'єднання. Разом з тим на різних етапах класифікації, а так само при об'єднанні ознак, що надходять від різних джерел і видобуваються різними методами можуть використовуватися різні критерії, тому остаточне рішення може прийматися шляхом використання кількох різних методів.

Отримані у низці публікацій результати свідчать про те, що найбільшу достовірність розпізнавання в умовах впливу на вимірювачі шумів і ряду випадкових факторів забезпечує байєсівський статистичний алгоритм класифікації (об'єднання ознак), при використанні якого рішення про віднесення розпізнаваного об'єкта до одного з класів приймається по максимуму після випробуваної ймовірності образу, що розраховується для наявної сукупності різнорідних ознак відповідно до критерію ідеального спостерігача.

У випадку, що розглядається, як ознаки розпізнавання використовуються ознаки статистичної природи, що інтерпретуються як крапки (вектори) у багатовимірному просторі ознак і описуються, як правило, з використанням гаусівської моделі реалізацій ознак. Зокрема, для вибірки ознак X , яка відповідає k -му класу і містить J незалежних ознак, цей розподіл має вигляд

$$p_k(X) = \prod_{j=1}^J \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_j} e^{-\frac{(x_j - m_{kj})^2}{2\sigma_j^2}}, \quad (1)$$

де m_{kj} – математичне очікування значення j -ї ознаки для k -го класу;

σ_j – параметр середньоквадратичної помилки для j -ї ознаки.

При цьому класифікація об'єктів за сукупностям ознак у ряді випадків може бути зведена до пошуку для прийнятої вибірки параметрів X еталона по мінімуму відстані Махаланобіса

$$M_k(X) = \sum_{j=1}^J \frac{(x_j - m_{kj})^2}{\sigma_j^2} = \min_{j=1..K} \{M_j(X)\}. \quad (2)$$

Геометрично цей алгоритм інтерпретується як пошук у n -вимірному просторі ознак (просторі еталонів) вектора еталона, найбільш близького до виміряного вектору вибірки ознак.

Особливістю частині використовуваних на практиці ознак є їх інтервальний (логічний) характер. Априорно для обліку цих ознак, на відміну від крапкових, можуть бути вказані досить широкі межі (на багато ширші, ніж визначаються за правилом 3σ , в яких розподіл ймовірності реалізацій інтервальний ознак є практично рівномірним. При використанні інтервальної ознаки вплив природно-фізичних факторів (шумів, похибок вимірювань) на значення реалізацій ознак є, як правило, несуттєвим; потрапляння вибірки на перетин областей визначень різних класів може бути регулярним.

Статистичною моделлю j -ї ознаки k -го класу в умовах априорної невизначеності є композиція рівномірного і нормального законів (рівно-нормальний закон)

$$p_k(x_j) = \frac{1}{(b_{kj} - a_{kj})} \left[\hat{O} \left[\frac{(b_{kj} - x_j)}{\sigma_j} \right] - \hat{O} \left[\frac{(a_{kj} - x_j)}{\sigma_j} \right] \right], \quad (3)$$

де a_{kj}, b_{kj} – нижня і верхня межі діапазону можливих значень ознаки.

Цей розподіл при $(b_{kj} - a_{kj}) \gg \sigma_j$ добре апроксимується рівномірним розподілом, що, у свою чергу, дозволяє обґрунтувати логічний критерій (алгоритм) розпізнавання k -ї гіпотези

$$H^* = H_k, \quad \text{при } a_{kj} \leq x_j \leq b_{kj}, \quad j=1, \dots, J, \quad (4)$$

як правило, оптимальний за статистичним критерієм ідеального спостерігача.

Виходячи з цих правил розпізнавання образу (стану ОО) загальну структуру КСРС ОО можна представити як послідовність процедур обробки сигнальних ознак КСРС (рис. 1), яка містить:

АЦП- аналогово-цифрове перетворення вихідних сигналів, отримання вибірки ознак стану ОО;

АЛП (арифметико-логічний пристрій) – порівняння вектора ознак з описами можливих станів ОО, що зберігаються у базі даних станів (БДС), розрахунок ступеня їх близькості;

БПР (блок прийняття рішення) – прийняття КСРС остаточного рішення про стан ОО і передача відповідним споживачам.

У випадку, якщо в процесі роботи передбачається адаптація КСРС до конкретного середовища функціонування (що можливо, якщо на етапі її розробки і виробництва не вдасться скласти повний опис розпізнаваних класів на мові обраних ознак), до її складу повинна бути введена підсистема навчання (самонавчання) і ручного коректування параметрів станів.

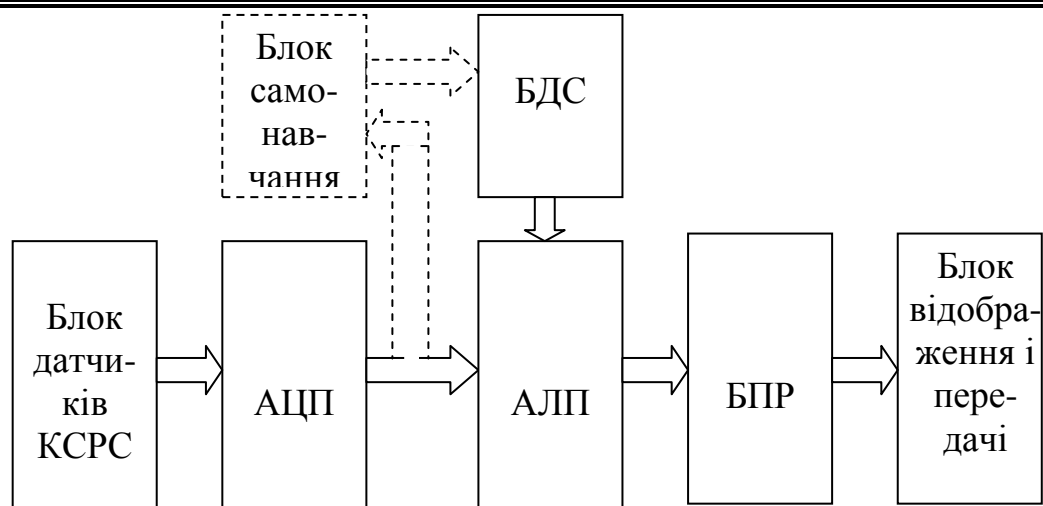


Рис. 1. Узагальнена структурна схема КСРС

Висновки. На основі аналізу даних про властивості об'єкту, одержуваних за допомогою різномірних датчиків систем пожежної автоматики, запропоновано алгоритми функціонування і узагальнену структуру комплексної системи розпізнавання стану об'єкту, що охороняється, яка дозволяє отримати уточнену інформацію про поточний стан об'єкту під час нештатних обставин, розширює тактичні можливості використання системи моніторингу та зменшує час подолання надзвичайної ситуації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Членов А.Н. Акустические методы обнаружения пожара: материалы 5-й гл. монографии "Новые методы и технические средства обнаружения пожара" / А.Н. Членов, Т.А. Буцынская. – [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://agps-2006.narod.ru/esb/sem_1/esb-01-05.pdf.
2. Горелик А.Л. Методы распознавания: Учеб. посб. для вузов. 3-е изд. / Горелик А.Л., Скрипкин В.А. – М.: Высш. шк., 1989. – 256 с.
3. Абрамов Ю.А. Алгоритм диагностики датчиков первичной информации систем ослабления последствий аварий на АЭС / Ю.А. Абрамов, Н.Н. Кулешов, А.М. Тищенко // Проблемы надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. / НУЦЗ України. – Вип. 15 (2012). – Харків: НУЦЗУ, 2012. – С. 3-7. – [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://edu-mns.org.ua/nmc/116/pns15.pdf>.
4. Буцынская Т.А., Членов А.Н. Вероятностная характеристика обнаружения очага пожара двухканальным ультразвуковым доплеровским извещателем / Т.А. Буцынская, А.Н. Членов // Матер.науч.-практ. конф. ВВШ МВД России. – Воронеж: ВВШ МВД России, 1998. – С.37-39.
5. Топольский Н.Г. Акустические извещатели охранно-пожарной сигнализации интегрированных автоматизированных систем безопасности /

Топольский Н.Г., Членов А.Н., Буцынская Т.А. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 264 с.

6. Пузач С.В., Поляков Ю.А. Обоснование возможности раннего обнаружения возгорания в помещении с помощью датчиков давления / С.В. Пузач, Ю.А. Поляков // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – Вып. 3. – 1999. – С. 53-56.

7. Членов А.Н. Акустический ревербационный метод обнаружения нарушителя и очага пожара / А.Н. Членов // Матер. VII междунар. конф. "Системы безопасности". – СБ-98. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – С. 93-94.

8. Членов А.Н., Лавлинский Л.Л. Параметры акустической эмиссии при разрушении остекленных конструкций в результате термоудара / А.Н. Членов, Л.Л. Лавлинский // Матер.науч.-практ.всерос.конф. "Современные проблемы тушения пожаров". – М.: МИПБ МВД России, 1999. – С. 266-268.

9. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов / К Фукунага. Пер.с англ. – М.: Наука, 1979. – 368 с.

А.В. Загора, А.Б. Фещенко

Алгоритмы определения состояния объекта в системе мониторинга, использующей данные разнородных датчиков

Разработаны предложения по совершенствованию системы мониторинга объекта путем построения алгоритма подсистемы определения состояния объекта защиты по вектору параметров объекта, измеряемых системой мониторинга, методами теории распознавания образов. Проведено обоснование математических моделей распознаваемых образов, структуры подсистемы распознавания.

Ключевые слова: система мониторинга, комплексирование сигналов, пожарный извещатель, обнаружение пожара, мониторинг объекта.

O.V. Zakora, A.B. Feshchenko

Algorithms determine the state of an object in the monitoring system that uses heterogeneous sensor data

The proposals for improving the system of object monitoring by constructing an algorithm determine the status of the object of protection to the vector of parameters measured using the theory of pattern recognition. A study of mathematical models of pattern recognition, pattern recognition subsystem structure.

Keywords: system of fire alarm systems, interconnecting signals, fire alarm, fire detection, object monitoring.