

УДК 621.383.8:621.396.96

Я.Драган, док. фіз.-мат. наук; П.Євтух, канд. техн. наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПРИРОДНИХ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ

На основі системних досліджень виявлено доцільність застосування біологічних тест-об'єктів у природних умовах їх життя для оцінювання екологічного стану природних вод рекреаційних зон України.

Розвиток промислових технологій в останні роки призвів до того, що до навколишнього природне середовища можуть потрапляти нові, непередбачувані токсичні сполуки, виявити які відомими фізичними й хімічними методами та засобами не завжди можливо. Вони утворюються, фактично, неконтрольовано, як побічний

негативний продукт людської діяльності. Розчиняючись у водному середовищі, вони через харчові ланки потрапляють до організмів живих істот, де нагромаджуються і негативно впливають на життєво важливі процеси. Така тенденція у майбутньому ще більше загостриться. Нові токсичні сполуки у навколишньому середовищі призводять до таких захворювань, з якими охорона здоров'я не здатна боротися через відсутність апробованих методів діагностування, профілактики та лікування. У зв'язку з цим стають актуальними методи виявлення токсичних сполук не відомої заздалегідь природи на ранній стадії їх появи, до завдання ними помітної шкоди як довкіллю, так і людській популяції. Автори статті пропонують розв'язувати проблему раннього виявлення токсичних сполук невідомої природи на базі системної концепції досліджень екологічного стану водних середовищ рекреаційних зон України.

Суть запропонованого підходу така. Головними в складних системах є інформаційні процеси - прийняття рішень, відбір і передавання інформації, формування з них рішень у даній конкретній ситуації і у формі, придатній для цього. Вирішальним фактором при цьому є те, що множина рішень є дискретною (і навіть, як правило, скінченною). Це відображено у концепції альтернативи, розв'язання якої вимагає одного біта інформації, а вибір з багатьох можливостей можна подати як розв'язання послідовної низки альтернатив: коли є N можливостей, то альтернатив —

$E(\log_2 N)+1$, де $E(\bullet)$ — ціла частина числа, і стільки бітів інформації потрібно. Інформація формується з відомостей про стан відповідної підсистеми як компонента усієї складної системи за допомогою відповідних первинних перетворювачів (чутливих елементів). Відповідно до принципу прийняття рішень інформація має бути «дискретизованою», що виконується на різних етапах перетворення відомостей. За допомогою технічних засобів відомості, зазвичай, отримують у вигляді результатів вимірювання певних фізичних величин. Тому, якщо стан системи характеризувати сукупністю із N таких величин, то як характеристику стану системи отримують N -вимірний числовий вектор. Але тут постає проблема повноти - достатності врахування компонент як характеристик стану. Зважаючи на скінченну розрядність запису чисел, бачимо, що вимірювання є відображенням (функціоналом, як сказав би математик) характеристик вимірюваних ознак на множину раціональних чисел. При цьому внаслідок переплітання різних фізичних взаємодій вносяться похибки, що спотворюють образ значення фізичної величини як компоненти вектора стану, і є, по суті, завадами. Інформацію про стан тоді формують розподілом простору векторів на області, які можна кодувати за певною системою. А множина кодових позначень дискретна, і в теорії кодування існують способи та засоби боротьби із впливами завад. У цьому сила усіх так званих цифрових методів.

Іншим відомим принципом формування показника стану складної системи є обчислення зваженої суми компонент вектора стану і розподілу відрізків її значень з дальшим кодуванням елементів цього розподілу на підставі вимірних ознак об'єкта. Коли компоненти вектора стану змінюються з часом, адекватний опис дає концепція абстрактної (не обов'язково числової) функції, тобто функції числового аргументу (часу в даному випадку) зі значеннями у просторі векторів з кодозначними елементами. Коли можна врахувати міру можливості реалізації конкретних значень фізичних величин чи, як частіше буває, їх «попадання» у конкретні числові інтервали, що характеризують відповідними ймовірностями, то матимемо справу з описом за допомогою випадкових величин, векторів, процесів, що є ймовірнісними (в математичному сенсі) об'єктами, тому вивчаються засобами сучасної теорії ймовірностей - від теорії випадкових величин аж до методів теорії гільбертових функційних просторів над гільбертовим простором випадкових величин (трактованої з фізичного погляду як енергетична) [1]. У цьому випадку за ознаки об'єкта можна вважати випадкові коефіцієнти розкладів за базами названих просторів.

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

Коли носії первісних відомостей фізичні поля, що є характеристиками розподілених об'єктів, то їхній опис (математичні моделі) дають випадкові поля. Збір відомостей забезпечується за допомогою антен та антенних ґраток - як сфазованих, так і з випадково (у сенсі теорії ймовірностей) розміщеними елементами - що забезпечує підвищення їхньої ефективності щодо критеріїв теорії сигналів.

При моніторингу екосистем такими «антенними ґратками» є згромадження біоб'єктів у природних умовах їх життя, стеження за якими за допомогою відповідних технічних засобів є ефективним методом збору відомостей про стан навколишнього середовища. Їхня поведінка в природному для них середовищі забезпечує повноту відомостей - аналог (і заміну) повноти вектора сигналу.

Системна концепція, таким чином, є тою спільною науковою підставою, що дає засоби аналізу складних екосистем і є підставою зведення розв'язання задач у цих областях до відомих задач проектування відповідних технічних засобів.

Варіантом реалізації даного підходу може бути Інформаційно-вимірвальна система для оцінювання параметрів полів забруднень водних середовищ з використанням біологічних об'єктів як носіїв джерел вимірюваних сигналів.

Якщо у досліджуваному природному водному середовищі перебуває I джерел сигналів, встановлених на біологічних тест-об'єктах (j - номер джерела сигналів), та кожне з яких вимірює і передає на відстань відомості про значення вимірюваного параметра в I інтервалах (i - номер інтервалу), то сукупність відліків параметра поля на виході кожного з I джерел сигналів пов'язана із значеннями вимірюваних величин x_i співвідношенням

$$\sum_{i=1}^I x_i m_{ji} = f_j, \quad (1)$$

де f_j - експериментальні дані, отримані від джерел сигналів;

x_i - шукане значення вимірюваного параметра;

m_{ji} - коефіцієнт відтворення значення вимірюваного параметра у i -му інтервалі j -тим джерелом сигналу.

Щоб подати об'єкт вимірювання як єдине ціле, а не сукупність окремих значень вимірюваних величин, експериментальні дані, отримувані від джерел сигналів, треба трактувати як впорядковану емпіричну множину, кожен елемент якої поданий у функціональному просторі I інформативних ознак [2]. У такому трактуванні впорядковану емпіричну множину експериментальних даних можна подати у вигляді вектора \vec{F} у I -вимірному просторі. Відповідно шукані значення вимірюваного параметра можна подати у вигляді вектора \vec{x}_j і трактувати його як інформативну ознаку, яка має бути виділена внаслідок реалізації вимірювальної процедури. Коефіцієнт відтворення i -го інтервального значення вимірюваної величини j -тим

джерелом сигналу можна подати у вигляді вектора \vec{m}_{ji} і трактувати його як вектор-орт інформативної ознаки, який забезпечує її виділення в процесі реалізації вимірювальної процедури. Вираз (1) внаслідок такого трактування можна подати у загальнішій, векторній формі:

$$\sum_{i=1}^I \vec{x}_i \vec{m}_{ji} = \vec{F}_j \quad (2)$$

Векторне рівняння (2) дозволяє трактувати вимірювальну процедуру як побудову лінійного функціоналу, що відображає інформативну ознаку числом шляхом

переведення вектора \vec{X} із простору інформативних ознак у простір їх оцінок. Кожному інтервальному значенню вимірюваної величини відповідає певне числове значення функціоналу, а сукупність цих функціоналів дає оператор M , за допомогою якого виконується перехід від вектора \vec{F} до вектора \vec{X} і подання компонент цього вектора у вигляді числової послідовності $x_1, x_2 \dots x_l$. Отримання цієї послідовності і є метою вимірювань. При цьому оператор M застосовується згідно з формулою:

$$\vec{X} = M\vec{F} \quad (3)$$

Оператор M визначає вимоги до процедури вимірювання. Основною з них є лінійність, тому оператор M має бути лінійним. Це дає підставу для подання його у вигляді матриці $[M]$, а виразу (2) - у вигляді матричного рівняння:

$$[M][X] = [F] \quad (4)$$

Процедура вимірювання параметра поля моделюється розв'язком рівняння (4), а похибка вимірювання визначається похибкою цього розв'язку.

Особливість застосування матричного рівняння (4) як моделі процедури вимірювання в загальному вигляді подана у роботі [3], де встановлена залежність між похибкою вимірювання, просторовою роздільною здатністю вимірювальної процедури та числом обумовленості матричної системи рівнянь (4). Однак для ІВС, властивості яких визначаються поведінкою біологічних тест-об'єктів як носіїв джерел сигналів, матриця $[M]$ отримує додаткові властивості, пов'язані з непередбачуваністю поведінки носіїв джерел сигналів. Декілька носіїв джерел сигналів можуть випадково зосередитися поблизу якоїсь точки простору, а потім також випадково розсіятися, що відповідає випадковим змінам порядку матриці $[M]$. Оскільки кількість стовпців у матриці $[M]$ в матричному рівнянні (4) відповідає кількості джерел сигналів, то в момент зосередження двох або більше джерел сигналів поблизу довільної точки простору відповідні стовпці матриці стають близькими за своїми значеннями, матриця $[M]$ вироджується, і процедура вимірювання порушуються. Матриця, порядок якої змінюється в часі випадково за аналогією з вільним вектором надалі називається вільною матрицею $[M_B]$.

Поява вільної матриці пояснює порушення процесу вимірювання в перших варіантах ІВС для вимірювання параметрів полів природних водних середовищ з використанням біологічних тест-об'єктів як носіїв джерел сигналів. Урахування впливу вільної матриці на розв'язок системи рівнянь (4) дозволяє уникнути порушень процесу вимірювання шляхом розв'язку системи рівнянь вільних матриць:

$$[X_B][M_B] = [F_B], \quad (5)$$

де $[X_B]$, $[M_B]$ і $[F_B]$ - відповідно матриці $[X]$, $[M]$ і $[F]$ у варіанті вільних матриць, що утворюються в момент зосередження у довільній точці простору кількох джерел сигналів.

Рівняння (5) є моделлю процесу вимірювання полів забруднень водних середовищ у випадку застосування біологічних тест-об'єктів як носіїв джерел вимірюваних сигналів з урахуванням непередбачуваності їх поведінки.

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

Для боротьби з порушеннями процесу вимірювання необхідно дані, отримані від джерел сигналів, зосереджених поблизу однієї точки простору, при формуванні матричного рівняння (5) необхідно трактувати як дані, отримані від одного джерела сигналів (береться їх середньо-квадратичне значення). Разом із даними від інших джерел сигналів вони утворюють матрицю $[F_B]$. З урахуванням цієї особливості будуються також матриці $[X_B]$ і $[M_B]$. Розв'язок системи рівнянь вільних матриць (5) дозволяє уникнути порушень процесу вимірювання параметрів полів забруднень природних водних середовищ.

Вимірювальна процедура, що моделюється матричним рівнянням (5), технічно реалізується шляхом доповнення вимірювальної процедури (4) додатковою програмою формування рівняння вільних матриць (5) і його розв'язування. Згідно з цією програмою отримані від кожного із джерел сигналів дані впорядковуються відносно показів навігаційного каналу відповідно до умов формування вільних матриць $[M_B]$ і $[F_B]$. Застосування ЕОМ дозволяє формувати рівняння вільних матриць (5) і розв'язати їх у реальному часі. Розв'язок рівняння (5) отримується у вигляді числових значень вимірюваного параметра у кожній із точок водного простору, що формують елементи матриці $[F_B]$ відповідно з просторовим розподілом джерел сигналів.

The estimation of the ecological state of the natural basins in Ukraine recreation zones on the basis of system researches the advisability of using biological test-objects in their natural conditions of life is presented.

Література

1. Драган Я.П.. Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів. - Львів: Центр стратегічних еко-біо-технічних систем, 1997. - 360 с.
2. Фрэнкс Л. Теория сигналов. - М.: Сов.радио, 1974. -344 с.
3. Євтух П.С. Чисельні методи та оптимізація обчислень на ЕОМ у складі ІВС //Вісник державного університету «Львівська політехніка». Сер. «Прикладна математика», №337. - Львів: 1988. - С.314-317.

Одержано 23.05.2000 р.