

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ТА МАСИ ФІТОПЛАНКТОНУ У ПРОБАХ ВОДИ З ВОДОЙМ НА ОСНОВІ ДВОВИМІРНИХ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ

Розроблено новий засіб вимірювання геометричних параметрів фітопланктону для визначення його об'єму та маси у пробах води з водойм на основі двовимірних відеозображень. З метою розрахунку об'єму та маси фітопланктону на основі відеозображень проб води з цих водойм виконується ідентифікація видів фітопланктону на основі використання штучних нейронних мереж.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими і практичними задачами. Розвиток фітопланктону у водоймах, тобто продукування органічної речовини під дією ряду природних та штучних факторів, є однією з серйозних екологічних проблем. Найбільш інтенсивно розвиток фітопланктону протікає у водосховищах та інших водоймах господарсько-побутового призначення, що мають обмежену циркуляцію води. Наслідком цього процесу є суттєве погіршення якості питної води та значне підвищення загальної кількості токсичних речовин у воді. Тому розробка засобів вимірювань геометричних параметрів фітопланктону (ГПФ) та маси в процесі його розвитку є актуальною науково-технічною задачею.

Вимірювання ГПФ включає визначення поперечних розмірів, площі та коефіцієнтів форми кожного екземпляра фітопланктону. Для розрахунку об'єму та маси фітопланктону необхідно також виконати його ідентифікацію за видовим складом, так як проведення цих розрахунків залежить від виду екземплярів фітопланктону.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Питанням вимірювання геометричних параметрів присвячені роботи ряду відомих українських вчених, вчених близького та далекого зарубіжжя [1–7]. Однак у цих роботах відсутні відомості про вимірювання ГПФ та його маси на основі алгоритмічної обробки відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про ці параметри.

Основною перешкодою для оперативного здійснення контролю за станом водойм є застарілі відомі методи вимірювання ГПФ, розрахунку його чисельності та маси [8–11]. Висока трудомісткість, низька ефективність та швидкодія вказаних методів вимірювань не дозволяють швидко виявляти зміни, що відбуваються у розвитку ГПФ, та своєчасно реагувати на них. Тому виникла нагальна потреба в удосконаленні існуючих методів вимірювань та контролю за ГПФ.

Одним із ефективних методів вимірювань механічних величин є алгоритмічна обробка сигналів, які містять інформацію про об'єкт вимірювань. Пропонується для визначення ГПФ перетворювати візуальну інформацію про ГПФ у відеозображення і виконувати алгоритмічну обробку отриманих відеозображень. З цією метою розроблено автоматизовану вимірювальну систему для визначення ГПФ та контролю за станом водойм господарсько-побутового призначення [12]. Її застосування дозволить значно підвищити швидкодію та розширити функціональні можливості вимірювання геометричних параметрів та контролю за процесами розвитку фітопланктону у водоймах господарсько-побутового призначення.

Метою статті є розробка методів ідентифікації фітопланктону, підвищення швидкодії та розширення функціональних можливостей засобів вимірювань ГПФ та його маси на основі інформаційно-комп'ютерних технологій обробки відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про ці геометричні параметри. При цьому початковими даними для ідентифікації фітопланктону за видовим складом є геометричні параметри екземплярів фітопланктону, а результати ідентифікації використовуються для розрахунку його маси.

Викладення основного матеріалу досліджень. Метою розробки методів ідентифікації фітопланктону є підвищення швидкодії та розширення функціональних можливостей засобів вимірювань ГПФ та його маси на основі інформаційно-комп'ютерних технологій обробки відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про ці геометричні параметри. При цьому початковими даними для ідентифікації фітопланктону за видовим складом є геометричні параметри екземплярів фітопланктону, а результати ідентифікації використовуються для розрахунку його маси.

Незважаючи на велику кількість досліджень з розпізнавання образів і, зокрема, відеозображень, дотепер не вироблений єдиний загальноприйнятий підхід до побудови системи розпізнавання образів. Якщо підходити до цієї системи як до будь-якої складної системи, то необхідно насамперед визначити мету, для досягнення якої створюється дана система. Наступний крок – визначити перелік задач, розв'язання яких забезпечить досягнення поставленої мети. Потім настає етап аналізу – збору всіх необхідних даних і побудови математичної моделі, використання якої дасть можливість провести синтез

системи, що розпізнає образи. Заключний етап – виявлення ефективності чи якості роботи створеної системи як в умовах, що відповідають прийнятій моделі, так і при відхиленні умов від заданих (якщо це необхідно).

При створенні методу ідентифікації фітопланктону за видовим складом необхідно розв'язати такі основні задачі [13]:

первісне нагромадження вимірювальної інформації і складання максимально повного переліку ознак, що характеризують фітопланктон;

проведення первинної ідентифікації фітопланктону і складання апріорного алфавіту класів (видів фітопланктону);

розробка апріорного словника ознак, у який з повного переліку ознак ввійдуть тільки ті, що необхідні для опису видів фітопланктону, які ідентифікуються;

опис усіх класів апріорного алфавіту класів мовою ознак з апріорного словника ознак;

розбивка апріорного простору ознак на області, що відповідають класам (видам фітопланктону) з апріорного алфавіту класів;

синтез алгоритмів розпізнавання;

визначення робочого алфавіту класів і робочого словника ознак з урахуванням реальних обмежень, що накладаються на метод розпізнавання при його реалізації;

вибір показника ефективності методу розпізнавання.

На ранніх етапах розвитку розпізнавання образів вважали, що такий підхід приведе до рішення майже всіх проблем, пов'язаних з аналізом зображень [14, 15, 16]. Але існує ряд обмежень для методів розпізнавання образів. По-перше, зображення мають великі розміри і у багатьох випадках число можливих класів дуже велике. Тому обробка, яку повинен виконувати пристрій з розпізнавання образів, часто не може бути виконана за прийнятний час. Більш важливе обмеження полягає в тому, що методами ідентифікації не можна одержати опис зображення, необхідний, наприклад, для розв'язання практичних задач [15, 16]. В багатьох випадках методи класичного розпізнавання образів виявляються непридатними для аналізу зображень у виробничих системах. Однак, існують деякі задачі аналізу зображень, що добре розв'язуються методами розпізнавання образів. Така можливість існує і для відеозображень фітопланктону в пробах води з водоем господарсько-побутового призначення.

Серед основних алгоритмів розпізнавання (ідентифікації) об'єктів вимірювань (фітопланктону) можна виділити дві наступні великі категорії [15, 16].

Перша категорія базується на теорії прийняття рішень. Нехай маємо M класів об'єктів (видів фітопланктону) $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M$, кожний з яких представляється вектором $p = (p_1, \dots, p_n)^m$ в n -мірному просторі ознак. Координатами цього вектора можуть служити, наприклад, будь-які ідентифікуючі ознаки, кількісні характеристики форми зображення об'єкта, параметри його математичного опису у вигляді аналітичних рівнянь, показники його яскравості, кольору текстури, значення логічних змінних, що вказують на наявність чи відсутність яких-небудь властивостей. В даному випадку це є ГПФ. Відповідно до теорії прийняття рішень, у загальному випадку потрібно знайти M дискримінуючих функцій $d_1(p), d_2(p), \dots, d_M(p)$ таких, що для довільного образу $p^* \in \omega_m$ виконується нерівність $d_m(p^*) > d_l(p^*)$ при всіх $l = \overline{1, M}, l \neq m$. Функції, що дискримінують, можна шукати, наприклад, у вигляді розкладання по системі яких-небудь відомих функцій: $d_m(p) = \sum_k \omega_{mk} \varphi_k(p)$. В

якості $\varphi_k(p)$ можна вибрати, скажімо, поліноміальні функції p . Коефіцієнти ω_{mk} розкладання одержують в результаті навчання шляхом пред'явлення досить представницької вибірки об'єктів з точною вказівкою приналежності кожного з них до одного з перерахованих класів.

При побудові дискримінуючих функцій, часто використовують процедури узгодження з «еталонним» вектором ознак [15, 17]. Як еталонний вектор e_m для класу ω_m можна взяти, наприклад, вектор, координати якого є середніми значеннями відповідних координат всіх об'єктів з даної класу, що пред'явлені у навчальній вибірці з екземплярами фітопланктону. Тоді для екземпляра фітопланктону, що ідентифікується, з вектором геометричних параметрів p^* можна обчислити евклідові відстані в n -

мірному просторі ознак $\rho_m = \left(\sum_{k=1}^n [p_k^* - (e_m)_k]^2 \right)^{1/2}$ від точки p^* до еталонних точок e_m кожного виду і

вибрати «найближчого сусіда», тобто вид, що відповідає $\min_m \rho_m, m = \overline{1, M}$. Це еквівалентно вибору

максимальної з M вирішальних функцій $d_m(p^*) = p^{*T} e_m - 1/2 e_m^T e_m$.

Слід зазначити, що на практиці іноді не переходять у n -мірний простір ознак, а застосовують концептуально спрощену й у загальному випадку трохи менш ефективну процедуру безпосереднього узгодження вихідного зображення $G(i, j)$ з «шаблоном» – еталонним зображенням $E_m(i, j)$ об'єкта даного класу. Прийняття рішень про вид пред'явленого екземпляра фітопланктону можна здійснювати по

мінімуму якої-небудь міри його розходження з еталоном (наприклад: $\sum_i \sum_j |G(i, j) - E_m(i, j)|$ або $\sum_i \sum_j [G(i, j) - E_m(i, j)]^2$) чи по максимуму міри подібності, наприклад, $\sum_i \sum_j G(i, j)E_m(i, j) / \sum_i \sum_j E_m^2(i, j)$. Застосовується і метод погодженої фільтрації: узгодження еталонного «фільтра» $E_m(i, j)$ із зображенням викликає піки взаємно кореляційної функції $R(\mu, \nu) = \sum_i \sum_j E_m(i, j) \times G(1 - \mu, j - \nu)$ у тій області (μ, ν) , де в полі зору є присутнім образ шуканого об'єкта.

Як вказувалося вище, при розрахунках такого роду доцільно користатися прямим і зворотним перетворенням Фур'є $F^{-1}[F(E_m) F(G)]$, орієнтуючись на їхню апаратну реалізацію, оскільки програмні алгоритми поточкового узгодження вимагають значних витрат часу. Крім того, подібні міри чуттєві до шумів та геометричних викривлень і не завжди забезпечують інваріантність до зсувів і поворотів об'єктів. Тому зіставлення G і E намагаються проводити для об'єктів, що зафіксовані у визначених положеннях. Пропонувалося також зіставляти не все поле зору, а лише деякі фрагменти зображення всередині вікна, що підбирається, покриваючи околицю виділеної характерної риси об'єкта. Часто алгоритми прийняття рішень доповнюють логічними процедурами вибору мір подібності і розходження, наведення вікна та іншого настроювання методу розпізнавання.

Другу категорію методів ідентифікації об'єктів вимірювань складають структурно-синтаксичні методи. Вони базуються насамперед на аналізі структурних відносин між фрагментами відеозображень об'єктів і використовують апарат дискретної математики.

Розроблено цілий ряд різних синтаксичних методів, таких як формальні граматики породження і розбору лінгвістичних описів класів образів, процедури перевірки правильності перетворень, правила представлення структурних відносин у вигляді дерев, графів, мереж. В розвиток чисто синтаксичного підходу починаються спроби ставити у відповідність кожному символу мови визначені семантичні оцінки, скажімо, списки логічних чи кількісних характеристик для кількісного опису відносин між фрагментами сцени пропонувалося, наприклад, з кожним із них зв'язати свою систему координат і поставити їй у відповідність вузол графа, ребрами якого служать просторові перетворення, з однієї системи координат в іншу.

Сукупність примітивів і інших ознак об'єкта разом з формалізованим описом їх відносин утворює модель цього об'єкта.

Більшість задач розпізнавання образів зводяться до наступної математичної постановки [15]. Необхідно побудувати відображення $X \rightarrow Y$ таке, щоб на кожен можливий вхідний сигнал X формувалася правильний вихідний сигнал Y . Відображення задається кінцевим набором пар (<вхід>, <відомий вихід>). Число таких пар (навчальних прикладів) істотно менше загального числа можливих сполучень значень вхідних і вихідних сигналів. Сукупність всіх навчальних прикладів називається навчальною вибіркою.

В задачах розпізнавання образів X – деяке представлення образа (відеозображення ГПФ), Y – номер класу, до якого належить вхідний образ (екземпляр фітопланктону).

В результаті побудови такого відображення (тобто $X \rightarrow Y$) необхідно домогтися того, щоб: забезпечувалося формування правильних вихідних сигналів відповідно до усіх прикладів навчальної вибірки;

забезпечувалося формування правильних вихідних сигналів відповідно до усіх можливих вхідних сигналів, що не ввійшли в навчальну вибірку.

Друга вимога значно ускладнює задачу формування навчальної вибірки. У загальному вигляді ця задача в даний час ще не розв'язана, однак для ряду задач можливо знайти частинний розв'язок. Далі будемо вважати, що навчальна вибірка вже сформована, виходячи з накопленого досвіду досліджень фітопланктону у водоймах.

Більшість вказаних задач можна успішно розв'язати за допомогою методу ідентифікації та розрахунку маси фітопланктону на основі ШНМ (рис. 1). Для настроювання алгоритму ідентифікації фітопланктону вимірюються ознаки (ГПФ) спеціально підібраних фрагментів відеозображень, точна ідентифікація яких відома. Цей набір фрагментів називається навчальною вибіркою. Результати вимірювань ГПФ відображаються в просторі ознак.

Для представлення багатомірних функцій багатьох перемінних може бути використана однорідна нейронна мережа, що має всього один схований шар, з сигмоїдальними передатними функціями нейронів.

Для оцінки числа нейронів у схованих шарах однорідних нейронних мереж можна скористатися формулою для оцінки необхідного числа синоптичних ваг $L\omega$ (в багатопшаровій мережі із сигмоїдальними передатними функціями):

$$\frac{mN}{1 + \log_2 N} \leq L_\omega \leq m \left(\frac{N}{m} + 1 \right) (n + m + 1) + m,$$

де n – розмірність вхідного сигналу;
 m – розмірність вихідного сигналу;
 N – число елементів навчальної вибірки.

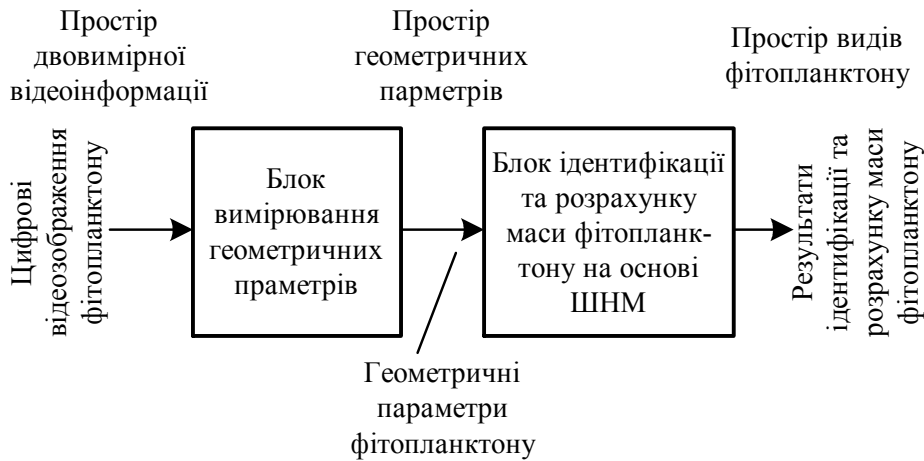


Рис. 1. Схема ідентифікації та розрахунку маси фітопланктону на основі ШНМ

Оцінивши необхідне число ваг, можна розрахувати число нейронів у схованих шарах. Наприклад, число нейронів у двошаровій мережі складе:

$$L = \frac{L_\omega}{n + m}.$$

Можливе застосування й інших подібних формул вигляду

$$2(L + n + m) \leq N \leq 10(L + n + m),$$

$$\frac{N}{10} - n - m \leq L \leq \frac{N}{2} - n - m.$$

Відповідно так само можна розрахувати число нейронів у мережах з великим числом шарів, що іноді доцільно використовувати: такі багатошарові нейронні мережі можуть мати менші розмірності матриць синоптичних ваг нейронів одного шару, ніж двошарові мережі, що реалізують те ж саме відображення.

Таким чином, нейронні мережі є універсальними системами, придатними для вирішення задачі ідентифікації фітопланктону за його геометричними параметрами.

Очевидно, що процес функціонування ШНМ, тобто сутність дій, що вона здатна виконувати, залежить від величин синоптичних зв'язків, тому, задавшись визначеною структурою ШНМ, що відповідає даній задачі, необхідно знайти оптимальні значення всіх змінних перемінних вагових коефіцієнтів (деякі синоптичні зв'язки можуть бути постійними). Цей етап називається навчанням ШНМ, і від того, наскільки якісно він буде виконаний, залежить здатність мережі вирішувати поставлені перед нею проблеми під час функціонування.

Висновки:

У статті розроблено метод ідентифікації екземплярів фітопланктону у пробах води з водойм господарсько-побутового призначення. Ідентифікація виконується з метою розрахунку маси фітопланктону на основі відеозображень проб води з цих водойм. Для підвищення точності ідентифікації екземплярів фітопланктону пропонується використання штучних нейронних мереж.

Отримані результати є основою для підвищення точності засобів вимірювань ГПФ та його маси, що базуються на двовимірних відеозображеннях. Ці результати можуть бути застосовані при розробці автоматизованих засобів вимірювань та інформаційно-вимірювальних систем, які використовують алгоритмічні методи обробки відеозображень.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Измерительные сканирующие приборы / под ред. Б.С. Розова. – М. : Машиностроение, 1980. – 198 с.

2. *Сарвин А.А.* Системы бесконтактных измерений геометрических параметров / *А.А. Сарвин.* – Л. : Издательство Ленинградского университета, 1983. – 144 с.
3. *Растрюгин Л.А.* Системы оцувствления промышленных роботов в ГПС / *Л.А. Растрюгин.* – М. : Наука, 1989. – 286 с.
4. *Застрогин Ю.Ф.* Прецизионные измерения параметров движения с использованием лазера / *Ю.Ф. Застрогин.* – М. : Машиностроение, 1986. – 272 с.
5. *Макаров И.М.* Управляющие системы промышленных роботов / *И.М. Макаров.* – М. : Машиностроение, – 1984. – 287 с.
6. *Поліщук Є.С.* Засоби та методи вимірювань неелектричних величин : підручник / *Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, Б.І. Стадник та ін.* ; за ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів : Бескид Біт, 2008. – 618 с.
7. *Форсайт Д.* Компьютерное зрение. Современный подход / *Д. Форсайт, Д. Понс.* – М. : Техносфера, 2005. – 840 с.
8. *Андреев А.Д.* Интегральная количественная оценка состояния фитопланктонного сообщества по структурным показателям / *А.Д. Андреев, В.И. Щербак* // Гидробиологический журнал. – 1994. – Т. 30, № 2. – С. 3–7.
9. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. – К. : Символ Т, 1998. – 28 с.
10. Методичний посібник з визначення якості води / за ред. В.І. Назаренка. – К., 2002. – 51 с.
11. Методы исследования качества воды водоемов. – М. : Медицина, 1990. – С. 3–11.
12. *Бакка М.Т.* Дослідження динаміки процесів евтрофікації у водоймах господарсько-побутового призначення на основі комп'ютеризованих технологій обробки вимірювальної інформації / *М.Т. Бакка, Е.О. Аристархова, Т.О. Єльнікова, Ю.О. Подчаїнський* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 3/2 (21). – С. 20–24.
13. *Янишин В.В.* Анализ и обработка изображений: принципы и алгоритмы / *В.В. Янишин.* – М. : Машиностроение, 1995. – 112 с.
14. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений : пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – 480 с.
15. *Зайченко Ю.П.* Основи проектування інтелектуальних систем. – К. : Видавничий Дім "Слово", 2004. – 352 с.
16. *Nelles O., Ernst S., Isermann R.* Neuronale Netze zur Identifikation nichtlinearer, dynamischer Systeme: Ein Überblick // *Automatisierungstechnik.* – 1997. – 45. – № 6. – S. 251–262.
17. *Руденко О.Г.* Штучні нейронні мережі / *О.Г. Руденко, Є.В. Бодяньський.* – Харків : ТОВ "Компанія СМІТ", 2006. – 404 с.

ЄЛЬНІКОВА Тетяна Олександрівна — кандидат технічних наук, доцент кафедри екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- методи вимірювання екологічних параметрів;
- цифрова обробка відеозображень.

Подано 27.11.2009

Єльнікова Т.О. Автоматизована система для визначення об'єму та маси фітопланктону у пробах води з водойм на основі двовимірних відеозображень

Ельнікова Т.А. Автоматизированная система определения объема и массы фитопланктона в пробах воды из водоемов на основе двухмерных видеоизображений

Elnikova T.A. Automated system for determination of the volume and the mass of algae in tests of water from reservoirs on basis of two-dimensional images

УДК 621.317:004.932

Автоматизированная система определения объема и массы фитопланктона в пробах воды из водоемов на основе двухмерных видеоизображений / Т.А. Ельнікова

Разработано новое средство измерения геометрических параметров фитопланктона для определения его объема и массы в пробах воды из водоемов на основе двухмерных видеоизображений. С целью расчета объема и массы фитопланктона на основе видеоизображений проб воды из этих водоемов выполняется идентификация видов фитопланктона на основе использования искусственных нейронных сетей.

УДК 621.317:004.932

Automated system for determination of the volume and the mass of algae in tests of water from reservoirs on basis of two-dimensional images / T.A. Elnikova

The new mean of measuring of geometrical parameters of algae is developed for determination of its volume and mass in the tests of water from reservoirs based on two-dimensional images. With the purpose of calculation of volume and mass of algae on the basis of video images of tests of water from these reservoirs the authentication is executed using an artificial neuron networks.