

УДК 681.2.083:57.083.1

Д. Т. Реут, В. В. Древецький, д.т.н.

ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ МІКРОПЛАНКТОНУ В ПОВЕРХНЕВИХ ВОДАХ З ВІДСЛІДКОВУВАННЯМ У ВІДЕОПОТОЦІ

Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, e-mail: Dima.Reut@gmail.com

Розглянуто проблему автоматизованого вимірювання біологічних показників якості вод відкритих водойм. Розроблено інформаційно-вимірювальну систему, що здійснює неперервне вимірювання концентрації мікропланктону та визначення деяких його параметрів за допомогою комп'ютерного зору.

Ключові слова: вимірювання концентрації організмів, показники якості поверхневих вод, комп'ютерний зір, мікропланктон, автоматизована мікроскопія.

Вступ

Вимірювання показників якості поверхневих вод є невід'ємною частиною екологічного моніторингу. Сучасні автоматичні системи контролю поверхневих вод забезпечують вимірювання більше десятка фізико-хімічних параметрів поверхневих вод одночасно, зокрема активність іонів водню, окисно-відновний потенціал, концентрацію кисню, концентрації та активності іонів металів та кислотних залишків, температуру. Як правило, дані системи встановлюються нижче точки скидання стоків великих промислових підприємств та призначені для оцінки ефективності процесів очистки. Використання таких систем для широкого моніторингу водних об'єктів обмежується їх високою вартістю та низькою автономністю. Жоден автоматичний вимірювальний комплекс не здійснює біологічного моніторингу, наприклад, вимірювання концентрації планктону та його класифікації, хоча за співвідношенням між окремими групами гідробіонтів та їх загальною популяцією можна судити про ступінь забруднення вод природними або антропогенними чинниками. Варто зазначити, що високу швидкість розмноження і відповідно швидку реакцію на зміну якості води має мікропланктон – сукупність організмів розміром десятки і сотні мікрметрів, що населяють товщу води. Розвиток мікропланктону сьогодні визначається періодичним відбором проб та дослідженням їх під мікроскопом людиною, що збільшує час вимірювання, погіршує повторюваність та точність. Виконання цієї операції автоматичним приладом в безперервному потоці дозволить зменшити тривалість вимірювання та похибку шляхом вилучення суб'єктивної складової [1].

Аналіз попередніх досліджень

Згадане автоматичне вимірювання вимагає побудови системи машинного зору. На сьогодні застосування комп'ютерного зору зводиться до аналізу окремих кадрів у умовах, які виключають повторне потрапляння того ж самого організму в кадр, наприклад, при побудові розподілу гідробіонтів у об'ємі водойми [2]. Існують методи визначення маси мікропланктону у воді, засновані на обчисленні площі, зайнятої мікроорганізмами на кожному кадрі зображення, і її відношенні до загальної площі зображення [3]. Але вони вимагають проведення значного числа вимірів, оскільки за один вимір оцінюється лише малий об'єм води з декількома організмами, а для отримання усередненого за об'ємом значення кількість проб необхідно збільшувати.

У разі безперервного вимірювання в потоці води до мікроскопа висуваються суперечливі вимоги: з одного боку, необхідно збільшення, достатнє для виявлення деталей будови класифікованих організмів, а з іншого боку, потрібно охопити досить значну площу з мікроорганізмами на ній. Остання вимога впливає з того, що при малій площі в кадр можуть потрапляти лише кілька мікроорганізмів, що призведе до значного кроку зміни вихідного сигналу пристрою. Підрахунок можливий лише за умови, що час перебування мікроорганізмів в кадрі однаковий. Але це умова, як правило, не може бути виконана, оскільки багато мікроорганізми здатні до самостійного руху і вони будуть перебувати в кадрі різний час. Тому класифікація та визначення концентрації вимагає відстеження мікроорганізму при проходженні

в полі зору мікроскопа. Також відстеження в відеопотоці дозволяє вибрати краще по чіткості зображення для класифікації серед кадрів, отриманих за час перебування об'єкта в полі зору.

Таким чином, існуючі експериментальні зразки автоматизованих пристроїв вимірювання концентрації або потребують значної кількості відібраних проб, або забезпечують вимірювання з достатньою точністю лише нерухомого фітопланктону.

Постановка завдання

Завданням даної роботи є розробка автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи для визначення концентрації мікропланктону у воді та визначення характеристик для подальшої класифікації.

Основний матеріал статті

В розробленій системі передбачено отримувати відеопотік зображень мікропланктону з розширенням, з одного боку, достатнім для визначення розмірів мікроорганізмів з необхідною точністю, а з іншого боку, якомога меншим розміром зображення, щоб зменшити обчислювальну потужність, необхідну для обробки кожного кадру. Тому пристроєм вводу в даній системі вибрано цифровий мікроскоп з матрицею 640x480 пікселів, роздільною здатністю 1 мкм/піксель і частотою кадрів 25 кадрів/с, що дозволяє з похибкою 1 мкм вимірювати розміри організмів від десятків до сотень мікрометрів на одному ядрі процесора архітектури ARM Cortex-A9, що працює на частоті 1 ГГц.

Використання енергоефективного процесора дозволить зменшити габарити процесорного модуля до розмірів, порівнянних з такими мікроскопа, і об'єднати компоненти в функціонально закінчений пристрій. З метою кращої переносимості програми на архітектуру ARM в якості операційної системи і бібліотеки комп'ютерного зору обрані відповідно Ubuntu 12.10 і OpenCV 2.4. Основним критерієм вибору є відкритість вихідного коду програмних продуктів, оскільки використання закритих програмних продуктів, які зазвичай призначені для запуску на i386-сумісному процесорі (якими не є процесори архітектур ARM), вимагатиме використання віртуалізації, а отже й значного падіння швидкості виконання програми.

Враховуючи необхідність дистанційного доступу до результатів вимірювання, розроблена система має два інтерфейси користувача (рис. 1) - локальний на базі бібліотеки QT4, та веб-інтерфейс, серверною частиною якого є веб-сервер Apache 2.2, а клієнтською – веб-переглядач, який взаємодіє з сервером за допомогою AJAX, використовуючи JavaScript-бібліотеку jQuery 1.8.

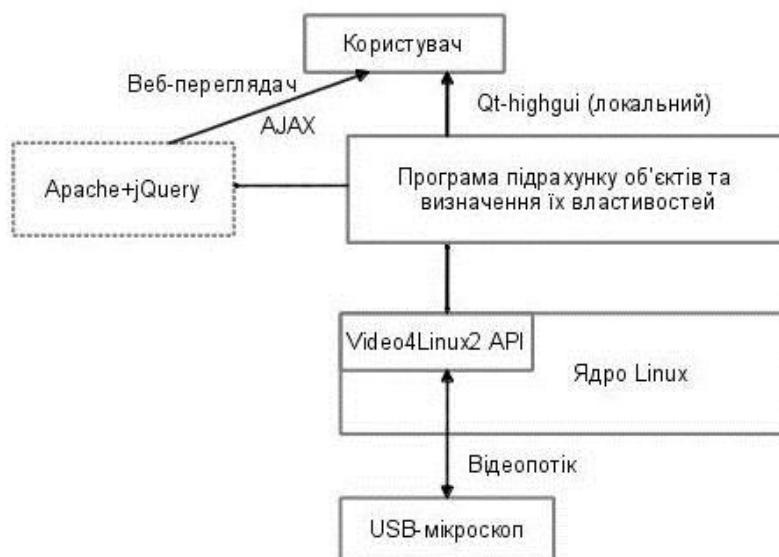


Рис. 1. Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи для визначення концентрації мікропланктону у воді

Для отримання програмою кадрів з мікроскопа використовується Video4Linux2 – інтерфейс взаємодії користувачьких додатків з пристроями захоплення відео, а саме об'єкт

cvVideoCapture [4]. Ядро Linux створює для програми абстракцію від апаратури, дозволяючи захопити відеопотік з будь-якого пристрою, для якого встановлено драйвер.

З використанням перелічених програмних продуктів розроблено програмне забезпечення для визначення кількості мікроорганізмів, що проходять за час спостереження через поле зору мікроскопа, для кожного об'єкта визначення кольору (в колірній моделі RGB або HSV), площі, розмірів.

Кожен отриманий кадр піддається таким операціям:

1) перетворення кольорового зображення в одноканальне (відтінки сірого); 2) перетворення зображення з відтінків сірого в бінарне (чорно-біле) застосуванням адаптивного порогу, що залежить від рівня кольору в сусідніх точках; 3) виділення замкнених контурів, що охоплюють чорні ділянки; 4) визначення координат центрів контурів, їх площі і кольору в центральній точці; 5) для кожного об'єкта, знайденого на попередньому кадрі, перевірити, чи існує в околиці v_{max} пікселів (v_{max} – максимальна швидкість об'єкта, пікселів/кадр) середина контуру, знайденого на поточному кадрі; якщо існує, координати об'єкта оновлюються до координат середини контуру; 6) якщо після обходу всіх контурів на поточному кадрі для об'єкта з попереднього кадру не знайшлося відповідності, вважати, що об'єкт залишив поле зору; 7) якщо на поточному кадрі залишилися контури, яким не знайдений відповідний об'єкт з попереднього кадру, вважати їх новими об'єктами, які вперше з'явилися в полі зору; 8) накладання контурів, номерів об'єктів в кадрі на кольорове зображення і виведення користувачеві.

Параметри присутніх у кадрі об'єктів, а також загальна кількість мікроорганізмів у кадрі виводяться на локальний монітор або на веб-сторінку і можуть надаватися операторам, які здійснюють контроль забруднення поверхневих вод, а також центральній автоматизованій системі контролю.

На основі отриманих даних проводиться класифікація мікроорганізмів, яка вимагає створення бази даних організмів. Здійснено забір проби води в р.Устя міста Рівне. Пуск системи на 60 секунд при швидкості руху води у фокусі мікроскопа 71 мкм/с дозволив в автоматичному режимі класифікувати 28 мікроорганізмів за розміром і кольором: зелені розміром більше 200 мкм - 1, зелені від 20 до 200 мкм - 2, зелені менше 20 мкм - 23, прозорі менше 20 мкм - 2, інші - 0. При цьому максимальне завантаження процесора RK3066 архітектури ARM Cortex-A9 становило 35% на частоті 1 ГГц, відповідно ядра, яке виконувало програму розпізнавання – 70%.

Висновки

Розроблено систему автоматичного вимірювання концентрації мікропланктону та визначення окремих його параметрів, які були використані для класифікації. Особливістю системи є нерерервний процес вимірювання та енергоефективність використовуваного процесора, що дозволяє реалізувати автономний пристрій для вимірювання концентрації. Збільшення числа класифікаційних параметрів мікроорганізмів і складання відповідної бази даних для основних індикаторних організмів дозволить проводити безперервний екологічний моніторинг водойм і збільшити швидкість реагування на вихід показників якості за межі норми.

Список літературних джерел

1. Embleton K. V. Automated counting of phytoplankton by pattern recognition: a comparison with a manual counting method / K. V. Embleton, C. E. Gibson, S. I. Heaney // *Journal of Plankton Research (Oxford Journals)*. – 2003. – № 25 (6). – С. 669-681.

2. Ishikawa K. Application of autonomous underwater vehicle and image analysis for detecting the three-dimensional distribution of freshwater red tide *Uroglena americana* (Chrysophyceae) / K. Ishikawa, M. Kumagai, R. F. Walker // *Journal of Plankton Research (Oxford Journals)*. – 2005. – № 27 (1). – С. 129-134.

3. 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. Подчашинський // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2006. – № 3/2 (21) – С. 20-24.

4. OpenCV 2.4.5 documentation // <<http://docs.opencv.org>> – 2013. – 18 квітня.