

УДК 681.2.083:57.083.1

## ЗАСТОСУВАННЯ ПОРОГОВОГО ФІЛЬТРА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ МІКРООРГАНІЗМІВ У ВОДІ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

*Д. Т. Реут*

*Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, e-mail: [Dima.Reut@gmail.com](mailto:Dima.Reut@gmail.com)*

*Розглянуто проблему автоматичного налаштування порогового фільтра в системах комп'ютерного зору, призначених для біологічного моніторингу водойм. Запропоновано спосіб налаштування порогового фільтра, що використовує алгоритм Кенні та дозволяє підвищити точність визначення розмірів мікроорганізмів.*

*Ключові слова: біологічний моніторинг, мікропланктон, автоматизована мікроскопія, фільтрація зображень, алгоритм Кенні.*

*Рассмотрена проблема автоматической настройки порогового фильтра в системах компьютерного зрения, предназначенных для биологического мониторинга водоемов. Предложен способ настройки порогового фильтра, использующего алгоритм Кенни и позволяющего повысить точность определения размеров микроорганизмов.*

*Ключевые слова: биологический мониторинг, микропланктон, автоматизированная микроскопия, фильтрация изображений, алгоритм Кенни.*

*The problem of threshold filter automatic adjustment in computer vision systems designed for biological monitoring of water bodies has been considered. The method of threshold filter adjustment using the Canny algorithm that improves the accuracy of microorganisms size determining has been proposed.*

*Keywords: biological monitoring, microplankton, automated microscopy, image filtering, Canny algorithm.*

### **Вступ**

Забруднення водойм є однією з актуальних екологічних проблем сучасності. Для оцінки стану водойм визначають фізичні, хімічні, біологічні показники якості води з різних точок водойм. Кількісний та видовий склад гідробіонтів є добрим індикатором ступеня та характеру забруднення водойми, оскільки вони дуже чутливі до наявних у воді забруднень. Біомоніторинг прісноводних водойм здійснюють за популяцією як бентосу, так і планктону. Мікропланктон має більшу швидкість розмноження, ніж макропланктон та бентос, тому його розвиток точніше відтворює зміни якості води. Визначення кількості та видового складу мікропланктону вимагає спостереження під мікроскопом проб з різних точок водойми. Відповідно оперативність контролю біологічних показників якості води залежить від періодичності відбору, часу доставки проб в лабораторію та тривалості власне аналізу. Автоматичний аналіз в польових умовах дозволив би значно скоротити час отримання результату та підвищити його достовірність.

Жоден автоматичний вимірювальний комплекс в польових умовах не здійснює біологічного моніторингу, вимірювання концентрації планктону та його класифікації, існують лише пристрої для підрахунку сумарної концентрації планктону [1]. Тому існує потреба в створенні пристрою для автоматичного визначення кількісно-видового складу мікропланктону у воді.

### **Аналіз попередніх досліджень**

Попередні дослідження в галузі автоматичного розпізнавання та вимірювання параметрів мікропланктону показали переваги автоматичного розпізнавання: підвищення точності та повторюваності вимірювань внаслідок усунення суб'єктивної складової похибки [2]. Зокрема, в роботі К. Ісікави [3] розпізнавання здійснювалось в лабораторії після отримання всього відеоматеріалу із мікроскопа, закріпленого на дистанційно керованому підводному роботі. Вітчизняні науковці здійснювали дослідження [4] в напрямку автоматичного визначення концентрації в

доставлених у лабораторію пробах води, аналізуючи кожен кадр незалежно від інших.

Запропоновані алгоритми занадто складні з точки зору необхідної обчислювальної потужності, що не дозволяє здійснювати неперервний аналіз у польових умовах з використанням енергоефективного процесора з пасивним охолодженням. Також запропоновані алгоритми, які за умови їх застосування до розпізнавання зоопланктону потребують значного проміжку часу між двома послідовними кадрами, оскільки не мають засобів відслідковування розпізнаних об'єктів: повторне потрапляння в наступний кадр того ж самого мікроорганізму спричинить повторний його підрахунок, а відповідно й завищену результуючу кількість мікроорганізмів. Отже, отримані у попередніх наукових дослідженнях результати не дозволяють сконструювати вимірювальний прилад, який здійснював би виявлення, розпізнавання та підрахунок у неперервному режимі мікропланктону у водах відкритих водойм.

Тому для визначення кількості мікропланктону в реальному часі був реалізований алгоритм [5], що передбачає відслідковування на кожному кадрі вже знайдених мікроорганізмів та виключає повторний підрахунок одного й того ж мікроорганізму. Проте у разі підвищення з часом колірності аналізованої води розмір виявленого мікроорганізму буде визначений більшим, ніж дійсний, оскільки зменшиться різниця інтенсивності кольору між фоном та мікроорганізмом.

**Метою даної роботи** є розробка способу автоматичного налаштування порогового фільтра, який можливо застосувати при неперервному виявленні, відслідковуванні та визначенні параметрів мікроорганізмів у воді. Однією з ключових вимог до нього є мала необхідна обчислювальна потужність, що дозволяла б програмі виконуватись в реальному часі на сучасному енергоефективному процесорі, а отже і надавала б можливість створити автономний автоматичний пристрій для вимірювання біологічних показників якості води.

#### **Виклад основного матеріалу статті**

Пристроєм вводу у системі автоматичного виявлення, відслідковування та визначення параметрів мікроорганізмів у воді є 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

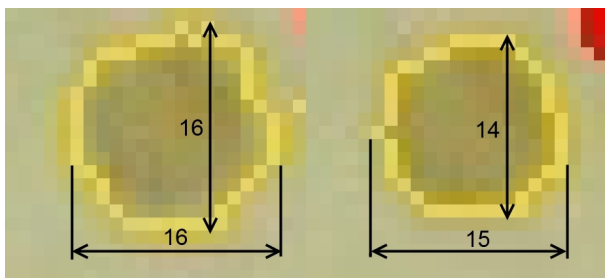
десятьків до сотень мікрометрів. За необхідності відеоряд може отримуватись з файлу. Пристроєм обробки даних є двоядерний процесор архітектури ARM Cortex-A9 Rockchip RK3066 з максимальним енергоспоживанням 1 Вт на частоті 1,2 ГГц. Використання енергоефективного процесора дозволяє зменшити габарити процесорного модуля до розмірів, порівнянних з такими мікроскопа, і об'єднати компоненти в функціонально закінчений пристрій. Задля кращої портованості програми між процесорами архітектур x86 та ARM в якості операційної системи і бібліотеки комп'ютерного зору [6] використані 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 386-сумісному процесорі (якими не є процесори архітектур ARM), вимагатиме використання віртуалізації, а отже й значного падіння швидкості виконання програми.

Над кожним кадром здійснюються наступні дії [5]:

- 1) перетворення кольорового зображення в одноколірне (відтінки сірого);
- 2) перетворення зображення з відтінків сірого в бінарне (чорно-біле) із застосуванням порогового фільтра;
- 3) виділення замкнутих 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 знайдено відповідності, то вважати, що об'єкт залишив поле зору;
- 7) якщо на поточному кадрі залишилися контури, яким не знайдений відповідний об'єкт з попереднього кадру, то 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 його користувачеві.

Використання в даному алгоритмі порогового фільтра дозволяє, порівняно з адаптивним фільтром, зменшити обчислювальну складність алгоритму, проте зміна колірності, мутності води або яскравості підсвітки мікроскопа причиняє зміщення

контур, що розділяє об'єкт і фон (рис. 1). В результаті розміри одного й того ж мікроорганізму мають різне значення.



**Рисунок 1 – Результат пошуку контуру та розмірів (у пікселях) ціанобактерії при різних значеннях порогу**

Ліве зображення (рис. 1) відповідає занадто низькому значенню порогу. Дана ситуація виникає у випадку, коли колірність води збільшилась, а значення порогу залишилося попереднім. Помітна наявність ряду пікселів, близьких за кольором до фону, всередині контуру, що охоплює ціанобактерію. Праве зображення відповідає оптимальному визначенню контуру мікроорганізму. При відслідковуванні досить малого мікроорганізму спричинювана даним явищем похибка може перевищувати 10%.

Для її усунення запропоновано періодично доналаштувати пороговий фільтр за результатом роботи алгоритму, що дає достовірніші результати. Таким є алгоритм Кенні [7], що визначає межу як місце точок з найбільш різкою зміною інтенсивності кольору (найбільшим градієнтом).

Використання оператора Кенні передбачає наступні дії:

1) фільтрацію зображення у відтінках сірого  $A$  згортоку:

$$B = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} \times A;$$

2) обчислення в кожній точці модуля та напрямку градієнта. Причому кут заокруглюється до значень, кратних  $45^\circ$ ;

3) придушення немаксимумів – позначаються лише локальні максимуми;

4) подвійна порогова фільтрація – залежно від модуля градієнта піксель або відмічається як потенційна межа, або відкидається;

5) трасування області неоднозначності – локальні максимуми градієнта з'єднуються по потенційних межах з більшим значенням градієнта.

Нехай  $S_{II}$  – площа мікроорганізму, обмежена контуром, отриманим пороговою фільтрацією, а  $S_K$  – площа, обмежена контуром, отриманим за алгоритмом Кенні. Оптимальне значення порогу  $h_{II}$  відповідає мінімуму модуля різниці між даними площами:

$$|S_{II}(h_{II}) - S_K| \rightarrow \min.$$

З точки зору споживання обчислювальних ресурсів дана задача однопараметричної оптимізації, порівняно з рештою алгоритму роботи, не є складною.

Для перевірки ефективності запропонованого способу було відібрано пробу води з озера Басів Кут (м. Рівне), здійснений запис відеоматеріалу з цифрового мікроскопа, під час якого змінена яскравість підсвітки так, що середня інтенсивність фону у 8-бітній палітрі відтінків сірого збільшилась з 30 до 68. На отриманому відеозаписі початкова програма визначила середні розміри мікроорганізмів на 1,8 мкм більші, ніж програма з налаштуванням порогового фільтра у процесі роботи (періодичність налаштування 1с, кількість об'єктів для налаштування -5). Середнє використання процесора на частоті 1 ГГц відповідно 65,1 та 72,4% при відслідковуванні 23 мікроорганізмів за хвилину.

## ВИСНОВКИ

Запропонований спосіб налаштування порогового фільтра дозволяє підвищити точність визначення розмірів мікропланктону та в подальшому величину біомаси мікропланктону, виключити можливість невірної визначення швидкості росту мікроорганізмів внаслідок зміни колірності або мутності води при біологічному моніторингу поверхневих вод, не збільшуючи суттєво використання процесорного часу та зберігаючи можливість створення автономного автоматичного пристрою визначення біологічних показників якості води.

1. Andersen R. A. *Phytoplankton cell counting by flow cytometry* / Robert Arthur Andersen // *Algal Culturing Techniques*. – Academic Press, 2005. – С. 254-259. 2. 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. 3. 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. 4. Дослідження динаміки процесів евтрофікації у водоймах господарсько-побутового призначення на основі комп'ютеризованих технологій обробки виміральної інформації / М. Т. Бакка, Е. О. Аристархова, Т. О. Сльнікова, Ю. О. Подчащинський // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2006. – № 3/2 (21) – С. 20-24. 5. Реут Д. Т. Використання комп'ютерного зору для оцінки кількості мікропланктону в поверхневих водах / Д. Т. Реут, В. В. Древецький // *Матеріали Всеукраїнської наукової конференції “Сучасні*

*проблеми математичного моделювання та обчислювальних методів”*, 22-23 лютого 2013 р., м. Рівне. – Рівне: НУБГП, 2013. – С. 152. 6. OpenCV 2.4.6 documentation // <http://docs.opencv.org> – 2013. 7. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. / Д. Форсайт, Ж. Понс. — М.: Издательский дом “Вильямс”, 2004. – 928 с.

**Поступила в редакцію 29.11.2013р.**

**Рекомендували до друку Оргкомітет 4-ої н/п конференції студентів і молодих учених «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання» (26-27.11.2013р., ІФНТУНГ) та докт. техн. наук, проф. Кісіль І. С.**