

**УДК 681.51.3**

**Михайло Паламар д.т.н., професор, Роман Сіправський**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

### **КОМП'ЮТЕРНИЙ АНАЛІЗ РОСТУ ТА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ СПОР ТЕРМОФІЛЬНИХ ТА МЕЗОФІЛЬНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ.**

Розглянуто реалізацію автоматизованого зчитування і опрацювання відеоінформації для дослідження ефективних алгоритмів відслідковування динаміки росту та розповсюдження спор термофільних та мезофільних мікроорганізмів. Висвітлено основні етапи на основі яких спроектований

алгоритм автоматичного підрахунку та слідкування за колоніями спор в реальному часі. Ключові слова: мікроорганізми, системи розпізнавання зображень, комп'ютерна сегментація.

### **Mykhaylo Palamar, Roman Sipravskyi** **SYSTEM IDENTIFICATION OF DYNAMICS SPREAD OF MICROORGANISMS IN DAIRY PRODUCTS BASED ON PATTERN RECOGNITION**

Realization of automated reading and video processing to study efficient algorithms for tracking the dynamics of growth and spread of spores of mesophilic and thermophilic microorganisms were studied. The basic steps based on the algorithm of automatic counting and tracking spore colonies in real time were investigated.

Keywords: microorganisms, image recognition systems, computed segmentation.

Дотримання вимог сучасних все зростаючих стандартів якості і безпечності продуктів при їх виробництві в харчовій промисловості вимагає вирішення низки спеціалізованих задач автоматизації контролю якості із впровадженням інформаційних технологій. Зокрема часто виникає необхідність впровадження систем автоматизації контролю технологічних процесів функціонування яких вимагає використання програмно-технічних засобів обробки та розпізнавання зображень.

В харчовій промисловості, зокрема виробництві молочних продуктів, для підвищення якості і безпечності продукції дуже важливим є відслідковування динаміки росту та розповсюдження спор термофільних та мезофільних мікроорганізмів у тестових (пробних) зразках. Оскільки в залежності від температури розвитку, спори даних мікроорганізмів можуть культивуватись на протязі 72 годин, причому максимальна кількість колоній може бути досягнута як на середині періоду досліджень так і в кінці. Під час утворення колоній на поверхні поживного агару спори мають властивість повзучого росту. Для отримання коректного аналізу мікробіолог зобов'язаний кожні декілька (6) годин переглядати чашки Петрі і окреслювати зони росту, щоб визначити точну кількість спор на момент зчитування результату. При масовому виробництві при наявності великої кількості зразків, лаборанти не мають змоги перевіряти зразки надто часто, а відповідно і результати аналізу стають не актуальні, тому що колонії мікроорганізмів зростаються і стає не можливо порахувати їхню кількість, як це показано на (рис 1).

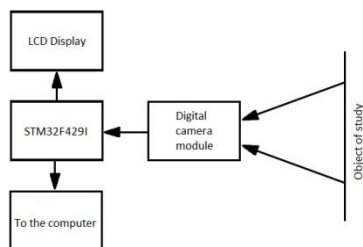


Рис. 1. Колонія

Для отримання стабільно достовірного аналізу запропоновано метод автоматизованого відслідковування та аналізу, який унеможливить момент пропущення

фази з максимальною кількістю колоній спор, оскільки комп'ютерна система в реальному часі буде слідкувати за всіма чашками Петрі котрі будуть знаходитись в полі зору камери.

Для цього було розроблено експериментальну систему автоматизованого зчитування і опрацювання відеоінформації для дослідження ефективних алгоритмів аналізу і прийняття рішень (рис.2).



Системи розпізнавання зображень розвиваються і досліджуються не одне десятиліття і на даний момент існує багато методів і підходів до реалізації, котрі мають принципові відмінності, тому в ході експериментальних досліджень було розроблено відповідний математичний та програмний апарат, який базується на обробці та сегментації зображень, отриманих під час автоматичного стеження за дослідними зразками.

Рис.2. Система зчитування

Для реалізації даного алгоритму було підібрано найбільш точніший метод – сегментація оператором Canny. Хоча цей оператор це є набір алгоритмів тому його швидкодія поступаєтья більш простим градієнтним операторам, але він також має підвищене співвідношення сигнал/шум, та хорошу локалізацію та єдиний відклик на одну границю. Такі показники роботи оператора досягаються завдяки тому, що він являє собою дуже близьке наближення до першої похідної Гаусса.

Сегментація відбувається із застосуванням оператора виділення границь зображення для зменшення кількості даних для опрацювання. Відфільтрована частина даних являється менш значимою, але найбільш важливі структурні деталі зберігаються. В результаті виділення границь формується набір зв'язаних кривих, котрі позначають границі об'єктів.

Оператор Canny був порівняний з градієнтними операторами, котрі представляють собою матричні маски. До них відносять три наступні оператори: Робертска, Превітта, Собеля. Вони мають високу швидкодію, прості у використанні, але дуже чутливі до завад та шумів.

Для дослідження алгоритму сегментації зображень було співставлень результати його роботи у порівнянні із підрахунком колоній стандартною методикою та визначено, що саме від роботи операторів виділення границь залежить якість сегментації. Визначено, що оператор Canny задовольняє необхідну точність підрахунку клітин, яка складає 97,3% до кількості колоній за котрими слідкували і прораховували лаборанти.

На реальних зображеннях, крім колоній спор, існує багато шумів, неоднорідностей, забруднень та можлива присутність сторонніх об'єктів, які необхідно ідентифікувати. Для розпізнавання контурів сфотографовану картинку, (рис.3, а) алгоритм переводить у напівтонове зображення, перетворюючи кольорові складові в відповідні для них значення яскравості чорно-білого зображення після чого підвищується контраст зображення при допомозі розтягнення значень інтенсивностей динамічного діапазону (рис. 3, б)

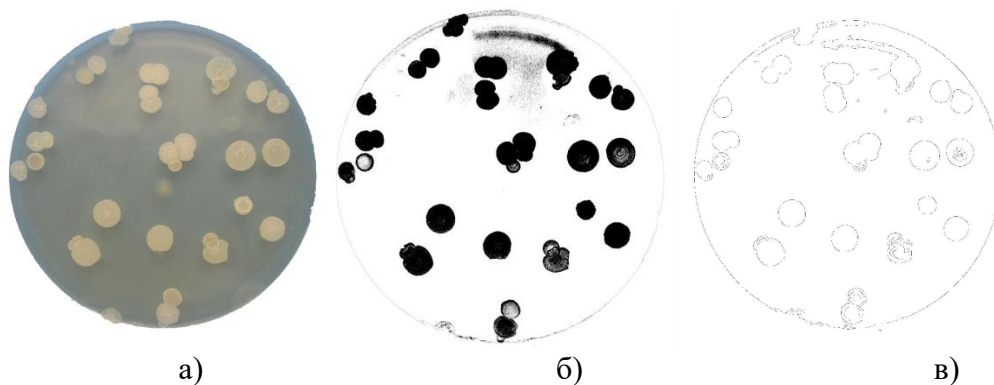


Рис. 3. Схема обробки аналізованих зображень

Оскільки зображення інколи мають недоліки фрагментації (криві границі не з'єднані між собою, відсутність в деяких місцях границь взагалі, або наявність хибних границь) після спрацювання операторів сегментації (рис.3, в). З метою їх усунення після сегментації використовується функція нарощування (рис. 4, а).

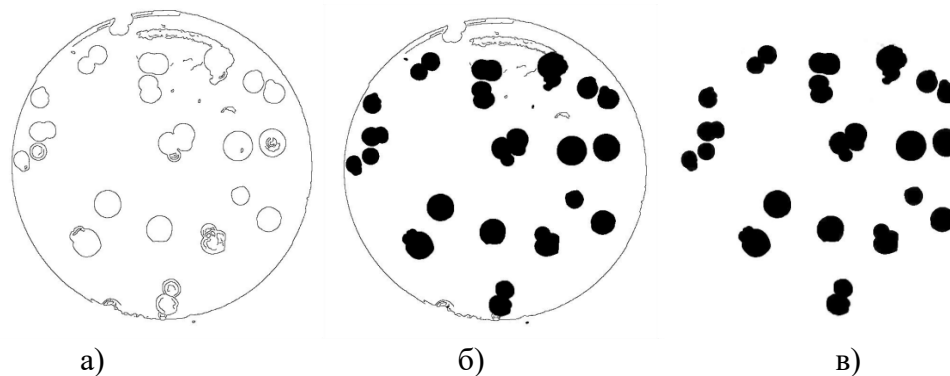


Рис. 4. Результати застосування функції нарощування

Для подальшої обробки зображення алгоритм заповнює отвори на бінарному зображенні (рис.4,б). За допомогою даного підходу ми отримуємо масив із дископодібною структурою з двійкового досліджуваного поля та опрацьовуємо його, при цьому обводячи контур та вираховуючи радіуси об'єктів. Оскільки після застосування функції заливання отворів на бінарному зображенні залишаються неоднорідності використовуємо морфологічну операцію перевідкриття бінарного зображення із наперед заданим дископодібним структурним елементом (рис. 4, в).

На основі запропонованих алгоритмів спроектована комп'ютерна система, яка складається з наступних етапів:

- аналізу зображення отриманого з модуля відео захвату;
- зміна контрасту зображення;
- оброблення зображення медіальним фільтром для зменшення шумів;
- сегментація;
- визначення та покращення контурів об'єктів;
- перебір в циклі всіх знайдених об'єктів для обрахунку їх кількості, радіусу.

Розроблена комп'ютерна система та алгоритм опрацювання інформації дає змогу автоматизувати проведення обрахунків, мінімізувати людський фактор та максимально зменшити кількість зразків котрі приходять у невідповідність. Як показали дослідження система задовольняє необхідну точність обрахунків яка склала 97,3%.