

ния концентрации ионов активатора интенсивность люминесценции сначала увеличивается, а затем уменьшается.  $MgAl_2O_4: 0.5Ce$  имеет самую сильную освещенность. Из кривой затухания люминесценции можно наблюдать, что время люминесценции в наносекундном временном диапазоне связано с длиной волны люминесценции, а свет с большими длинами волн затухает медленно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hua H, Feng S, Ouyang Z, Shao H, Qin H, Ding H, Du Q, Zhang Z, Jiang J, Jiang H. YAGG: Ce transparent ceramics with high luminous efficiency for solid-state lighting application // *Journal of Advanced Ceramics*. – 2019. – Т. 8., № 3. – С. 389–398.
2. Han S, Tao Y, Du Y, Yan S, Chen Y, Chen D. Luminescence Behavior of  $GdVO_4: Tb$  Nanocrystals in Silica Glass-Ceramics // *Crystals*. – 2020. – Т. 10., № 5. – С. 396.
3. Ganesh I. A review on magnesium aluminate ( $MgAl_2O_4$ ) spinel: synthesis, processing and applications // *International Materials Reviews*. – 2013. – Т. 58., № 2. – С. 63-112.
4. W. A. I. Tabaza, H. C. Swart, R. E. Kroon. Luminescence of Ce doped  $MgAl_2O_4$  prepared by the combustion method // *Physica B: Condensed Matter*. – 2014. – Т. 439. – С. 109-114.

Лю Люян (Китай), Суханов Алексей Викторович,  
Воскобойникова Ольга Борисовна  
Томский политехнический университет, Томск

### **КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИСЛОТНОСТИ ПАСТЕРИЗОВАННОГО МОЛОКА**

#### **Введение**

Определение кислотности молока на основе изменения цвета колориметрического сенсора с использованием технологии компьютерного зрения. Значение pH пастеризованного молока составляет 6,8, а при pH ниже 6,5 молоко считается испорченным. При уменьшении значения pH цвет колориметрического сенсора меняется от светло-зеленого до желтого. Используя обычную web-камеру с интерфейсом USB, можно отслеживать изменение цвета реагента и, следовательно, определять значение pH в режиме реального времени, путем преобразования в значе-

ния цветовых координат цветовой модели RGB. Применение соответствующего программного обеспечения и алгоритмов обработки данных позволяет более объективно сравнивать текущие значения заранее полученной колориметрической шкалой.

Ключевые слова: оценка порчи молока, значение pH, компьютерное зрение.

#### **Подбор экспериментального оборудования**

Аппаратное обеспечение: камера с интерфейсом USB, телецентрический объектив, источник заполняющего света, карта захвата изображения, Спектрофотометр, pH-метр, датчик технического зрения [1]. Программное обеспечение: NI Vision Builder AI 2018 (64-bit) [2].

#### **Выбор образца молока**

Пакетированное пастеризованное молоко можно приобрести в Томске. Температура хранения  $T = (4 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Дату изготовления и срок годности можно узнать на упаковке.

#### **Инспекционная техника на основе машинного зрения**

##### Компьютерное зрение

Компьютерное зрение – это технология и методы, используемые для обеспечения автоматического контроля и анализа на основе изображений для таких приложений, как автоматический контроль, управление процессами и управление роботами, обычно в промышленности. Машинное зрение является подразделом инженерии, связанное с вычислительной техникой, оптикой, машиностроением и промышленной автоматизацией. Одно из наиболее распространённых приложений машинного зрения — инспекции промышленных товаров, таких как полупроводниковые чипы, автомобили, продукты питания и лекарственные препараты.

Цветовая модель RGB [3] – это модель для отображения цвета в цифровых устройствах — например, на мониторах или в цифровых камерах. В ней каждый цвет кодируется значениями базовых цветов: Red (красный), Green (зелёный) и Blue (голубой). Это три оси, которые имеют градацию значений от 0 до 255. Нулевая точка этой системы координат – чёрный, а максимальные значения по всем трём осям кодируют белый цвет. Цветовое пространство RGB широко используется при количественной оценке растворов и иммобилизованных веществ с использованием цифровой обработки изображений и специального программного обеспечения, которое позволяет извлекать колориметрическую информацию путем выбора областей интересов на изображении [4].

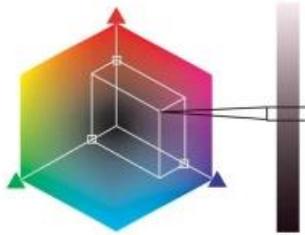


Рисунок 1. Цветовая модель RGB

### Анализ цветовой шкалы

Используйте индикатор для проверки молока разной свежести. Запишите соответствующее значение рН и проведите тренировку.

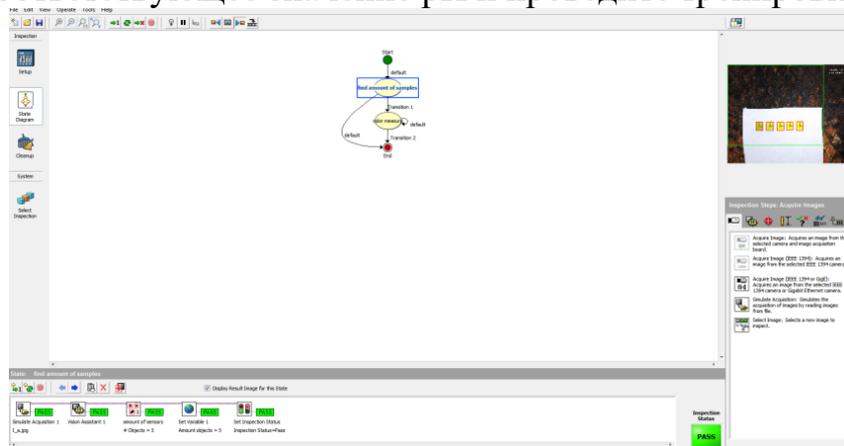


Рисунок 2. Нахождение образцов на изображении

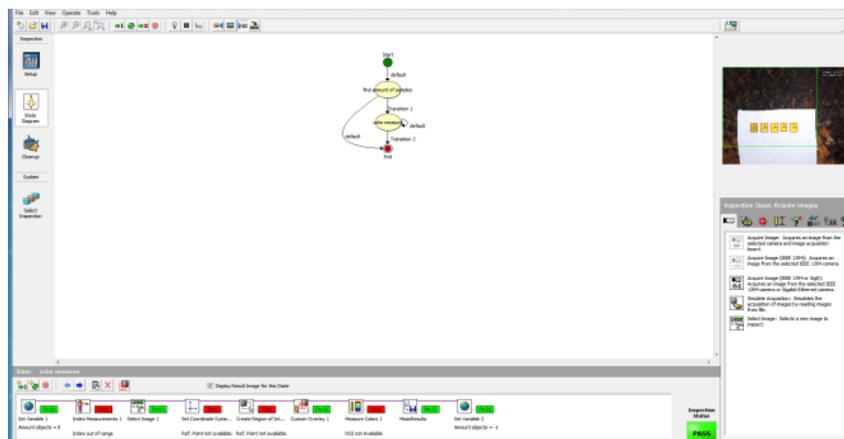


Рисунок 3. Измерение цветковых координат обнаруженных на изображении образцов

### Получение цветовой шкалы для сравнения

В качестве колориметрического сенсора для определения рН был использован рН чувствительный элемент на основе бромкрезолового пурпурного иммобилизованного в полимерную матрицу [5].

Образцы колориметрических сенсоров были погружены в 50 мл пастеризованного молока с различным значением pH до установления кислотно-основного равновесия. После извлечения были получены из фотографии при постоянных условиях освещения и измерены значения pH образцов молока. Полученные изображения были обработаны с использованием разработанного алгоритма для извлечения цветиметрических координат в RGB цветовом пространстве. Зависимость цветиметрических координат от pH молока представлены на рисунке 3. Уравнения, описывающие полученные зависимости и их коэффициенты корреляции представлены в таблице 1. Также здесь представлены значения pH, полученных расчетным способом по цветиметрическим координатам и значения относительной ошибки. Видно, что при использовании координаты R значение относительной ошибки не превышает 5,4%, для G 5,2%. Значения R, G координат могут быть использованы для практического расчета значения pH.

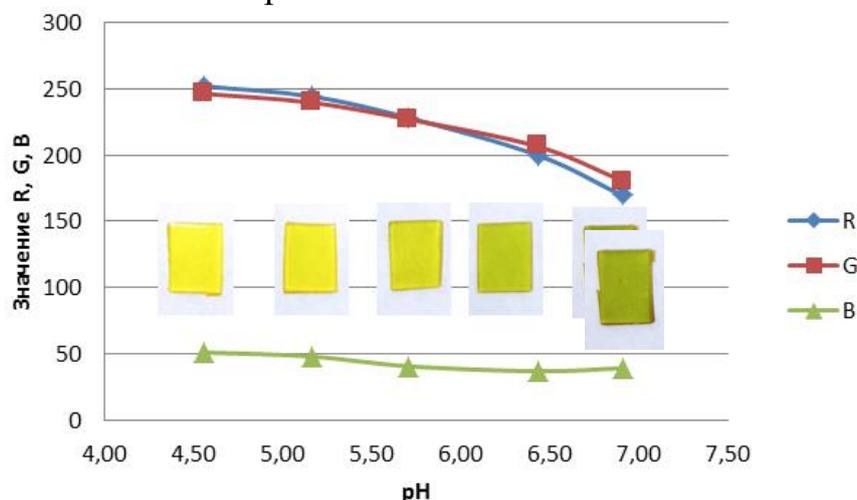


Рисунок 4. Зависимость R, G, B координат от pH молока и образцы колориметрических сенсоров

Таблица 1

| pНизм | $R = -34.796 \cdot \text{pH} + 418.79$<br>$r = 0.97$ |            | $G = -27.316 \cdot \text{pH} + 377.02$<br>$r = 0.97$ |            | $B = -5.8889 \cdot \text{pH} + 77.381$<br>$r = 0.92$ |            |
|-------|--|------------|--|------------|--|------------|
|       | pНрасч.  | $\delta$ % | pНрасч.  | $\delta$ % | pНрасч.  | $\delta$ % |
| 6.91  | 7.17   | 3.7        | 7.20   | 4.1        | 6.44   | 6.9        |
| 6.43  | 6.29   | 2.2        | 6.25   | 2.9        | 6.81   | 5.9        |
| 5.71  | 5.49   | 3.9        | 5.50   | 3.7        | 6.19   | 8.4        |
| 5.16  | 5.02   | 2.7        | 5.04   | 2.4        | 4.92   | 4.6        |
| 4.55  | 4.80   | 5.4        | 4.79   | 5.2        | 4.41   | 3.2        |

## **Вывод**

Предложена возможность определения степени порчи молока на основе машинного зрения. Вы можете использовать программное обеспечение NI Vision Builder AI для мониторинга pH молока в режиме реального времени и сравнения его с обучающими образцами для контроля качества молока.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Карстен Стегер, Маркус Ульрих, Кристиан Видеманн, Алгоритмы и приложения машинного зрения.
2. Ян Бо, программирование и отладка системы промышленного зрения (на основе системы технического зрения VBAI).
3. Чен Цзябинь; Ван Кэцян, Алгоритм коррекции насыщенности на основе цветового пространства HSI, электронное качество, 2016-06-20.
4. Ю. Шишкин, С.Г. Дмитриенко, О.М. Медведева, С.А.Бадакова, Л. Пяткова, Использование сканера и программного обеспечения для цифровой обработки изображений для количественного определения адсорбированных веществ, J. Anal. Chem. 59 (2004) 102-106.
5. Gavrilenko, N.A., Saranchina, N.V., Sukhanov, A.V., Fedan, D.A. Reversible pH-sensitive element based on bromocresol purple immobilized into the polymethacrylate matrix (2018) Mendeleev Communications, 28 (4), pp. 450-452.

Лю Юаньсюнь (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Ковалевская Жанна Геннадьевна,  
д.т.н., доцент

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ Ti-Al**

Современное производство стремительно развивается благодаря широкому использованию металлических сплавов. Металлические сплавы обладают превосходными свойствами и легко обрабатываются в различные детали, и при этом имеют достаточную прочность. Но, в настоящее время рабочее оборудование используется в более жестких