

Применение цветовой сегментации для автоматизированной классификации качества мяса

Исса Али, В.А. Каргин, Е.А. Назойкин, Д.Ю. Сохинов

Российский биотехнологический университет

Аннотация: Актуальность точного прогнозирования содержания жира на поверхности мясной продукции обусловлена необходимостью обеспечения эффективного контроля качества в пищевой промышленности. В представленной статье предложен эффективный метод обнаружения и количественной оценки содержания жира на поверхности мяса, основанный на применении цветовой сегментации в пространстве тон-насыщенность-яркость. Использование различий в цветовых характеристиках жировой и мышечной ткани позволяет эффективно сегментировать изображения мясных образцов и производить расчет процентного содержания жира, а также анализировать особенности его распределения. Простота реализации и надежность алгоритма делают его перспективным для применения в системах автоматизированного контроля качества в режиме реального времени, обеспечивая удобство использования и высокую вычислительную эффективность.

Ключевые слова: компьютерное зрение, цветовая сегментация, обработка изображений, библиотека компьютерного зрения, веб-фреймворк, автоматизация контроля качества.

Введение

В пищевой промышленности в целом, и в мясоперерабатывающей отрасли в частности, контроль качества является критически важным этапом производства, влияющим на экономическую эффективность предприятия и удовлетворенность потребителей [1-3]. Одним из ключевых показателей качества мясной продукции является содержание жира, которое определяет вкусовые характеристики, пищевую ценность и товарный вид продукта. Традиционные методы оценки содержания жира, основанные на ручном осмотре и субъективной оценке, отличаются низкой производительностью и высокой вероятностью ошибок. В связи с этим, разработка автоматизированных систем, обеспечивающих быструю и объективную оценку содержания жира в мясной продукции, является актуальной научно-технической задачей.

Существующие методы автоматизированной оценки содержания жира, как правило, основаны на анализе изображений, полученных с помощью

различных видов сканирующих устройств [4-6]. Однако, многие из этих методов требуют сложного оборудования и значительных вычислительных ресурсов, что ограничивает их применение в условиях реального производства. В связи с этим, разработка простых и эффективных алгоритмов обработки изображений, позволяющих точно оценивать содержание жира в мясной продукции, является важным направлением исследований в области автоматизации и управления технологическими процессами в пищевой промышленности.

Цель исследования

Разработать эффективный и устойчивый метод автоматического определения процентного содержания жира и постного мяса на поверхности образцов с использованием цветовой сегментации, позволяющий повысить точность и скорость анализа при минимальных вычислительных ресурсах.

Материалы и методы

В качестве материалов исследования использовались изображения различных видов мясной продукции, полученные с помощью цифровой камеры при различных условиях освещения. Для реализации разработки алгоритма цветовой сегментации применялась библиотека OpenCV, выбор которой обусловлен ее высокой производительностью и наличием оптимизированных алгоритмов для обработки изображений в реальном времени [7-9]. Разработка велась на языке программирования Python, позволяющего создавать в том числе, пользовательские интерфейсы [10].

Для загрузки и обработки изображений был реализован веб-интерфейс на базе фреймворка Flask, позволяющий пользователям загружать файлы в форматах PNG, JPEG и JPG. После сохранения изображения преобразовывались из цветового пространства BGR, используемого

большинством камер, в цветовое пространство тон-насыщенность-яркость (Hue-Saturation-Value — HSV) с помощью библиотеки OpenCV [9]:

```
img = cv2.imread(image_path)
hsv = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
```

Такое преобразование позволило отделить цветовые компоненты, что существенно повысило устойчивость последующего анализа к изменениям освещения [11-13].

Сегментация жира и постного мяса осуществлялась путём выделения цветовых диапазонов, характерных для соответствующих областей в пространстве HSV. Постное мясо было выделено на основе двух диапазонов оттенков красного цвета, что связано с особенностями цветового круга и вариациями оттенков в разных образцах (оттенок: 0–10 и 160–180; насыщенность: 50–255; яркость: 50–255):

```
lower_red1 = np.array([0, 50, 50])
upper_red1 = np.array([10, 255, 255])
lower_red2 = np.array([160, 50, 50])
upper_red2 = np.array([180, 255, 255])
red_mask1 = cv2.inRange(hsv, lower_red1, upper_red1)
red_mask2 = cv2.inRange(hsv, lower_red2, upper_red2)
red_mask = cv2.bitwise_or(red_mask1, red_mask2)
```

Результат сегментации постного мяса показан на рисунке 1.

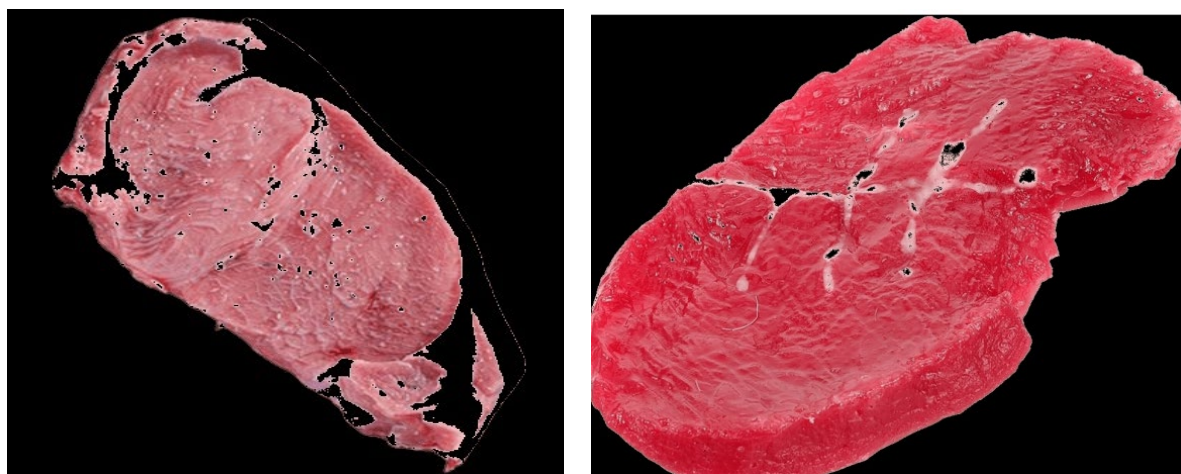


Рис. 1. - Результат сегментации постного мяса

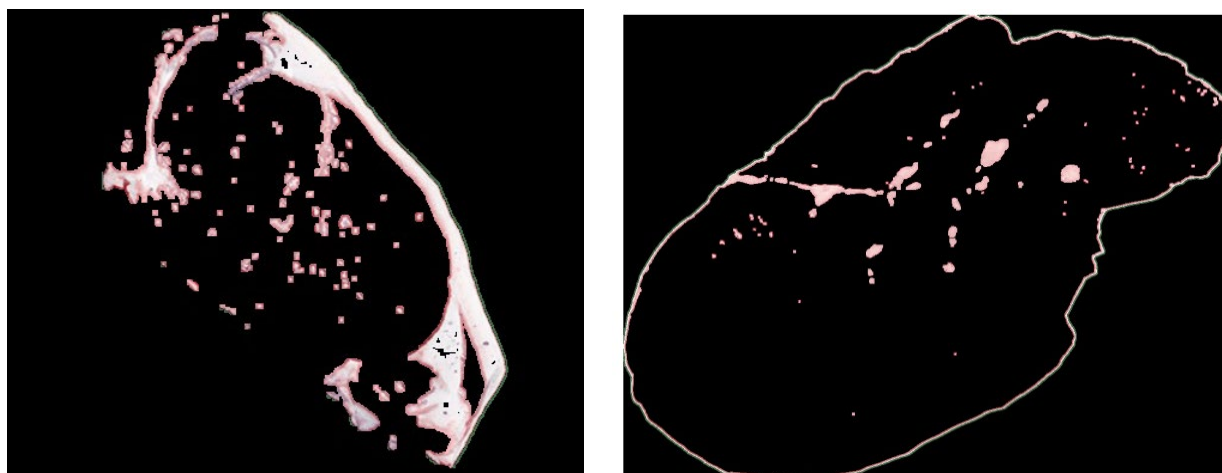


Рис. 2. - Результат сегментации жира

Для жира, который визуально представлен светлыми или белыми участками, использовались диапазоны с низкой насыщенностью и высокой яркостью, что позволяло эффективно отделять жир от постного мяса и фона (оттенок: 0–20 и 160–180; насыщенность: 0–50; яркость: 180–255):

```
lower_white1 = np.array([0, 0, 180])  
upper_white1 = np.array([20, 50, 255])  
lower_white2 = np.array([160, 0, 180])  
upper_white2 = np.array([180, 50, 255])  
white_mask1 = cv2.inRange(hsv, lower_white1, upper_white1)  
white_mask2 = cv2.inRange(hsv, lower_white2, upper_white2)  
fat_mask = cv2.bitwise_or(white_mask1, white_mask2)
```

Результат сегментации жира показан на рисунке 2.

После создания бинарных масок соответствующих областей применялись морфологические операции закрытия и дилатации с ядром размером 5×5 пикселей для удаления шумов и заполнения мелких дефектов, что повышало точность и непрерывность сегментированных областей.

Маски создавались с помощью функции `cv2.inRange()` и объединялись с помощью логических операций.

Для вычисления процентного содержания жира и постного мяса подсчитывалось количество пикселей в соответствующих масках. Общая площадь мясного образца определялась суммой пикселей маски постного

мяса, а площадь жира – количеством пикселей в маске жира. Процентные значения рассчитывались как отношение площади каждой из областей к общей площади, что позволяло получать количественные показатели, необходимые для контроля качества продукции:

```
total_area = np.count_nonzero(red_mask)
fat_area = np.count_nonzero(fat_mask)
lean_meat_area = total_area - fat_area
lean_meat_percentage = (lean_meat_area / total_area) * 100
```

Для удобства пользователя и повышения информативности на исходные изображения накладывались контуры жировых областей и текстовые аннотации с вычисленными процентными значениями.



Рис. 3. - Отображение результатов в режиме реального времени

Веб-интерфейс обеспечивал отображение результатов в режиме реального времени и возможность скачивания обработанных изображений для дальнейшего анализа (рис.3).

Результаты и обсуждение.

Проведенные исследования продемонстрировали эффективность разработанного алгоритма при анализе образцов мясной продукции. Результаты испытаний подтвердили его высокую точность, в том числе, при изменении освещенности. Зафиксированная средняя погрешность при

определении содержания жира составила менее 5%. Вычислительная эффективность разработанной системы позволяет осуществлять обработку изображений в режиме реального времени, что обуславливает перспективы ее внедрения в автоматизированные системы контроля качества на предприятиях мясоперерабатывающей отрасли.

Анализ результатов сегментации мышечной ткани в цветовом пространстве HSV продемонстрировал высокую степень соответствия фактическим данным. Выбор диапазонов цветового тона, связанного с красным цветом мяса, обеспечил эффективное отделение постной ткани от других составляющих, в частности жира, фона и др. Использование двух диапазонов красного спектра гарантировало всестороннее покрытие различных оттенков красного, что является принципиальным для точного определения общей площади постной ткани. Предложенный метод сегментации продемонстрировал устойчивость при работе с различными видами мяса, включая говядину, свинину и баранину,

Сегментация жировой ткани, визуализируемой в виде белых областей, также продемонстрировала результативность. Использование параметров низкой насыщенности и высокой яркости в цветовом пространстве HSV позволило отделить участки жира от мышечной ткани и прочих посторонних элементов. Применение морфологических операций после сегментации способствовало снижению уровня шума и повышению аккуратности выделения областей, соответствующих липидам. Было обеспечено надежное обнаружение даже небольших скоплений жировой ткани, с четкой идентификацией контуров липидных включений. Данная точность является критически важной для обеспечения контроля качества на пищевых производствах, где даже незначительные отклонения в процентном содержании жира могут оказывать влияние на стоимость продукции и потребительские предпочтения.

Обобщая, полученные результаты подтверждают потенциал применения разработанного алгоритма для автоматизированной оценки липидного содержания в мясной продукции. В перспективе планируется проведение дальнейших исследований, направленных на повышение точности алгоритма и расширение его функциональных возможностей. В частности, предполагается разработка алгоритмов автоматической адаптации параметров сегментации к различным видам мясной продукции и варьирующимся условиям освещения. Также планируется изучение возможности применения методов машинного обучения для повышения прецизионности сегментации и классификации мясной продукции в зависимости от процентного содержания липидов.

Заключение

В настоящей работе предложен и апробирован метод автоматического определения процентного содержания жира и постного мяса на поверхности мясных образцов с использованием цветовой сегментации в пространстве HSV. Разработанный подход характеризуется высокой точностью, устойчивостью к изменениям освещения и вычислительной эффективностью, что делает его перспективным инструментом для внедрения в автоматизированные системы контроля качества мясной продукции. Метод обеспечивает быструю и надёжную оценку, способствуя оптимизации производственных процессов и повышению качества продукции.

Список литературы

1. Благовещенская М.М., Фомушкин В.И., Благовещенский И.Г., Татаринов А.В. Автоматизированная система контроля безопасности пищевых продуктов на примере мясного сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 4. С. 49-52. EDN: WDEIUQ

2. Репкин В.С., Ли А.В., Семенов Г.Ю., Сермавкин Н.И., Коваленко А.С., Егошин Н.С. Сравнительный анализ моделей классификации для определения качества вина по его химическому составу // Известия Томского политехнического университета. Промышленная кибернетика. 2023. Т. 1. № 1. С. 50-58. EDN: VKIADI
 3. Донник И.М., Балыхин М.Г., Благовещенский И.Г., Благовещенская М.М. Разработка баз данных интеллектуальных экспертных систем автоматического контроля показателей качества пищевой продукции // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 4. С. 126-138.
 4. Ahmed, M.R.; Reed, D.D., Jr.; Young, J.M.; Eshkabilov, S.; Berg, E.P.; Sun, X. Beef Quality Grade Classification Based on Intramuscular Fat Content Using Hyperspectral Imaging // Technology. Appl. Sci. 2021, 11, 4588. DOI: 10.3390/app11104588.
 5. Приймак Е.В., Сопин В.Ф., Зиннуров И.И. Автоматизация процесса квалиметрической оценки уровня качества продукции // Вестник Технологического университета. 2023. Т. 26. № 2. С. 99-103. DOI: 10.55421/1998-7072_2023_26_2_99
 6. Каргин В.А., Сохинов Д.Ю., Усанов К.М., Мокрушин С.А., Кротов И.В. Интеллектуальная автоматизированная система управления сортировкой фруктов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2024. Т. 71. № 2(55). С. 100–106. DOI: 10.22314/2658-4859-2024-71-2-100-106. EDN: GQEBAB.
 7. Farzan M.R. Physical distancing detection system using OpenCV based on raspberry pi4 // Journal of Computer Engineering, Electronics and Information Technology. 2023. Т. 1. № 2. pp. 117-128. DOI: 10.17509/coelite.v1i2.59702
 8. Амонуллозода О.А. Методы распознавания объектов по изображению при помощи библиотеки OpenCV // Вестник Технологического университета Таджикистана. 2019. № 1 (36). С. 73-80.
-

9. Boikov A.V., Payor V.A., Savelev R.V. Technical vision system for analysing the mechanical characteristics of bulk materials // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 944. Ser. 944 012021. DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012021.

10. Прохоренок Н. А., Дронов В. А. Python 3. Самое необходимое // 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2019. – 608 с.

11. Скворцов А. А., Анурьева М. С., Солодовников А. Н. Применение алгоритмов машинного обучения для прогнозирования отказов и адаптивного управления производственными системами // Инженерный вестник Дона, 2025, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2025/10059

12. Казначеева И. А., Власенко А. В. Разработка алгоритма распознавания изображений для автоматизированной системы контроля дефектов стеклоткани на основе методов машинного обучения // Инженерный вестник Дона, 2025, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2025/10058

13. Sánchez CN, Orvañanos-Guerrero MT, Domínguez-Soberanes J, Álvarez-Cisneros YM. Analysis of beef quality according to color changes using computer vision and white-box machine learning techniques // Heliyon. 2023 Jul 9(7):e17976. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e17976. PMID: 37519729; PMCID: PMC10375562.

References

1. Blagoveshchenskaya M.M., Fomushkin V.I., Blagoveshchenskiy I.G., Tatarinov A.V. Khranenie i pererabotka selkhozsyrya. 2017. No. 4. pp. 49–52. EDN: WDEIUQ.

2. Repkin V.S., Li A.V., Semenov G.Yu., Sermavkin N.I., Kovalenko A.S., Egoshin N.S. Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Promyshlennaya kibernetika. 2023. Vol. 1. No. 1. pp. 50–58. EDN: VKIADI.

3. Donnik I.M., Balykhin M.G., Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskaya M.M. Khranenie i pererabotka selkhozsyrya. 2018. No. 4. pp. 126–138.
4. Ahmed M.R., Reed D.D. Jr., Young J.M., Eshkabilov S., Berg E.P., Sun X. Appl. Sci. 2021. Vol. 11. Art. 4588. DOI: 10.3390/app11104588.
5. Priymak E.V., Sopin V.F., Zinnurov I.I. Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2023. Vol. 26. No. 2. pp. 99–103. DOI: 10.55421/1998-7072_2023_26_2_99.
6. Kargin V.A., Sokhinov D.Yu., Usanov K.M., Mokrushin S.A., Krotov I.V. Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. 2024. Vol. 71. No. 2(55). pp. 100–106. DOI: 10.22314/2658-4859-2024-71-2-100-106. EDN: GQEBAB.
7. Farzan M.R. J. Comput. Eng. Electron. Inf. Technol. 2023. Vol. 1. No. 2. pp. 117–128. DOI: 10.17509/coelite.v1i2.59702.
8. Amonullozoda O.A. Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta Tadjikistana. 2019. No. 1(36). pp. 73–80.
9. Boikov A.V., Payor V.A., Savelev R.V. J. Phys.: Conf. Ser. 2018. Vol. 944. Art. 012021. DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012021.
10. Prokhorenok N.A., Dronov V.A. Python 3. Samoe neobkhodimoe [Python 3. Essentials]. 2nd ed., rev. and ext. St. Petersburg: BHV-Peterburg, 2019. 608 p.
11. Skvortsov A.A., Anuryeva M.S., Solodovnikov A.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2025. No. 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2025/10059.
12. Kaznacheeva I.A., Vlasenko A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2025. No. 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2025/10058.
13. Sánchez C.N., Orvañanos-Guerrero M.T., Domínguez-Soberanes J., Álvarez-Cisneros Y.M. Heliyon. 2023. Vol. 9. No. 7: e17976. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e17976.

Дата поступления: 9.07.2025

Дата публикации: 25.09.2025

