

Автоматическая сегментация составных элементов хлебобулочных изделий с использованием архитектуры U-Net

В. В. Гульванский, Д. И. Каплун, М. В. Миненко,
И. М. Баранов, Л. С. Братченко, Г. А. Гаврилов

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
vvgulvanskii@etu.ru*

Аннотация. Данная статья исследует эффективное применение архитектуры U-Net для автоматической сегментации различных составных элементов хлебобулочных изделий. Методология включает в себя подготовку разнообразных данных, включая начинку, тесто и кусочки мяса, а также применение различных методов аугментации, таких как горизонтальное и вертикальное отражение, эластичные трансформации и искажения сетки. Основной акцент делается на преодолении сложностей, связанных со схожестью текстур, цветов и структур между различными составляющими хлебобулочных изделий. С использованием тщательно подобранной архитектуры U-Net и разнообразных методов аугментации, удалось успешно выделить контуры и границы начинки, теста и кусочков мяса на изображениях. Результаты исследования демонстрируют, что модель способна эффективно справляться с задачей сегментации даже в условиях схожести между объектами. Это открывает перспективы для автоматизации процессов анализа и классификации ингредиентов в хлебобулочных изделиях, повышая эффективность производства и контроля качества. Предложенный метод может быть востребован в пекарных производствах и пищевой промышленности, способствуя оптимизации процессов производства и улучшению опыта потребителей.

Ключевые слова: U-Net; рентгенография; хлебобулочные изделия; нейронные сети

I. ВВЕДЕНИЕ

Производство хлебобулочных изделий с начинкой – это сложный и хорошо согласованный процесс, требующий точного контроля, чтобы обеспечить высокое качество конечной продукции. В мире, где спрос на хлебобулочные изделия растет, а вкусовые ожидания потребителей становятся все более разнообразными, анализ пирожков на производстве играет ключевую роль в обеспечении соответствия стандартам, эффективной работе и удовлетворении клиентов.

Пирожки, с их разнообразием начинок и текстур, давно завоевали популярность в мировой кулинарии. Начиная от традиционных мясных и картофельных начинок до современных вегетарианских и гурманских вариантов, они предоставляют бесконечные возможности для творчества. Однако, производство качественных пирожков – это более сложная задача, чем может показаться на первый взгляд.

В данной статье мы опишем способ анализа пирожков на производстве с помощью

высокоскоростного рентген аппарата, рассмотрим важность этого процесса для поддержания высокого стандарта продукции, обеспечения бесперебойной работы производства и удовлетворения технологических требований. Мы изучим различные аспекты анализа, включая контроль качества ингредиентов, процесс приготовления и конечной продукции, а также роль автоматизации и современных технологий в этом процессе с использованием нейронной сети U-Net.

II. АНАЛИЗ ИНГРЕДИЕНТОВ

Начинка хлебобулочных изделий может варьироваться от простых ингредиентов, таких как масло и соль, до более сложных сочетаний мяса, овощей, сыров и специй. Каждый вид начинки придает продукту уникальный характер и удовлетворяет разнообразные вкусовые предпочтения. Анализируя начинку, можно выявить следующие аспекты:

Вкусовые качества: Начинка является главным источником вкуса для хлебобулочных изделий. От сладкой и фруктовой до пикантной и острых вкусов – начинка определяет, каким будет первое впечатление при контакте с продуктом.

Текстурные характеристики: Начинка может предоставить разнообразие текстур, начиная от нежного и кремообразного до хрустящего и мясистого. Это важный аспект, влияющий на ощущение приема пищи. Очень важным параметром является реальная консистенция по сравнению с заданным паттерном распределения начинки.

Пищевая ценность: Разнообразие ингредиентов в начинке определяет ее пищевую ценность. Богатство белков, жиров, углеводов, витаминов и минералов может сделать хлебобулочное изделие не только вкусным, но и питательным.

Соответствие диетическим потребностям: Анализ начинки также позволяет определить, соответствуют ли хлебобулочные изделия определенным диетическим потребностям, таким как вегетарианство, веганство, безглютеновая или низкокалорийная диеты.

Сочетаемость ингредиентов: Ингредиенты начинки взаимодействуют между собой, создавая сложный баланс вкусов и ароматов. Анализируя это сочетание, можно определить, какие компоненты дополняют друг друга и создают гармоничное вкусовое впечатление.

На производствах хлебобулочных изделий проводится ряд проверок и контрольных мероприятий, чтобы обеспечить высокое качество продукции, соблюдение стандартов безопасности и соответствие требованиям потребителей. Контроль внешнего вида и текстуры: Визуальная оценка продукции является важным аспектом проверки. Проверяется внешний вид хлебобулочных изделий, их цвет, форма и текстура. Например, хлеб должен иметь ровную корку и равномерную структуру мякоти. Оценка вкусовых характеристик: производится оценка вкусовых характеристик образцов продукции для того, чтобы убедиться, что они соответствуют стандартам компании и удовлетворяют потребности потребителей. Отбор образцов для дегустации: в некоторых случаях проводится дегустация продукции сотрудниками или специалистами, чтобы оценить вкус и качество изделий.

Все эти тесты имеют выборочный характер для контроля продукции, что дает определенную погрешность в контроле. Поточковый контроль позволяет исключить эти недостатки и увеличить качество продукции.

III. РЕНТГЕНОГРАФИЯ

Рентгенография – это специфический метод исследования, который может быть применен для анализа структуры, состава начинки и общей гомогенности пирожков. Однако стоит отметить, что рентгенография обычно используется в медицинской диагностике и промышленности, а не в пищевой области. Вместо рентгенографии в пищевой промышленности чаще используются другие методы анализа и контроля качества. [1]

Принцип работы рентгенографии основан на различной степени поглощения рентгеновских лучей разными тканями и материалами. Когда рентгеновские лучи проходят, например, через тело человека, они ослабляются в разной степени различными тканями. Кости, например, обладают высокой плотностью и хорошо поглощают рентгеновские лучи, поэтому они отображаются белыми на рентгеновских снимках. Мягкие ткани, такие как мышцы и органы, менее плотные и поглощают рентгеновские лучи в меньшей степени, что делает их на снимках более прозрачными. Те же самые принципы мы используем для анализа хлебобулочных изделий.

IV. УСТАНОВКА

Рентгеновская установка (аппарат) включает несколько ключевых компонентов, которые совместно позволяют генерировать рентгеновские лучи, направлять их на исследуемый объект и регистрировать прошедшие через него лучи для создания рентгеновского изображения. Вот основные компоненты рентгеновской установки:

- Генератор рентгеновских лучей: это устройство создает электрический поток, который преобразуется в рентгеновские лучи. Генератор может работать на высоком напряжении, что необходимо для создания достаточно энергичных рентгеновских лучей.
- Рентгеновская трубка: это важная часть установки, которая содержит анод (положительно заряженный электрод) и катод (отрицательно заряженный электрод). Когда

высокое напряжение подается на трубку, поток электронов с катода ускоряется и сталкивается с анодом, создавая рентгеновские лучи.

- Коллиматор: Коллиматор – это устройство, которое ограничивает и направляет пучок рентгеновских лучей на исследуемую область. Он помогает управлять размером и направлением лучей, что важно для получения четкого изображения.
- Детектор: Детектор регистрирует рентгеновские лучи после их прохождения через исследуемый объект. Детекторы могут быть фотопленками (традиционный способ), цифровыми датчиками или устройствами, которые преобразуют рентгеновские изображения в цифровой формат.
- Конвейерная лента: это механическое устройство, представляющее собой непрерывную полосу или ленту, которая движется по определенной траектории и используется для переноса исследуемых объектов.

Структурная схема устройства показана на рис. 1, где 1 – генератор и рентгеновская трубка, 2 – коллиматор, 3 – детектор и 4 – конвейерная лента.

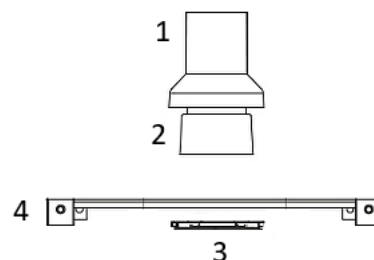


Рис. 1. Структурная схема расположения элементов

На конвейерной ленте располагается исследуемый объект и перемещается вдоль оси ординат, освещение происходит ортогонально плоскости исследуемого объекта. Излучатель имеет следующие характеристики:

- Номинальное анодное напряжение – 60 кВ
- Ток – 0,05 мА
- Номинальный размер эффективного фокусного пятна – 15 мкм
- Размеры чувствительной области детектора – 114x145 мм
- Размер пикселя детектора – 49,5 мкм

Пример полученных данных приведен на рис. 2.

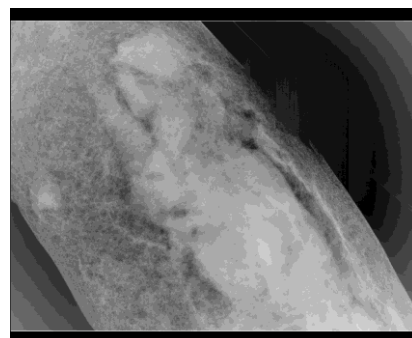


Рис. 2. Пример полученных данных с помощью рентген-установки хлебобулочного изделия «Шаверма»

V. АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ

U-Net — это архитектура нейронной сети, изначально разработанная для задач сегментации медицинских изображений, но её также можно применять и для других задач сегментации, включая сегментацию хлебобулочных изделий. Основная идея U-Net заключается в использовании свёрточных слоёв для извлечения признаков изображения и последующем объединении слоёв для постепенного увеличения разрешения сегментированного изображения. [2],[3],[4]

Схожесть между изображениями человеческих тканей и хлебобулочных изделий представляет возможность при сегментации с использованием алгоритмов машинного обучения. Оба типа объектов могут иметь различные текстуры, цвета и структуры, но в рентгеновском излучении имеют похожую структуру, что позволяет использовать предобученные сети для сегментации.

Архитектура сети U-Net представляет собой последовательность слоёв свёртка+пулинг, которые сначала уменьшают пространственное разрешение картинки (прямой проход – слева), а потом увеличивают его (обратный проход – справа). При этом для разворачивания изображения в обратном ходе добавляются тождественные проходы (short-cut connections), т. е. создается дополнительная связь между блоками с одинаковым разрешением на входной и выходной ветвях. В результате на прямом проходе сеть выделяет все более высокоуровневые признаки, и к концу прямого прохода формируется макроструктура изображения, а на обратном проходе восстанавливается микроструктура изображения из активаций, записанных на прямом проходе. Архитектура U-Net оказалась исключительно важной для медицины, где размеры обучающих наборов данных принципиально ограничены сравнительно небольшим количеством больных с конкретным заболеванием.

Начальный набор данных был достаточно мал, имелось 50 различных изображений различных хлебобулочных изделий. Для обучения архитектуры U-Net были применены различные методы аугментации данных, включая горизонтальное и вертикальное отражение изображений, эластичные трансформации и искажения сетки. После проведения аугментации общее количество доступных изображений для обучения увеличилось до примерно 2000. Для разделения между обучением и валидацией набор данных было использовано соотношение 80:20 %. [5]

Сегментация разделялась на тесто, начинка и уплотнения в начинке (кусочки мяса) на рис. 3.

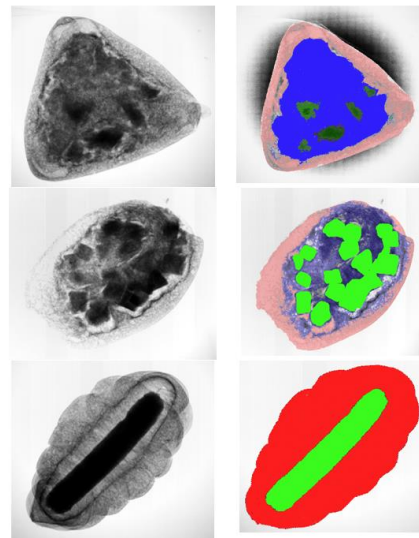


Рис. 3. Пример сегментации хлебобулочных изделий и исходных изображений

Была достигнута успешная сегментация различных элементов хлебобулочных изделий с применением архитектуры U-Net. Специфически начинка, тесто и кусочки мяса были успешно выделены на изображениях. В последней задаче необходимо было четко выделить два типа объектов – тесто и мясо.

После обучения модель успешно выявляла контуры и границы начинки, теста и кусочков мяса на изображениях. Она демонстрировала способность разделять эти компоненты даже при наличии схожих текстурных и цветовых характеристик между ними. Это было достигнуто благодаря глубокому пониманию архитектурой модели особенностей этих объектов.

Дополнительный анализ по маске изображений гистограммы позволяет оценить равномерность заполнения начинки. [6][7] Например, в образце номер 2 проанализирована равномерность начинки без кусочков мяса на рис. 4.

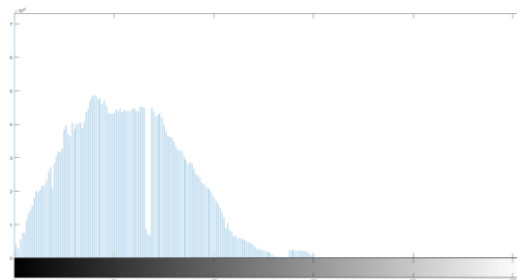


Рис. 4. Гистограмма начинки изделия номер 2 без кусочков мяса

По гистограмме можно сделать вывод, что чем она шире, тем менее равномерное распределение начинки внутри хлебобулочного изделия

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате успешной сегментации начинки с помощью нейронной сети U-Net, теста и кусочков мяса в хлебулочных изделиях, модель может быть применена для автоматизации качественного анализа и классификации ингредиентов в продуктах пекарского дела. Анализ гистограммы по маске позволяет произвести дополнительный анализ по равномерности распределения начинки. Это обеспечит более эффективное производство и контроль качества, а также способствует улучшению потребительского опыта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Лучевая диагностика: учебник / Под ред. Г.Е. Труфанова. М.: ГЭОТАР Медиа, 2009, Т. 1. 416 с.
- [2] Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation / 18th International Conference Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI. 2015. Munich, Germany. PP. 234-241.
- [3] The KiTS19 Challenge Data: 300 Kidney Tumor Cases with Clinical Context, CT Semantic Segmentations, and Surgical Outcomes / <https://github.com/neheller/kits19>. Retrieved January 25, 2021.
- [4] Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2006. 1072 с.
- [5] Сойфер В.А. и др. Введение в цифровую обработку сигналов и изображений: повышение качества и оценивание геометрических параметров изображений. Самара: Изд-во СГАУ, 2006. 180 с.
- [6] Сойфер В.А. и др. Методы компьютерной обработки изображений / 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2003. 784 с.
- [7] Shamir Reuben R. et al. Continuous dice coefficient: A method for evaluating probabilistic segmentations. 2019 / arXiv preprint arXiv:1906.11031.