

УДК 611.3, 004.021

## МЕТОДИКА ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ЖЕЛУДКА НА КТ-ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЕЙ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА 3DSLISER

КОСАРЕВА А.А., КАМЛЯЧ П.В., КОВАЛЕВ В.А

*УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»*

**Аннотация.** В статье представлена методика сегментации желудка на изображения абдоминальной компьютерной томографии. Актуальность исследования объясняется сложностью сегментации желудка, в связи с вариативностью его плотностей внутренних тканей и полостей. Сегментация желудка вручную занимает большое количество времени у специалиста-радиолога, возникает задача автоматизации процесса сегментации. Предлагаемая методика позволяет сегментировать желудок полуавтоматически, выделяя 13% ключевых слоёв с использованием функции выделения пикселей одной плотности. В основе методики используется алгоритм морфологической интерполяции, позволяющий заполнять пространство между выделенными срезами. Определена зависимость точности сегментации от количества ключевых слоёв. Доказано, что при выделении 8 ключевых слоёв сохраняется необходимая для исследования точность моделирования, равная 95%.

**Ключевые слова:** Сегментация изображений, желудок, компьютерная томография, 3D Slicer

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## SEMI-AUTOMATIC STOMACH SEGMENTATION METHOD USING 3D SLISER SOFTWARE MODULES

KOSAREVA A.A. KAMLACH P.V. KOVALEV V.A.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics*

**Abstract.** The article presents a method of stomach segmentation in abdominal computed tomography images. The relevance of the study is explained by the complexity of stomach segmentation, due to the variability of its density of internal tissues and cavities. Manual gastric segmentation takes radiologists a lot of time, so the task of automating the segmentation process arises. The proposed technique allows semi-automatic stomach segmentation, highlighting 13% of the key layers by separating same density pixels. The technique is based on the algorithm of morphological interpolation, that allows filling the spaces between the selected slices. The segmentation accuracy dependence on the number of key layers has been determined. It has been proven that when 8 key layers are selected, the modeling 95% accuracy

required for research is maintained.

**Keywords:** Images segmentation, stomach, computer tomography, 3D Slicer

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

### **Введение**

При работе со снимками компьютерной томографии специалист-радиолог вынужден вручную сегментировать желудок на срезах, так как предоставляемое с аппаратом КТ программное обеспечение не позволяет автоматически его сегментировать. Желудок неоднороден и состоит из тканей разной плотности, жидкостей, газовых пустот, что существенно усложняет задачу автоматической сегментации. При выделении вручную врачи вынуждены проделать масштабную монотонную работу, так как одна серия абдоминальной компьютерной томографии заминает в районе пятисот срезов, на шестидесяти из которых можно различить фрагменты желудка. Работа с такими медицинскими данными затрачивает много рабочего времени, в частности при большом потоке пациентов. В данной работе предложена методика полуавтоматической сегментации, позволяющая упростить процесс выделения желудка и нахождения его объемов для дальнейшего планирования лечения.

### **Этапы сегментации КТ-изображений**

Предлагаемый алгоритм сегментации содержит следующие этапы:

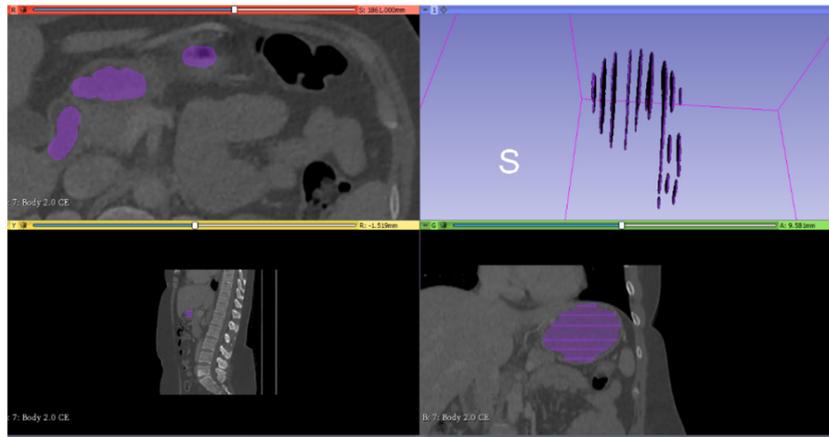
1. Подготовка изображений для сегментации, фильтрация для устранения шумов и артефактов (в нашем случае мы работали с отфильтрованными изображениями, фильтрация происходила на этапе работы прилагаемого к томографу программного обеспечения);
2. Мануальная или полуавтоматическая сегментация восьми ключевых слоёв;
3. Обработка полученных сегментов с помощью операции морфологического открытия с ядром структурного элемента шириной 2 мм;
4. Применения инструмента морфологической интерполяции для заполнения пространства между срезами;
5. Сглаживание поверхности с использованием функции Гаусса со значением стандартного отклонения 1мм.

### **Описание этапов методики сегментации желудка**

Предлагается использование методики полуавтоматической сегментации желудка по результатам КТ и КТ-ангиографии с использованием модулей программного пакета 3DSlicer [1].

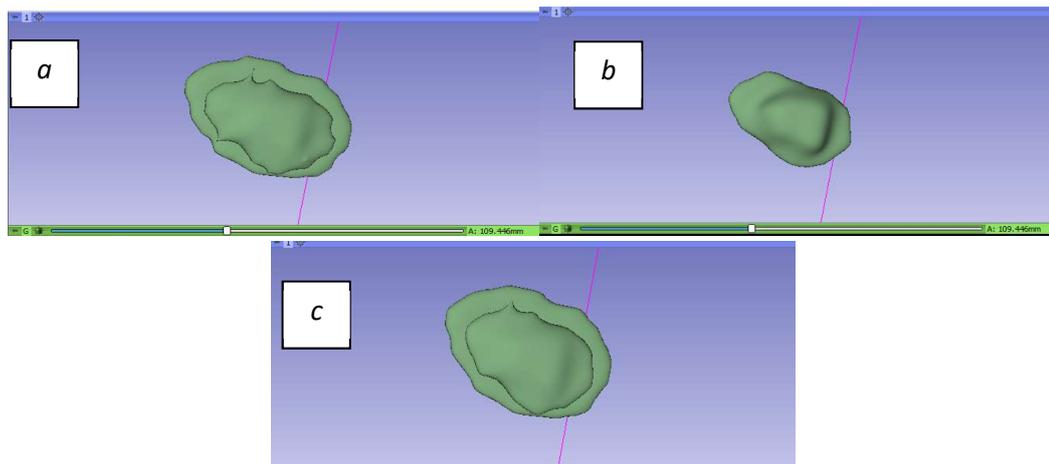
Первый шаг методики представляет собой загрузку срезов компьютерной томографии с использованием формата DICOM.

На втором шаге врачу-радиологу предлагается вручную выделить ключевые срезы. Ключевым срезом называется срез резкого изменения формы. Целью конечного исследования являлась сегментация желудка, поэтому основными ключевыми срезами были выбраны места разделения формы органа на сагиттальном слое абдоминальной серии снимков компьютерной томографии. Физиологически ключевые слои – переход формы тела желудка от антрального отдела в сторону дна желудка. Согласно предлагаемой методике желудок на ключевых срезах сегментируются с помощью функции «Drawing» или с помощью функции «Level Tracing» плагина «Segment Editor». Данная функция позволяет определять контур выделения при перемещении мыши. Контур выделяется там, где все пиксели имеют то же значение плотности поглощения рентгеновского излучения тканью, что и текущий фоновый пиксель. Щелчок левой кнопкой мыши применяет этот контур к карте меток. На рис.1 изображено моделирование ключевых слоёв.



**Рис.1** Выделение ключевых слоёв на КТ-изображениях

Следующий шаг методики – обработка полученных сегментов с помощью операции морфологического открытия [2]. Данный вид фильтрации показал преимущество перед медианной при оценке точности сегментации 2D слоёв. Морфологическое открытие применяется до морфологического интерполирования, так как это позволяет отсечь одиночно-пиксельные выбросы и улучшает коррелируемость между двумя слоями. Опытным путём было установлено, что ядро структурного элемента при морфологическом открытии должно составлять 2 мм. При большем параметре сглаживания терялся процент точности сегментации (Рис.2).

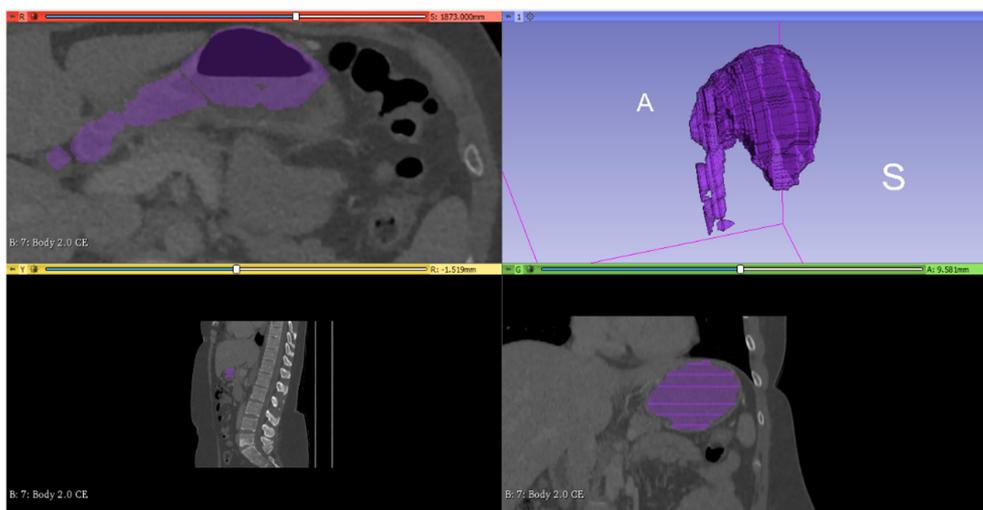


*a* - Сегмент до применения фильтрации; *b* - Результат применения медианного фильтра с окном 3 мм; *c* - Результат применения фильтра с окном 2 мм

**Рис. 2.** Пример сглаживания полученного изображения

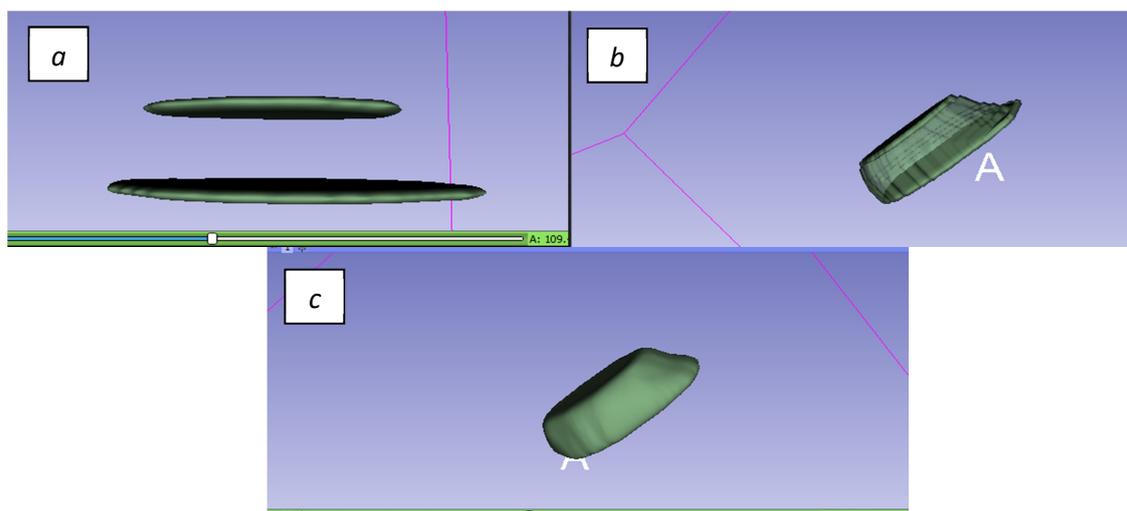
После сглаживания ключевых срезов необходимо заполнить пространство между ними с использованием морфологической интерполяции [3] в этом помогает инструмент «Fill between slices». Результатом работы данного модуля является воссоздание отсутствующей формы между отдельными слоями (Рис. 3). Алгоритм интерполяции создает последовательность перехода, используя два параллельных процесса деформации, основанных на итеративном условном расширении. Первый процесс преобразует пересечение  $A \cap B$  в регион  $A$  используя  $IA$  итеративное условное расширение, с  $A$  в качестве исходного элемента и структурирующего элемента. Второй процесс преобразует пересечение области  $A \cap B$  в регион  $B$ , используя  $IB$  итеративное условное расширение и структурирующим элементом  $K$ . Математическое описание этих двух процессов можно представить следующим образом:

$$dilatcond(A \cap B; A; i) = (A \cap B) \oplus^i_{AK}, i = 1, \dots, l_A, \quad (1)$$



**Рис. 3** Результат автоматического заполнения между ключевыми срезами

После авто заполнения необходимо сгладить получившийся объём для нивелирования погрешностей интерполяции. Для решения этой задачи используется функция «Smoothing» (рис. 4). Данная функция реализует сглаживание выбранной карты меток попиксельно. Было определено, что оптимальное значение стандартного отклонения фильтра равно 1.



*a* - два среза для заполнения, пропущены 7 срезов; *b* - заполнение срезов; *c* - сглаживание краёв с помощью фильтра Гаусса.

**Рис. 4.** Пример применения функции «Smoothing»

#### **Оценка количества ключевых слоёв**

Было оценено количество ключевых слоёв, необходимых для моделирования с точностью  $\epsilon$  меньше 95%. Для этого была выбрана серия снимков компьютерной томографии абдоминальной КТ, содержащая 506 слоёв, на 60 из которых просматривался желудок. Были составлены модели по 3,4,5,6,7, слоям. Точность сегментации оценивалась как отношение объема построенной полуавтоматически модели к объему модели, полученной при мануальной сегментации специалистом-радиологом. За 100% точности был взят объём, выделенный вручную на всех 60 срезах. В таблице 1 представлены значения точности модели при исходном количестве разных ключевых слоёв.

**Таблица 1.** Процент точности моделирования при разном количестве слоёв

Кол-во слоёв	3	4	5	6	7	60
Точность сегментации	0,69	0,84	0,85	0,93	0,93	1

Была интерполирована зависимость точности сегментации от количества ключевых слоёв. Наиболее оптимальным решением оказалась интерполяция степенной функцией:

$$y = bx^a + c, \quad (2)$$

где  $a$ ,  $b$  – неизвестные коэффициенты.

Прологарифмировав уравнение, получим:

$$\lg(y) = \lg(b) + a \cdot \lg(x) \quad (3)$$

Введем обозначения:  $Y=\lg(y)$ ,  $B=\lg(b)$ ,  $A=a$ ,  $X=\lg(x)$ . Уравнение решается по методу наименьших квадратов:

$$F = \sum_{i=1}^n (Y_i - (B + A \cdot X_i))^2 \rightarrow \min_x \quad (4)$$

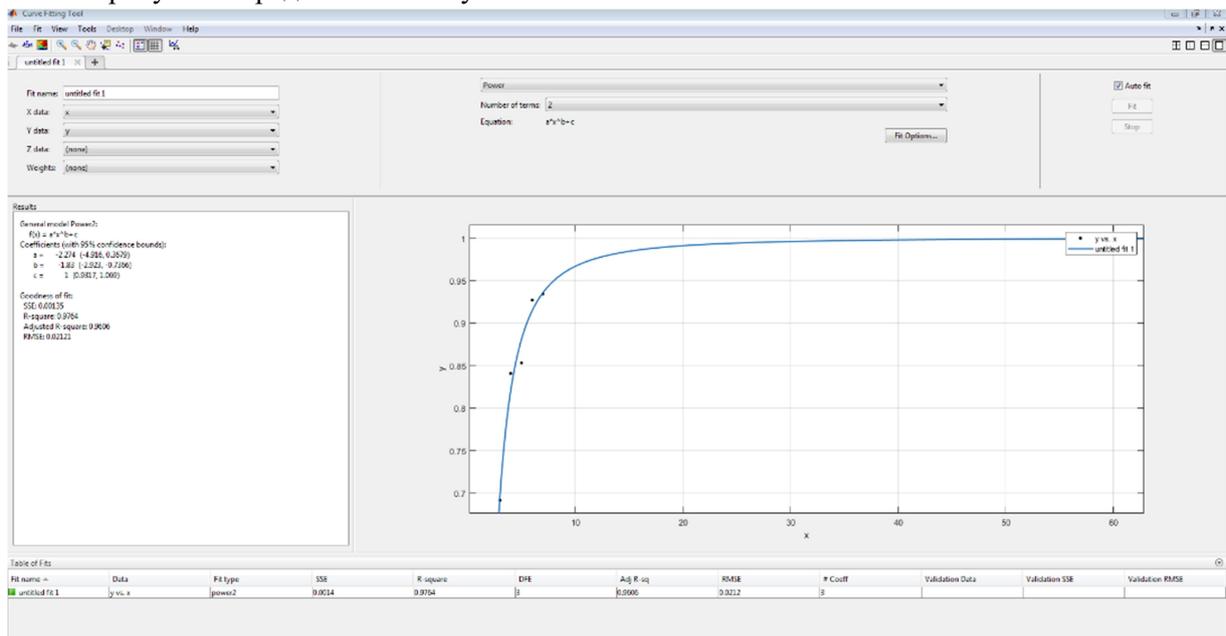
Вычисление коэффициентов проведём по формулам [5]:

$$A = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i \cdot X_i) - \sum_{i=1}^n Y_i \cdot \sum_{i=1}^n X_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}, B = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - A \sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (5)$$

В нашем случае полученное уравнение приняло вид:

$$y = -2.274x^{-1.83} + 1 \quad (6)$$

На рисунке 4 представлена полученная зависимость:

**Рис. 5** Интерполяция зависимости точности моделирования от количества ключевых срезов

### Заключение

Была предложена и оценена методика сегментации желудка по изображениям абдоминальной КТ с использованием модулей и функций программного пакета 3DSlicer. Данная методика позволяет оптимизировать процесс обработки снимаемых серий, упрощает работу оператора-радиолога, сохраняя точность сегментирования, равную 95%. Полученные результаты теоретических исследований обладают практической значимостью для исследований в области бариатрической хирургии, упрощает процесс оценки объема желудка и планирования лечения.

### Список литературы

1. 3D Slicer as an Image Computing Platform for the Quantitative Imaging Network. Magnetic Resonance Imaging / A. Fedorov, [et al.] – 2012 Nov;30(9):1323-41. PMID: 22770690.

2. Ласьков, В.В., Симонов Е.Н. Методы фильтрации изображений в рентгеновской компьютерной томографии. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника / В.В. Ласьков, Е.Н. Симонов – 2014.
3. nD morphological contour interpolation / D. Zukic, [et al.] – September 9, 2016.

#### **Сведения об авторах**

Косарева А.А., ассистент каф. ЭТТ, БГУИР  
Камлач П.В., доцент каф. ЭТТ, БГУИР, канд.  
тех. наук  
Ковалёв В.А. доцент, канд. тех. наук, зав. лабораторией анализа биомедицинских изображений  
ОИПИ НАН Беларуси

#### **Адрес для корреспонденции**

e-mail: kosareva@bsuir.by  
Косарева Александра Андреевна

#### **Information about the authors**

Kosareva A.A., assistant of the department. ETT,  
BSUIR  
Kamlach P.V., PhD, associate professor of the department. ETT, BSUIR  
Kovalev V.A., PhD, Head of Biomedical Image Analysis Department, United Institute of Informatics Problems, Belarus National Academy of Sciences

#### **Address for correspondence**

e-mail: kosareva@bsuir.by  
Kosareva Aleksandra Andreevna