



УДК 004.8

## ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И АНАЛИЗА БИМЕДИЦИНСКИХ КТ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

Курочка К.С., Карабчикова Е.А.

*Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**kurochka@gstu.by**

**karabchicova.ru@mail.ru**

Предлагается архитектура базы знаний для осуществления хранения и анализа снимков компьютерной томографии нижнего отдела позвоночника, а также алгоритмы построения уникальных дескрипторов.

**Ключевые слова:** база знаний; медицинская информационная система; поясничный отдел позвоночника.

### Введение

В настоящее время лечение заболеваний опорно-двигательного аппарата невозможно без использования и анализа соответствующих биомедицинских изображений. Отдельное место среди которых занимают результаты компьютерной томографии (КТ), и, в особенности, компьютерная томография позвоночника человека [1].

Помимо типовых задач организации хранения и поиска биомедицинских изображений, при лечении заболеваний позвоночника выделяется задача построения биомеханической модели на основе аппарата математического моделирования. Такие биомеханические модели могут быть использованы для выбора оптимальной фиксирующей конструкции, вариантов крепления её к позвонку, прогнозирования влияния имплантируемых элементов на позвоночный отдел пациента. При этом можно проводить анализ состояния позвоночника, варьируя параметры (свойства) исследуемых элементов, таких как плотность костной ткани, модуль упругости, геометрические параметры позвоночника, что позволяет оценить развитие различных заболеваний и патологий. Например, таких как остеопороз. Для этого необходимо на основе биомеханической модели иметь возможность оценить напряжённо-деформированное состояние (НДС) элементов позвоночника в различных состояниях при функциональных нагрузках [2].

Эффективное решение комплекса подобных задач возможно посредством проектирования и

разработки базы знаний, обрабатывающей результаты компьютерной томографии позвоночника человека как набора изображений, так и формирующей виртуальную биомеханическую модель, которую можно будет использовать для определения напряжённо-деформированного состояния в различных условиях.

В связи с этим к проектируемой базе знаний можно определить следующие требования:

- а) хранение данных компьютерной томографии как серии изображений в формате *DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)*;
- б) построение уникальных дескрипторов на основе данных компьютерной томографии;
- в) построение виртуальной биомеханической модели;
- г) осуществление поиска определенного случая или подобных с заданной степенью точности как по дескрипторам КТ, так и по параметрам биомеханической модели;
- д) использование биомеханической модели для моделирования НДС и хранения результатов.

### 1. Архитектура проектируемой базы знаний

На рисунке 1 представлена архитектура предлагаемой базы знаний, которая включает в себя следующие компоненты:

- программный комплекс;
- база данных;
- интерфейс взаимодействия со сторонним программным обеспечением для моделирования

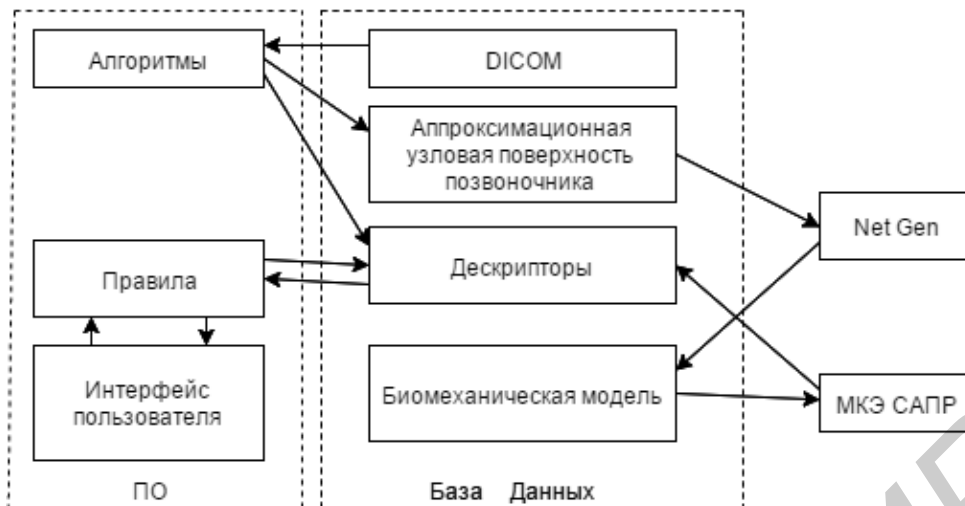


Рисунок 1 – Архитектура базы знаний

различных случаев НДС.

Программный комплекс представлен набором правил и внутренних алгоритмов. Набор правил необходим для реализации обработки данных или иными словами перебора данных в соответствии с существующими в базе описателями. А набор внутренних алгоритмов осуществляет формирование уникальных дескрипторов базы знаний, реализуют взаимодействие с базой данных и сторонним программным обеспечением.

База данных обеспечивает хранение информации. В ней содержатся исходные изображения компьютерной томографии, аппроксимационная узловая поверхность поясничного отдела позвоночника и его биомеханическая модель, набор различных описателей.

Взаимодействия со сторонним программным обеспечением необходимо для осуществления моделирования различных вариантов напряженно-деформируемого состояния нижнего отдела позвоночника. Посредством взаимодействия программного комплекса с генераторами конечноэлементных сеток, таких как *Netgen Mesh Generator* [3], из аппроксимационной узловой поверхности создается биомеханическая модель. Она представлена набором конечных элементов для каждого из которых установлены физические параметры (модуль Юнга, коэффициент Пуассона). Впоследствии данная модель взаимодействует с программными системами конечно-элементного анализа и результаты моделирования напряженно-деформируемого состояния сохраняются в базу знаний.

## 2. Создание уникальных дескрипторов

Отличительной особенностью проектируемого комплекса является использование в качестве дескриптора аппроксимационной узловой поверхности нижнего отдела позвоночника.

На основе КТ изображений, хранящихся в специализированном медицинском формате DICOM, содержащем рентгеновскую плотность, которая зависит от физической плотности тканей, происходит синтез необходимой анатомической структуры – поясничного отдела позвоночника.

С целью подавления помех, которые возникают в изображениях на этапе их регистрации аппаратными средствами или при передаче сигналов по линиям связи, производится цифровая обработка изображения [4]. На каждом обработанном снимке происходит распознавание костной ткани позвоночника и определяется ее геометрия. Для этих целей предлагается определить границы позвонка на каждом из изображений компьютерной томографии. Поскольку цвет на снимке представляет собой плотность изображенного объекта, нахождение костной ткани осуществляется путем подбора оптимального порогового значения и определения по нему принадлежности пикселей изображения к требуемому объекту.

Для получения четкого контура объектов на обработанном снимке используется алгоритм контурной сегментации – оператор Лапласа, реализованный средствами открытой библиотеки *OpenCV*. Применяя оператор Лапласа на каждое изображение, находят контуры позвоночника, которые в подавляющем большинстве случаев представляют собой замкнутые кривые. На основании полученной геометрии определяются опорные точки путем наложения на каждый слой мелкой конформной сетки. Пересечения узлов сетки с границами позвоночника обозначаются как опорные точки. В завершении построения опорные точки соседних слоев объединяются между собой в конечные элементы.

## 3. Реализация поиска

Эффективность работы с базой знаний определяется вводимыми дескрипторами, поскольку они являются ключевыми элементами при

получении знаний. На основании существующих дескрипторов и их комбинаций формируются различные запросы поиска.

Условно дескрипторы данной системы можно разделить на три группы.

Первая группа – информационные. Представляют собой описатели, используемые при поиске информации, содержащейся в файлах DICOM без каких-либо преобразований. Как правило это либо нахождение результатов одного конкретного медицинского обследования, либо группы схожих, путем выборки по статическим полям. Например, результаты всех обследований определенного пациента, случаи с определенным заболеванием и связанные с ним патологии, случаи с учетом возрастной группы, половой принадлежности и других обобщенных параметров.

Вторая группа – вычислительные. Дескрипторы, вычисляемые один раз на этапе добавления случая в базу знаний. Формируются для каждого слоя КТ изображений отдельно, но помимо этого дополнительно могут вычисляться на основе геометрии имеющейся аппроксимационной узловой поверхности или биомеханической модели, путем построения горизонтальных срезов.

Для достижения адекватности получаемых результатов при построении данной группы дескрипторов должно осуществляться масштабирование сопоставляющихся изображений или объектов.

Предлагаемые варианты дескрипторов вычислительной группы:

- опорные точки, вычисляемые по алгоритму, предлагаемому авторами в пункте 3;
- отношение площади к периметру;
- метод градиентного анализа контурного изображения.

Поиск информации на основании опорных точек, по которым выполняется построение аппроксимационной узловой поверхности, осуществляется путем сравнения их взаимного расположения. Два снимка с выделенными опорными точками сводятся к единой системе координат и сравниваются по условию:

$$\forall_{i,j} \exists |x_{i,j} - y_{i,j}| < \varepsilon, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  - заданная точность.

Сущность дескриптора “отношение площади к периметру” заключается в вычислении некоторого числа  $N$ :

$$N = \frac{S}{P}, \quad (2)$$

где  $S$  – количество пикселей на изображении, образующее площадь анатомической структуры

(рисунок 2),  $P$  – количество пикселей, образующее ее периметр (рисунок 3).

Сопоставление данного числа различных снимков позволяет судить о геометрической схожести сравниваемых объектов.



Рисунок 2 – Пример представление площади на КТ снимке нижнего отдела позвоночника.

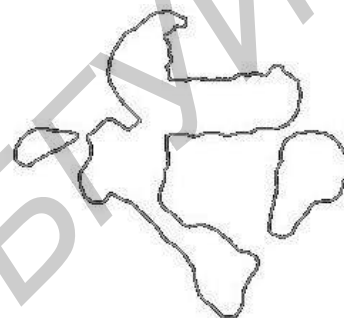


Рисунок 3 – Пример представление периметра на КТ снимке нижнего отдела позвоночника

Суть дескриптора на основе градиентного анализа контурного изображения заключается в следующем. Производится обход по контуру в результате которого выявляются “особые точки”, в которых вектор градиента меняет свое направление. На основе двух точек определяются текущие знаки приращения  $\Delta x$  и  $\Delta y$  по двум соответствующим координатным осям  $x$  и  $y$ . Если хотя бы одно из приращений в процессе перехода к следующей точке меняет знак и выполняется хотя бы одно условие:

$$|\Delta x| > \varepsilon, \quad (3)$$

или

$$|\Delta y| > \varepsilon, \quad (4)$$

то есть происходит достаточно значительный скачок по одной из координат, то данная точка определяется как “особая”. Преимуществом такого подхода является снижение объёма вычислений за счёт использования небольшого числа особых точек вместо всех точек контура. А добившись одинакового количества “особых точек” на двух сравниваемых изображениях, можно провести анализ их расположений на основании условия 1.

Третья группа дескрипторов – сложные сформированные. Данные дескрипторы – это результаты моделирования различных случаев

напряженно-деформируемого состояния биомеханической модели. К одной и той же конкретной биомеханической модели прилаживаются различные варианты механических нагрузок и варьируются параметры. Как результат, для конкретного случая создается своеобразная база поведения исследуемого нижнего отдела позвоночника. Задавая при поиске определенные варианты параметров моделирования и результата, можно осуществлять сравнение схожих случаев.

#### 4. Пример построения аппроксимационной поверхности

На рисунке 4 приведен пример исходного КТ изображения.



Рисунок 4 – Пример исходного КТ изображения

Примеры определения геометрии на КТ снимке в результате распознавания костной ткани и применения оператора Лапласа приведены на рисунках 2 и 3 соответственно. Результаты нахождения опорных точек представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Результат определения опорных точек

На рисунке 6 представлена полученная аппроксимационная поверхность нижнего отдела позвоночника.

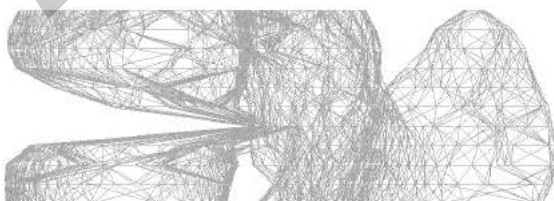


Рисунок 6 – Построенная аппроксимационная поверхность нижнего отдела позвоночника

#### Заключение

Предлагаемая архитектура базы знаний и алгоритмы обработки данных могут быть использованы для построения информационных медицинских систем в области лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата. Достоинством подхода является возможность оценки НДС элементов позвоночника в различных состояниях при типичных функциональных нагрузках.

#### Библиографический список

- [Чуйко, 2014] Чуйко, А.Н. Приближенный анализ анатомии, механических характеристик и напряженно-деформированного состояния позвоночника человека / А.Н. Чуйко // Травма. – 2014. – № 6. – Том 15
- [Зенкевич, 1976] Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
- [Netgen, 2015] Netgen Mesh Generator [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sourceforge.net/projects/netgen-mesher/>, свободный.
- [Красильников, 2011] Красильников, Н. Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений / Н. Н. Красильников // БХВ-Петербург, 2011.

#### KNOWLEDGE BASE DESIGN FOR STORAGE AND ANALYSIS BIOMEDICAL CT SCAN OF LUMBAR SPINE

Kurochka K.S., Karabchikova E.A.

*P.O. Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Republic of Belarus*

[kurochka@gstu.by](mailto:kurochka@gstu.by)

[karabchikova.ru@mail.ru](mailto:karabchikova.ru@mail.ru)

#### Introduction

Treatment of musculoskeletal system diseases is impossible without the use and analysis of relevant biomedical images. Apart from typical tasks of organizing storage and search biomedical imaging in the treatment of the spine diseases, allocated the task of building a biomechanical model based on mathematical modeling. An effective solution of such complex problems is designing and developing the knowledge base.

#### Main Part

The architecture of the knowledge base for storing and analyzing CT scans of the lumbar spine and algorithms for creating unique descriptors are suggested.

#### Conclusion

The proposed architecture of the knowledge base and data processing algorithms, that can be used for the building medical information in the treatment of musculoskeletal system diseases. The advantage of the approach is the opportunity to evaluate stress-strain state of parts of the human spine under typical functional loads.