

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНАТОМО-ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОСТИ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ СКТ

УДК 004.921

МЕРКУЛОВА Екатерина Владимировна

к.т.н., доцент, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления»,
Донецкий национальный технический университет.

Научные интересы: разработка специализированной компьютерной системы
определения анатомо-топографических параметров кости на основании снимков
СКТ на этапе подготовки операции челюстно-лицевой области.

КОНДРАТОВ Леонид Игоревич

магистр специальности «Специализированные компьютерные системы», кафедры
«Автоматизированные системы управления», Донецкий национальный технический университет.

Научные интересы: разработка специализированной компьютерной системы
определения анатомо-топографических параметров кости на основании снимко
в СКТ на этапе подготовки операции челюстно-лицевой области.

ВВЕДЕНИЕ

Для многих операций челюстно-лицевой области, а в особенности при остеосинтезе, врачу необходимо знать точные параметры кости. Это позволит врачу корректно и быстро спланировать операцию, а так же снизить вероятность неправильного проведения операции и сопутствующих хирургических осложнений.

Во всех сферах медицины происходит активное развитие и внедрение компьютерных технологий. Такие технологии используют при подготовке к операциям, для моделирования ситуации. Поэтому актуальной задачей является создание различных методов и алгоритмов для определения анатомо-топографических параметров кости по результатам спиральной компьютерной томографии с целью планирования операции челюстно-лицевой области.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для планирования операций челюстно-лицевой области часто необходимо знать такие параметры, как

толщина костной ткани, а так же ее длина и высота. И если для расчета толщины кости достаточно просто найти длину прямой линии, проходящей через кость, то для расчета длины и высоты этого недостаточно.

Костная ткань – структура неровная, поэтому для нахождения длины и высоты необходимо разработать такой алгоритм, который мог бы корректно определять форму кривой и рассчитывать ее длину.

В результате проведения операции СКТ создается массив послойных срезов формата DICOM. Срез формата DICOM представляет собой набор тегов и значений пикселей, которые позволяют произвести визуализацию изображения.

Определение параметров кости необходимо проводить на изображении, которое содержит результат построения сечения по всем снимкам набора. Место построения сечения задается врачом, путем проведения линии на изображении снимка набора. Изображение сечения отображает требуемый участок кости без искажения его размеров и формы. Построение сечения снимков сводится к задаче создания изображения по

промежуточным линиям, которые соответствуют пикселям конкретного снимка КТ. Значения линий между снимками (неинформативные линии) заполняются значениями, соответствующими черному цвету.

Разрабатываемый алгоритм должен:

- Получать на вход 2 точки, начальную и конечную;
- Корректировать положение точек, поскольку подразумевается взаимодействие с пользователем на этапе выбора точек;
- Выполнять поиск кривой между двумя точками;
- Вычислять длину кривой, зная физические размеры пикселя.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для расчета анатомо-топографических параметров кости необходимо знать физические размеры пикселей, которые можно получить из тегов формата DICOM. Способ получения физических размеров пикселя описан в [4].

Этап подготовки.

Перед непосредственной работой алгоритма поиска кривой, соединяющей 2 точки (далее – Алгоритм) изображение проходит предварительную обработку. На первом шаге выполняется его пороговое преобразование градиентным методом. Вторым шагом подготовки является удаление пустот внутри костной ткани, для чего к полученному изображению последовательно применяются несколько операций дилатации (наращение), а после – такое же количество операций эрозии. Третьим шагом является выделение контура на полученном изображении методом Робертса и формирование бинарной матрицы всего изображения, где значение «0» соответствует фону, а «1» - объекту. И последним, четвертым, шагом на этапе подготовки является сглаживание углообразных контуров (см. рис. 1). Данная операция лишь незначительно отразится на точности определения длины кривой. Сглаживание происходит окном 3x3 по следующему алгоритму:

1. Выполняется проверка, принадлежит ли центральный пиксель в окне объекту. Если да – выполняется переход к п.2, в противном случае – к п.4;
2. Выполняется проверка, существует ли в данном окне углообразный контур, примеры которого приведены на рис. 1.а – 1.г. Если контур имеет уг-

лообразную форму – переходим к п.3, иначе – к п.4;

3. Центральному пикселю окна присваивается значение «0»;
4. Выполняется сдвиг окна слева направо и сверху вниз, пока не будет проверено все изображение.

0	0	0
0	1	1
0	1	0

а)

0	1	0
0	1	1
0	0	0

б)

0	1	0
1	1	0
0	0	0

в)

0	0	0
1	1	0
0	1	0

г)

0	0	0
0	0	1
0	1	0

д)

0	1	0
0	0	1
0	0	0

е)

0	1	0
1	0	0
0	0	0

ж)

0	0	0
1	0	0
0	1	0

з)

Рисунок 1 – Виды углообразных контуров.

*а) - з) Углообразные контуры до сглаживания;
д) - з) Углообразные контуры после сглаживания.*

Этап выполнения

Алгоритм подразумевает интерактивное взаимодействие с пользователем на этапе задания начальной и конечной точки. Следствием этого является необходимость скорректировать выбранную пользователем точку, для чего выполняется поиск ближайшей точки объекта в некотором радиусе по формуле (1):

$$p = \min_{dx \in [-r; +r]; dy \in [-r; +r]} \left(\sqrt{(cx + dx)^2 + (cy + dy)^2} \right) \quad (1)$$

где p – скорректированная точка;

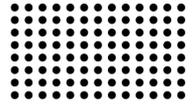
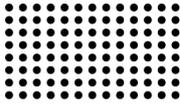
cx, cy – координаты точки, выбранной пользователем;

dx, dy – смещение координаты;

r – радиус поиска.

При коррекции точки по формуле (1) учитываются только те пиксели, значение которых равно «1», т.е. только пиксели объекта. Если в заданном радиусе нет ни одной точки, которая принадлежала бы объекту – коррекция считается неудачной и перехода к выполнению непосредственно самого алгоритма не происходит.

После того, как начальная и конечная точка были удачно скорректированы по формуле (1), начинается работу алгоритм поиска кривой, который также работа-



ет с окном 3x3. Последовательность работы алгоритма может быть описана следующим образом:

1. Выполняется поиск пикселя объекта на изображении в соответствии с матрицей, представленной на рис. 2.а. В матрице обозначена последовательность просмотра соседних пикселей. Если пиксель объекта будет найден – выполняется переход к п.2, а если не будет найдено ни одного пикселя объекта – считается, что между заданными точками не существует общего контура и кривая не может быть построена;

2. Сохраняется «направление», в котором был найден пиксель объекта;

3. Зная физические размеры пикселя, выполняется расчет длины прямой между двумя точками (позиции текущего и предыдущего шага) по формуле (2). Длина всей кривой находится по формуле (3);

$$l = \sqrt{(dx * rWidth)^2 + (dy * rHeight)^2} \quad (2)$$

где l – длина прямой между двумя точками;
 dx, dy – число пикселей между двумя точками;
 $rWidth, rHeight$ – физические размеры пикселей.

$$L = \sum_{i=1}^N l_i \quad (3)$$

где l_i – длина каждого сегмента кривой;
 N – количество сегментов кривой.

4. Выполняется поиск следующего пикселя с приоритетом поиска по направлению, сохраненному в п.2. Выбор направления для проверки происходит по формуле (4). Пример такого поиска приведен на рисунке 2.б.

$$d = \begin{cases} \text{mod}8 \left(\left(p + \frac{s}{2} \right) + 8 \right), \text{mod}2(s) = 0 \\ \text{mod}8 \left(\left(p - \frac{s}{2} \right) + 8 \right), \text{mod}2(s) = 1 \end{cases} \quad (4)$$

$s \in [0,7]$

где d – направление для проверки;
 p – направление, выбранное на предыдущем шаге;

s – шаг проверки.

5. Повторяем пункты 2-4 до тех пор, пока не будет выбрано обратное направление (это будет означать, что начальная и конечная точки принадлежат разным объектам), либо пока не будет достигнута конечная точка.

0	7	6
1		5
2	3	4

а)

4	2	0
6		1
7	5	3

б)

Рисунок 2 – Последовательность просмотра соседних пикселей.

а) Последовательность просмотра на первом шаге;
 б) Последовательность просмотра с приоритетом в заданном направлении

Кроме того, алгоритм допускает возможность разрыва контура длиной в 1 пиксель. Для этого предусмотрен следующий механизм, расширяющий п.3 алгоритма поиска кривой:

- Если в п.3 алгоритма не был найден пиксель объекта – выполняется один шаг по направлению, выбранному в п.2;

- Просматриваются 3 пикселя в выбранном направлении. Если будет найден пиксель объекта – работа алгоритма будет продолжена. В противном случае алгоритм будет остановлен.

Пример работы данного механизма приведен на рис. 3.

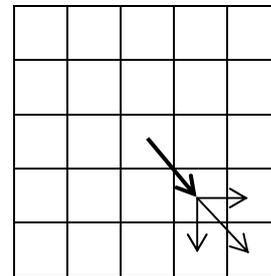


Рисунок 3 – Механизм проверки на наличие разрыва контура.

Для проверки работоспособности разработанного алгоритма были использованы реальные снимки СКТ. Для получения изображений для анализа необходимо считать снимки формата DICOM, а так же построить

поперечное сечение. Положение и длина поперечного сечения определяется пользователем в интерактивном режиме. На рис. 4 представлен общий вид выбора положения и ширины поперечного сечения.

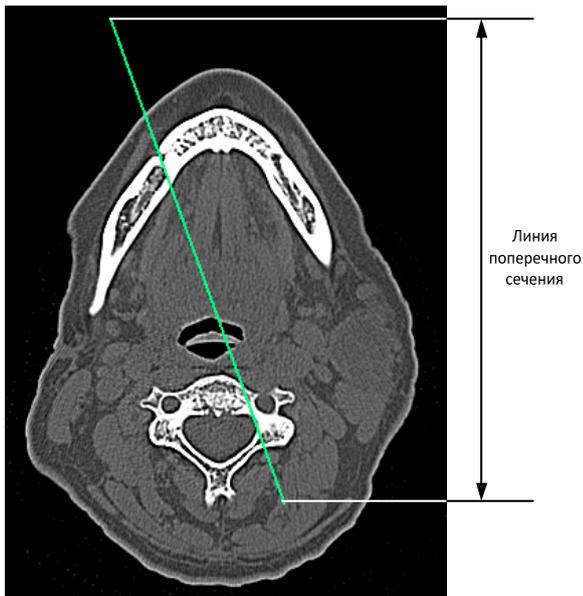


Рисунок 4 – Положение поперечного сечения на снимке

После построения поперечного сечения пользователь должен выделить область интереса как на изображении продольного сечения (для определения длины костной ткани), так и на изображении поперечного сечения (для определения высоты костной ткани). Пример выделенной области интереса предоставлен на рис. 5.а, 5.б.

После утверждения области возможно в интерактивном режиме определять параметры кости. Так, после нажатия левой кнопки мыши будет задана начальная точка для алгоритма. Пока удерживается левая кнопка мыши, положение конечной точки будет обновляться при перетаскивании мыши и пользователю будет показан вид кривой, и ее длина на текущий момент. После того, как будет отжата левая кнопка мыши, пользователю будет представлен окончательный вариант кривой.

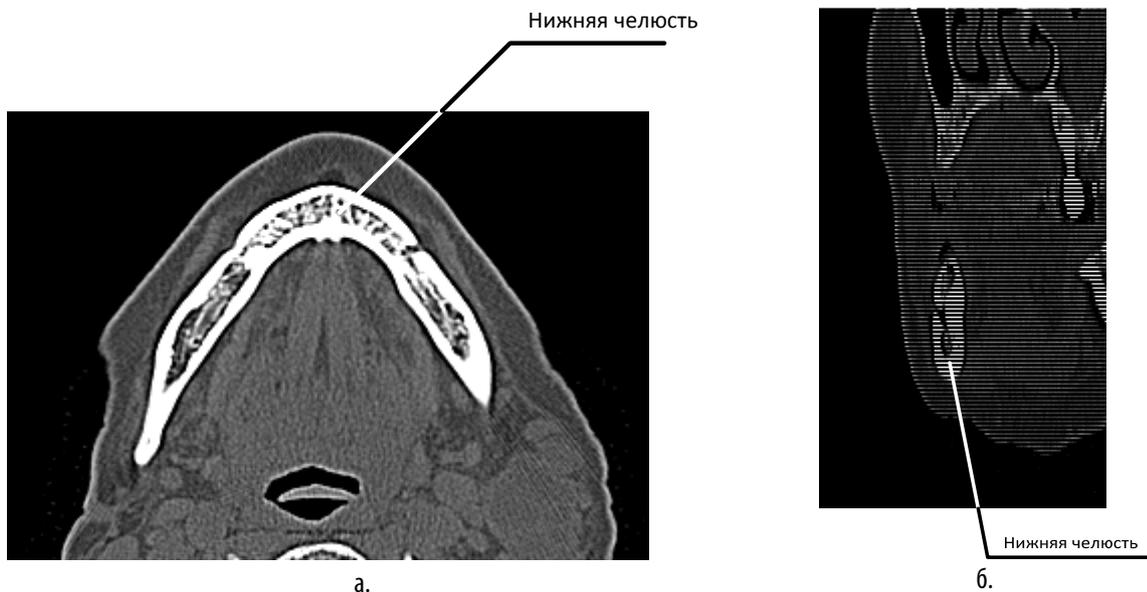


Рисунок 5 – Исходные изображения для эксперимента. а) Нижняя челюсть, продольное сечение (вид сверху); б) Поперечный срез нижней челюсти

Изображения, полученные в результате работы алгоритма, представлены на рис. 6.

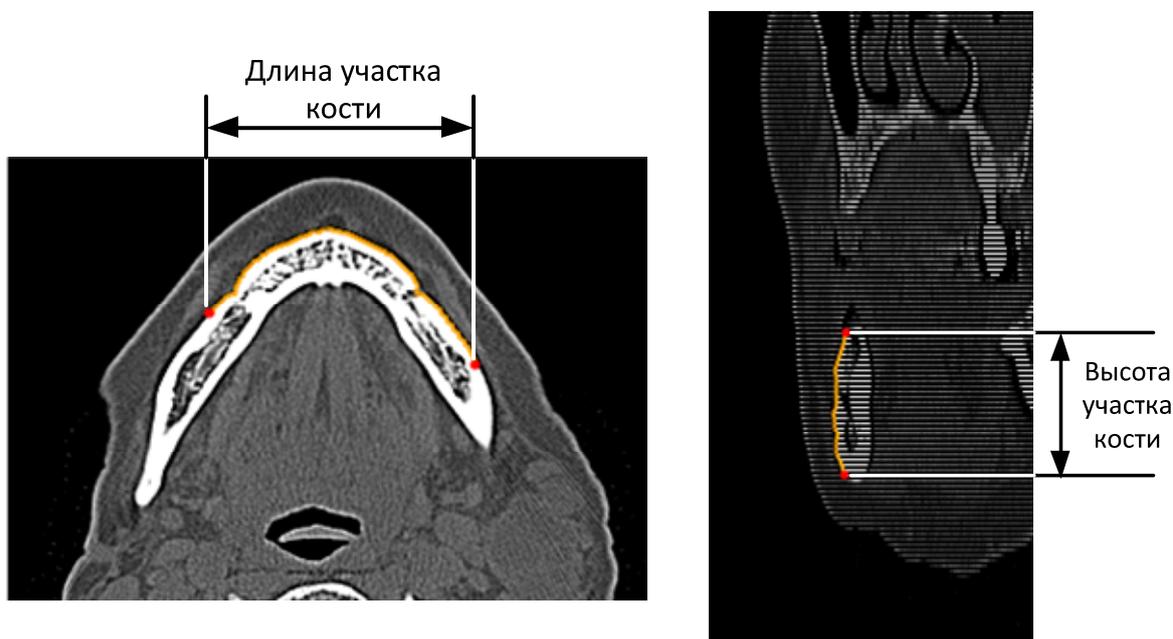


Рисунок 6 – Изображения с полученной кривой, соединяющей 2 точки.

Длина кривой, рассчитанная алгоритмом, на рис. 6.а. составляет 96.1 мм, а на рис. 6.б. – 21.6 мм, что соответствует действительным размерам нижней челюсти, что подтверждено экспертами по работе с медицинскими изображениями Донецкого межобластного центра челюстно-лицевой хирургии

ВЫВОД

Для решения задачи определения анатомо-топографических параметров кости (таких, как длина и ширина) в работе создан и описан алгоритм поиска кривой, соединяющей две точки, на СКТ-изображениях формата DICOM. Параметры, определенные при помощи данного алгоритма, используются на этапе подго-

товки различных операций челюстно-лицевой области (например, остеосинтеза). Это поможет медицинскому персоналу распланировать процесс проведения операций, снизить вероятность их неправильного проведения или возникновения осложнений в ходе их проведения. Исследование данного алгоритма показало его способность к точному построению продольного и поперечного сечений и определению на основании построенных сечений таких анатомо-топографических параметров, как ширина и высота костной ткани. Алгоритм прошел успешную апробацию в Донецком межобластном центре челюстно-лицевой хирургии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Vydelenie i opisanie konturov. Internet-resurs: http://wiki.technicalvision.ru/index.php/Vydelenie_i_opisanie_konturov
2. Razrabotka SKS opredelenija anatomo-topograficheskikh parametrov kosti na osnovanii rezul'tatov SKT. Internet-resurs: <http://masters.donntu.edu.ua/2013/fknt/altukhov/library/article4.pdf>
3. Cifrovaja obrabotka 2D i 3D izobrazhenij. Uchebnoe posobie, SPb: BKhV-Peterburg, 2011. – 608 s.
4. E.V. Merkulova, S.S. Altukhov, E.E. Plakhova. Vybore metodov i algoritmov postroenija trekhmernojj komp'juternojj modeli problemnogo uchastka cheljustno-licevoj oblasti. // Vestnik Khersonskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – Kherson: KhGTU, 2013. – № 1(46). – S. 132–138.
5. Merkulova E.V., Danilenko T.V. Rozrobka specializovanoi komp'juternojj sistemi viznachennja anatomo-topografichnikh parametrov shhelepno-lic'ovoi diljanki po danim SKT na etapi planuvannja dental'noi implantacii // Naukovi praci Donec'kogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu serija «Obchisljuval'na tekhnika ta avtomatizacija». Vipusk 23(201). - Donec'k: DonDTU, 2012. – S.112-118.