

Автоматическая сегментация церебральных артерий с использованием КТ и МРТ снимков



Р. Прямоносков
ИВМ РАН, МФТИ



Рабочая группа по моделированию кровотока и сосудистых патологий (ИВМ РАН)
грант РНФ 14-31-00024 (новые лаборатории)

План

1. Определения и инструменты
2. Особенности задачи
3. Сегментация аорты
4. Предобработка снимков
5. Сегментация сосудов шеи
6. Постобработка сегментации
7. Результаты

Определение сегментации

- Дано 2D (3D) изображение
- Приписывание каждому пикселю (вокселю) некоторого числа (цвета, материала) называют *сегментацией*
- Результат называют *маской*
- В случае двух цветов (0 и 1) маска *бинарная*
- Маски в общем случае будем называть *целочисленными*

0	0	0	0
0	1	0	0
0	1	1	0
0	0	0	0

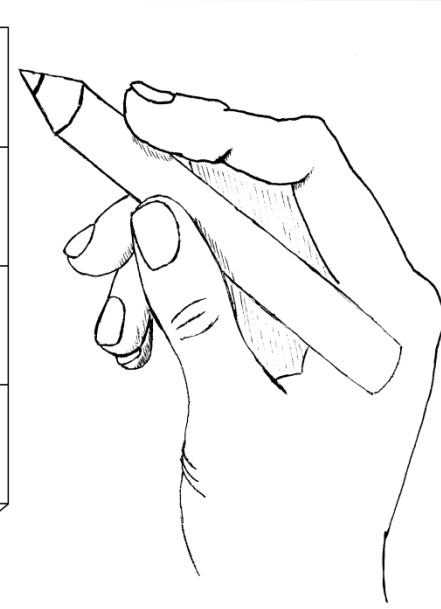
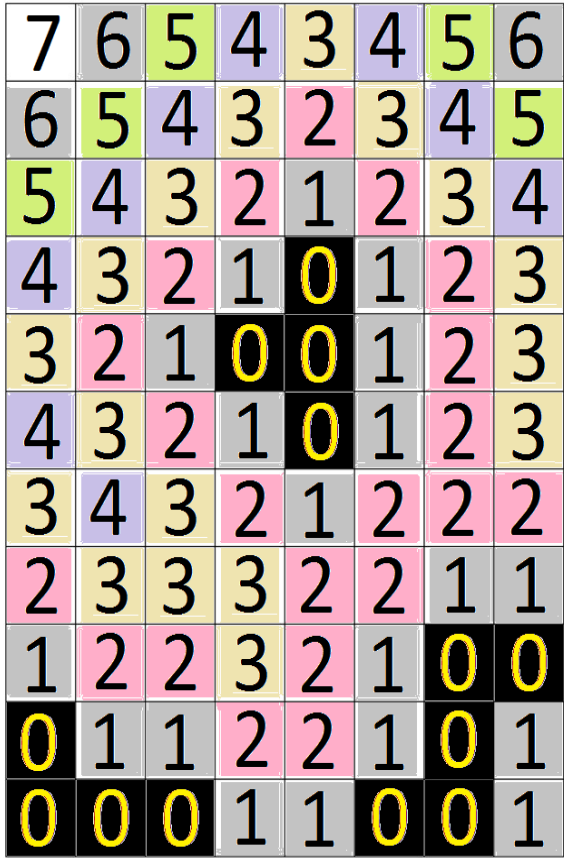
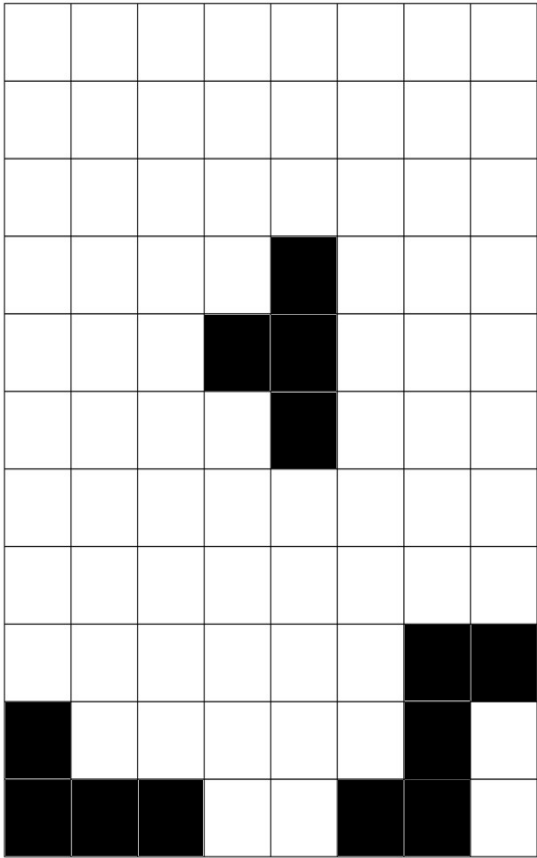


Иллюстрация понятия сегментации

Карта расстояний

- Карта расстояний бинарного изображения – это целочисленная маска, где вокселям приписаны расстояния до переднего плана в некоторой метрике
- Вокселям переднего плана приписываются нули
- Карты расстояний удобно использовать для добавления и удаления слоев вокселей переднего плана в маску



Пример 2D бинарной маски и ее карты расстояний

Морфологическое сглаживание

- *Морфологическое сглаживание* – комбинация *сужения* (*erosion*) и *расширения* (*dilation*)
- *Сузить на воксельный слой толщины N* – построить карту расстояний для заднего плана и удалить воксели со значением карты расстояний меньше N .
- *Расширить на воксельный слой толщины N* -- построить карту расстояний для переднего плана и добавить воксели со значением карты расстояний меньше N .
- *Сглаживанием* назовем сужение и расширение на воксельный слой одинаковой толщины.

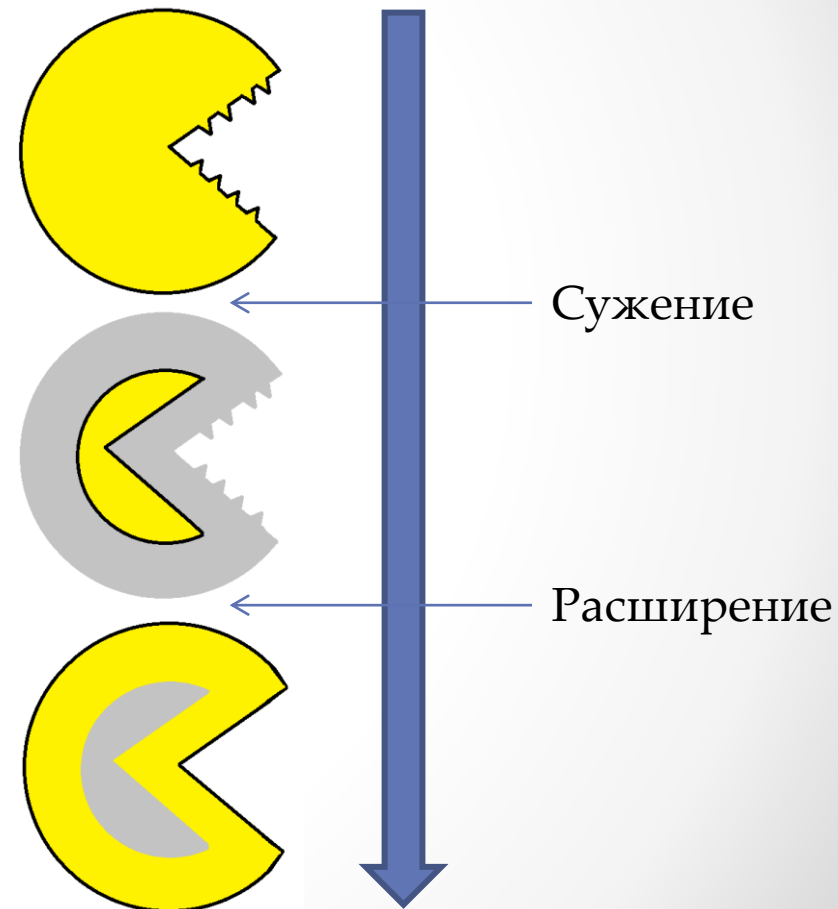


Иллюстрация понятия сглаживания

IDT и фильтр сосудистости

- IDT* получает маску и воксель на вход, разрезает маску в узких местах и оставляет компоненту связности, содержащую данный воксель.
- Фильтр сосудистости Франжи** сопоставляет каждому вокселю меру сосудистости, которая тем выше, чем вероятнее воксель лежит внутри трубчатой структуры.
- Маска сосудов может быть получена отсечением сосудистости по порогу.



Пример IDT для двух кругов

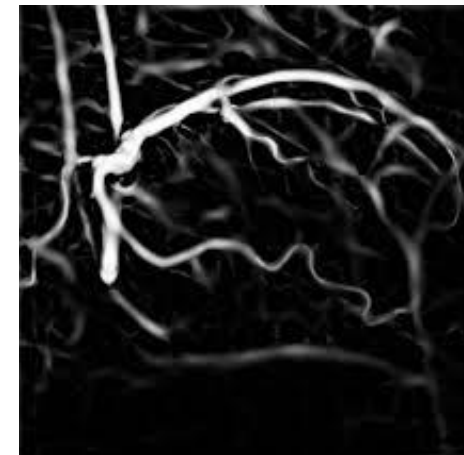


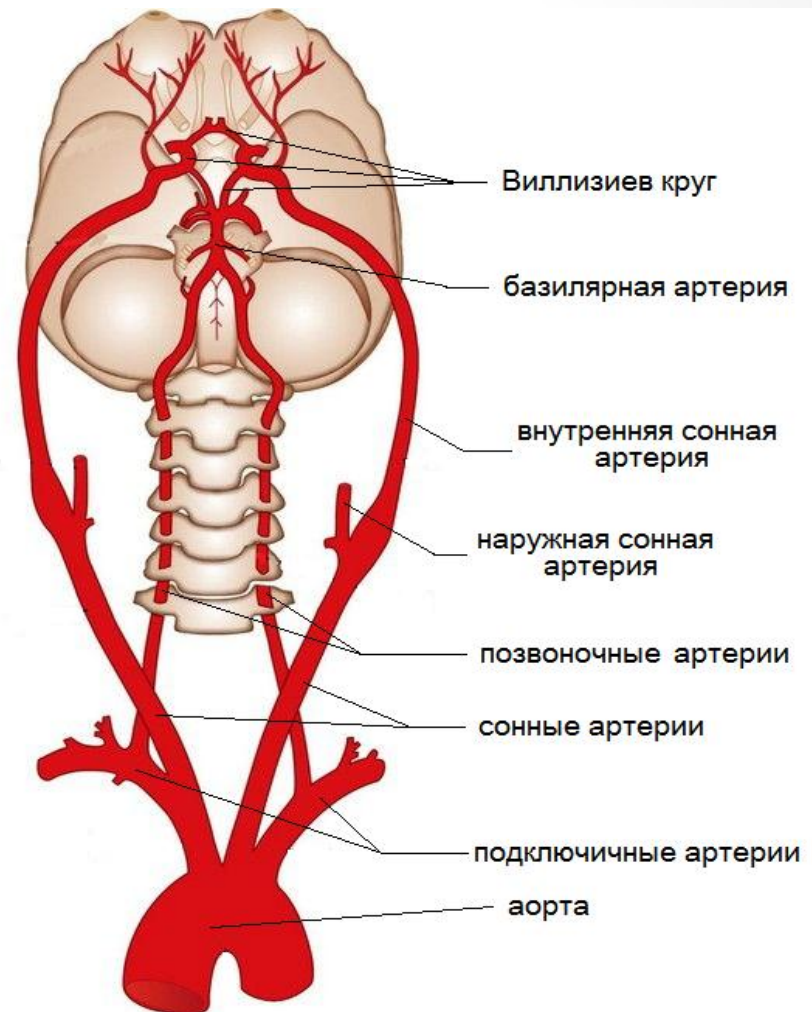
Иллюстрация сосудистости

* Grady L. Fast, quality, segmentation of large volumes – Isoperimetric distance trees. Computer Vision ECCV 2006 – 2006. – P. 449-462.

** Frangi A. [et al.] Multiscale vessel enhancement filtering. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI'98 – 1998. – P. 130-137.

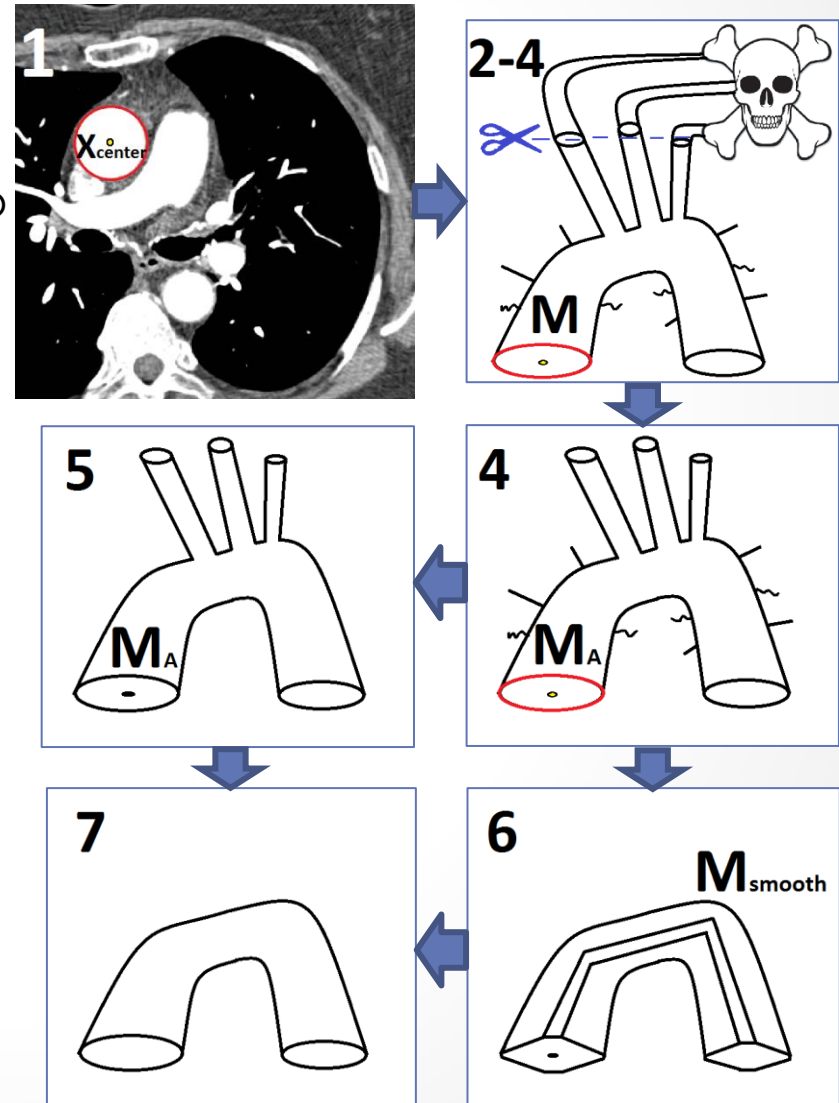
Особенности сегментации сосудов шеи и головы

- Аорта значительно крупнее, чем сосуды шеи.
- Близость к костям. Позвоночные артерии проходят сквозь позвонки.
- Сонные и подключичные артерии произрастают из аорты. Позвоночные артерии выходят из подключичных.
- Анатомия выхода артерий из аорты различна.



Сегментация аорты

1. На анатомически нижнем слое применить фильтр Хафа для нахождения центра x_{center} и радиуса R_A наибольшего светлого диска.
2. Найти минимальную интенсивность T внутри диска
3. Выделить содержащую x_{center} связную маску M по порогу T .
4. Применить IDT к маске M и x_{center} и получить маску M_A .
5. Сузить и расширить маску M_A на слой толщины $r_{smooth}(R_A)$
6. Скопировать маску M_A в маску M_{smooth} . Сузить M_{smooth} на слой толщины $R_{smooth}(R_A)$ вокселей, затем расширить на слой толщины $R_{smooth}(R_A) + t_{smooth}(R_A)$.
7. Удалить из маски M_A воксели, не принадлежащие маске M_{smooth} .



Подавление интенсивности костей Multiscale MMBE*

Используются два изображения **без контраста**, связанных соотношением:

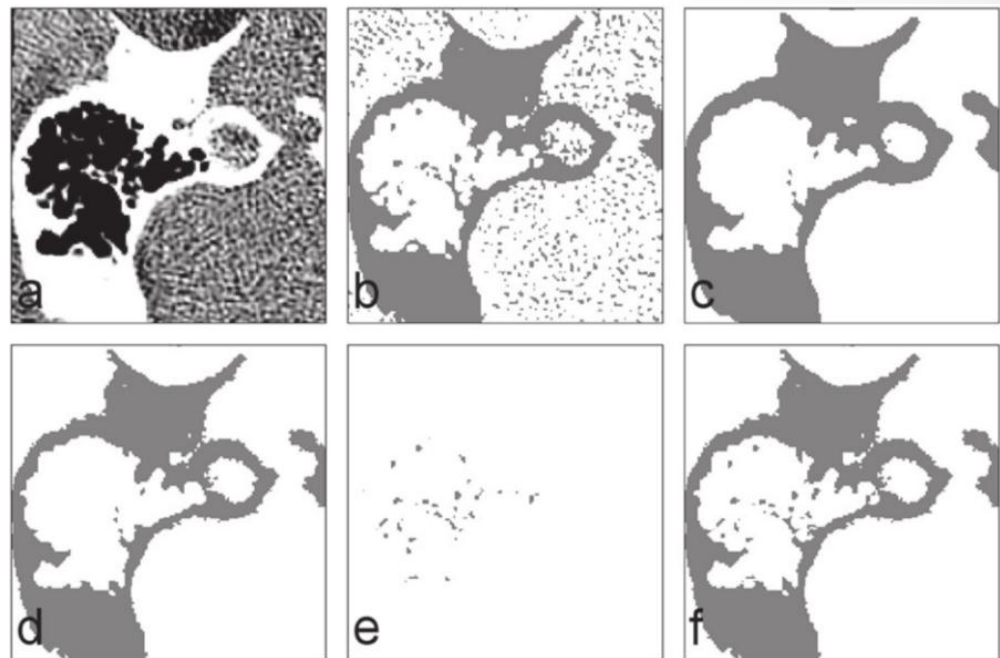
$$I_{sharp}(x) * G(x, S_{blur}) = I_{blur}(x)$$

- В результирующую маску M_{bones} добавляются воксели x , для которых выполнено:

$$\begin{cases} I_{sharp}(x) > 150 \\ I_{blur}(x) > 150 \end{cases}$$

- В M_{bones} добавляются воксели x , для которых выполнено:

$$I_{sharp}(x) - I_{blur}(x) > 250$$



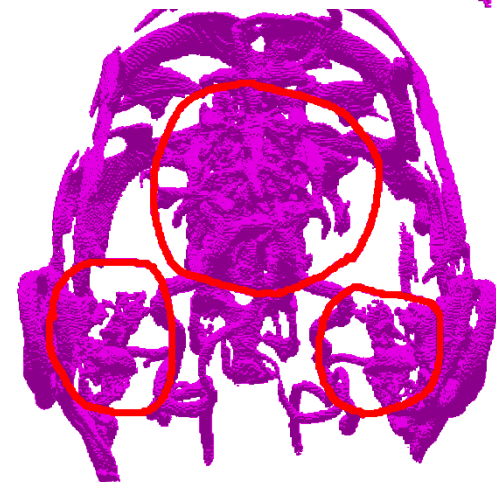
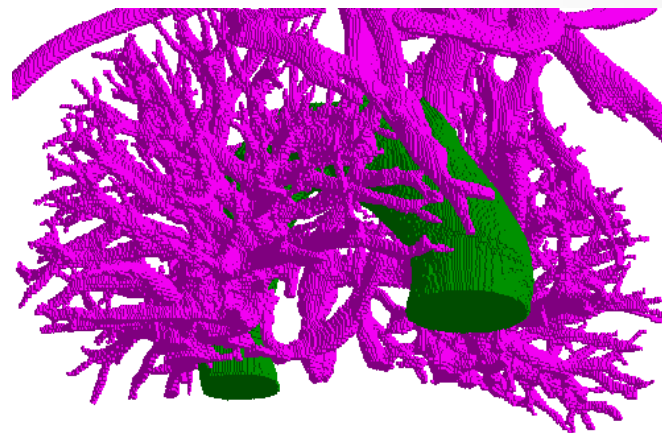
* Gratama van Andel H.A. Removal of bone in CT angiography by multiscale matched mask bone elimination. Med Phys. – 2007. – V. 34, N 10 – P. 3711-3723.

Подавление интенсивности сосудов легких

Сосуды легких являются в данном случае не интересующей областью, которая перегружает сегментацию.

- Создается маска M из вокселей x , таких что:
$$I(x) > -224$$
- Маска M сужается и расширяется на воксельный слой толщины 5 мм.

Также подавляются некоторые внутренности носа и ушей, что исключает протекания в этих областях.



Поиск выходов из аорты и сегментация

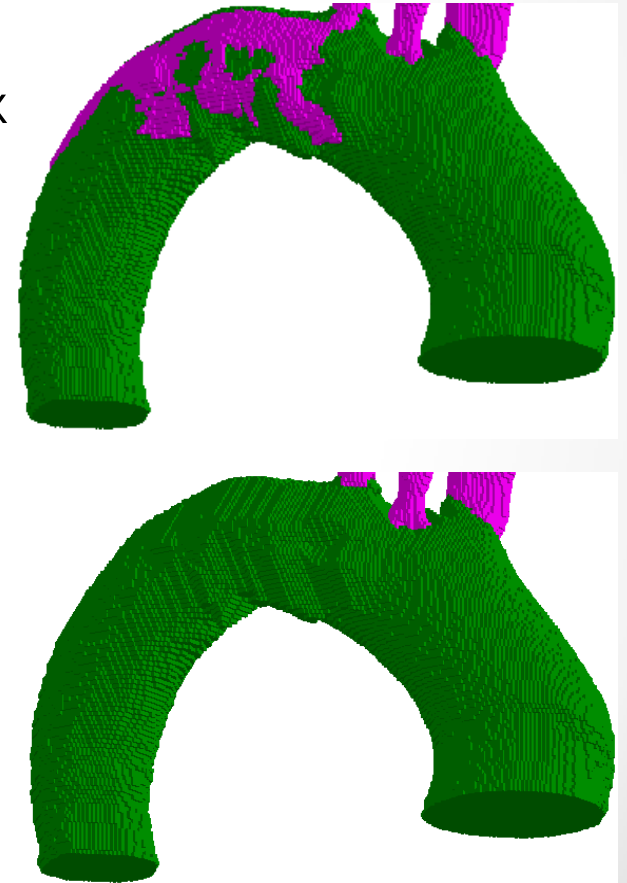
1. Применить фильтр сосудистости Франжи.
2. Выбрать порог сосудистости и построить бинарную маску сосудов M_V .
3. Удалить из M_V все воксели маски аорты M_A .
4. Построить целочисленную маску L компонент связности из M_V и применить процедуру *remove islands*.
5. Найти все воксели $x \in M_V$ в слое вокселей толщины 2 вокруг M_A найти их номера $L(x)$.
6. Удалить компоненты связности с другими номерами.

Очищение границы аорты

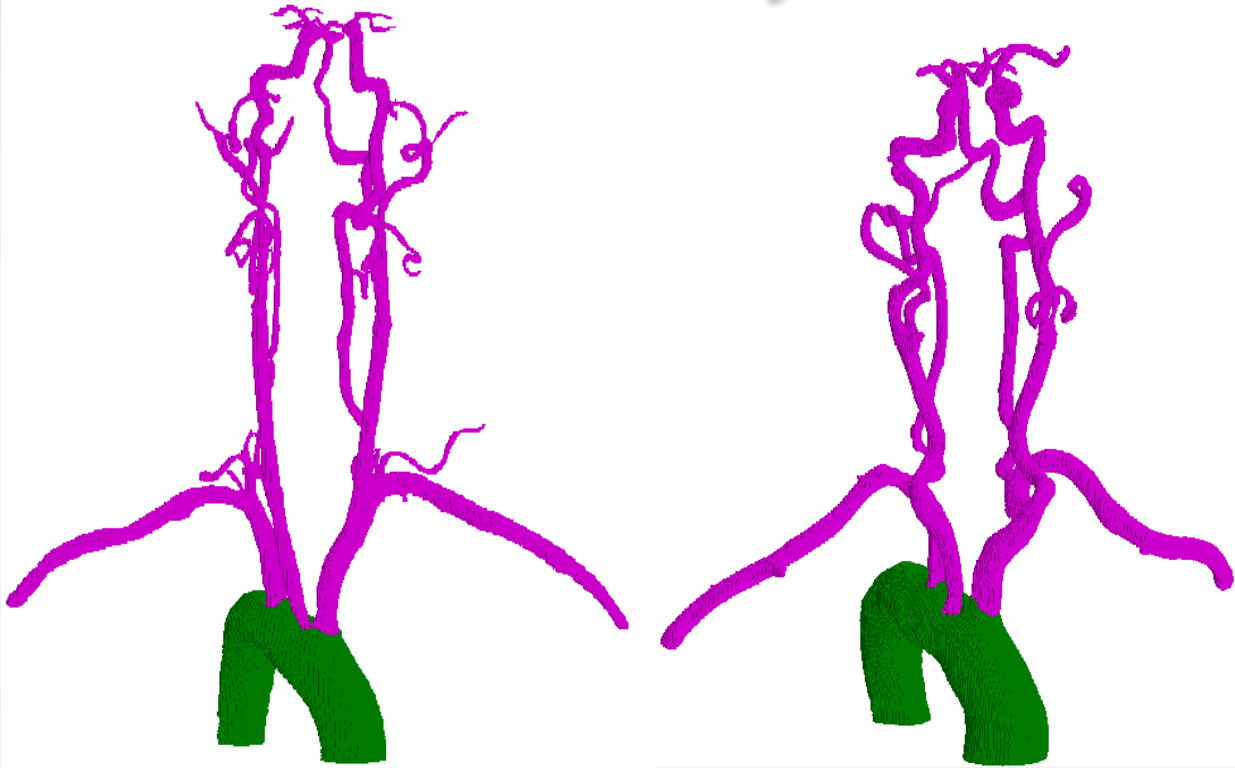
Фильтр сосудистости иногда ошибочно принимает большие значения на стенках аорты.

Require: маска аорты M_A , маска сосудов M_V ;

1. Вычислить карту расстояний $dmap$ для M_A ;
2. **for** ($i = start_val; i \geq 0; i --$) **do**:
3. **for all** ($x \mid dmap(x) == i$) **do**:
4. **if** ($\nexists x_{nbr} \in N_{26}(x) : dmap(x_{nbr}) > i$
 && $x_{nbr} \in M_V$) **then**:
1. удалить x из маски M_V ;
2. **end if**
3. **end for**
4. **end for**



Результаты



Параметр	Значение
R_A	$\approx 15\text{мм}$
r_{smooth}	$\frac{1}{3}R_A$
R_{smooth}	$\frac{2}{3}R_A$
t_{smooth}	$\frac{1}{7}R_A$

Случай	Разрешение	Размер вокселя (мм)	Аорта	Фильтр Франжи	Подавление костей	Каждая из остальных процедур
Case 1	512x512x501	0.76 x0.76 x0.80	16.61 сек	196.40 сек	11.20 сек	≈ 7.00 сек
Case 2	512x512x451	0.62 x0.62 x0.80	15.33 сек	184.91 сек	10.10 сек	≈ 7.00 сек

Результаты

- Предложен автоматизированный алгоритм сегментации артерий шеи и головы, включающий в себя шаги:
 - Подавление интенсивности костей на базе двух наборов изображений;
 - Подавление интенсивности сосудов легких;
 - Сегментация аорты;
 - Поиск выходящих из аорты сосудов шеи и сегментация;
 - Обработка сегментации на поверхности аорты.
- Просегментированы два случая сосудов шеи и головы с использованием только снимков с контрастом. Снимки без контраста были получены искусственно.



Спасибо за внимание!