

РЕКОНСТРУКЦИЯ 3D-МОДЕЛИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ DUAL CONTOURING НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ КТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ

Семенченя Т. С., Курочка К. С.

Кафедра информационных технологий, Гомельский государственный технический университет имени

П. О. Сухого

Гомель, Республика Беларусь

E-mail: levts@gstu.by

В данной работе рассматривается алгоритм разбиения поверхности на ячейки Dual contouring. В статье описывается результат реконструкции 3D-модели поясничного отдела позвоночника человека методом Dual contouring на основе анализа цифровых КТ-изображений, а также необходимость в его разработке.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время патологии позвоночника встречаются практически у каждого человека. Ежедневно позвоночник подвержен большим нагрузкам.

Большая часть нагрузок приходится на поясничный отдел. Возникающие патологии можно диагностировать с помощью рентгенологического исследования, магнитно-резонансной и компьютерной томографии. Медикаментозное лечение не всегда является эффективным и требуется хирургическое вмешательство. Для определения метода лечения и выбора необходимого инструментария для проведения операции врач руководствуется своими знаниями и накопленным опытом. Однако иногда возникают спорные ситуации, когда нельзя сразу однозначно определить метод лечения. Для выбора наиболее эффективного хирургического лечения и минимизации случаев послеоперационных осложнений необходимо исследовать свойства указанного отдела позвоночника.

Первым этапом исследования необходимо выполнить восстановление трехмерной геометрической модели выделенного сегмента позвоночника, пригодной для дальнейших расчетов.

Для восстановления 3D-модели поясничного отдела позвоночника человека были использованы цифровые КТ-изображения позвоночника. Изображения, получаемые при помощи компьютерной томографии поясничного отдела позвоночника человека, являются послойными срезами с заданным шагом и позволяют с достаточной точностью построить трехмерную модель сегмента позвоночника [1].

РЕКОНСТРУКЦИЯ 3D-МОДЕЛИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ DUAL CONTOURING

Для трехмерной реконструкции поясничного отдела позвоночника человека был выбран алгоритм разбиения поверхности на ячейки Dual Contouring [2].

Dual Contouring помещает в каждую ячейку по одной вершине, а затем «соединяет точки», чтобы сформировать полную сетку. Алгоритм находит каждое ребро со сменой знака и соединяет вершины ячеек, соседних с этим ребром.

Чтобы использовать алгоритм Dual Contouring, нужно знать не только значение $f(x)$, но и градиент $f'(x)$. То есть для каждого ребра необходимо вычислить точку пересечения направления нормали в этой точке [3].

Градиент функции f – это мера того, насколько быстро значение f изменяется в данной точке при движении в любом заданном направлении. Обычно она задается в виде пары чисел для каждой точки, указывающих, насколько функция изменяется при перемещении по оси x или оси y .

Также необходимо оценить $f(x)$ в каждом узле ячейки сетки и понять, где граница пересекает каждое ребро, т.е. места, которые будут потом выбраны в качестве вершин. Требуется учесть информацию о градиенте $f'(x)$ для этих точек. Вершины двойного контура будут размещены в точке внутри ячейки, которая наиболее соответствует этим градиентам (см. рис. 1).

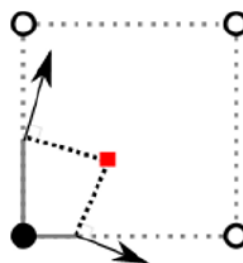


Рис. 1 – Аппроксимация нормалей для нахождения вершин контура

Выбирая указанную точку, алгоритм гарантирует, что выходные грани этой ячейки максимально соответствуют нормальям (см. рис. 2).

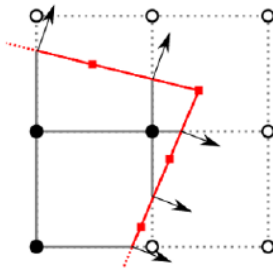


Рис. 2 – Согласование нормалей вокруг ячейки для построения сетки поверхности и выбора вершин

На практике не все нормали вокруг ячейки согласуются. Нам нужно выбрать точку наилучшего соответствия.

Одна из основных проблем, заключается в том, как выбрать местоположение точки, когда нормали не указывают на постоянное местоположение. В случае с 3D ситуация ухудшается, так как нормалей становится еще больше (см. рис. 3).

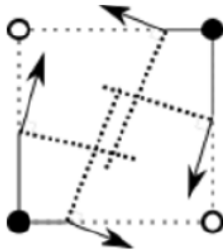


Рис. 3 – Конфликт выбора точки вершины, ввиду несогласования нормалей

Способ решить эту проблему состоит в том, чтобы выбрать точку, которая является оптимальной для всех нормалей.

Для каждой нормали назначается штраф местам, далеким от идеального. Затем мы суммируем все штрафные функции, что дает штраф в форме эллипса. После этого выбираем точку с наименьшим штрафом. Работа штрафных функций представлена на рисунке (см. рис. 4).

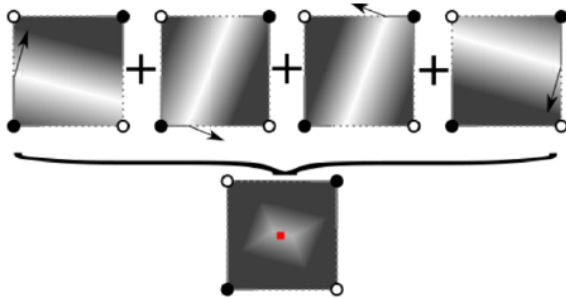


Рис. 4 – Работа штрафных функций и выбор точки с наименьшим штрафом

Математически отдельные штрафные функции представляют собой квадрат расстояния от идеальной линии для этой нормали. Сумма всех этих квадратов представляет собой квадратичную функцию, поэтому функция полного штрафа называется QEF (квадратичная функция ошибок).

В рамках выполнения данной работы был разработан программный комплекс для построения 3D модели поясничного отдела позвоночника человека методом Dual Contouring на основе анализа цифровых КТ-изображений. Dual Contouring является одним из наиболее распространенных методов извлечения изоповерхности, позволяющим генерировать качественные полигональные сетки с восстановлением острых углов и ребер.

На рисунке 5 представлен результат визуализации геометрической 3D модели поясничного отдела позвоночника человека.



Рис. 5 – Работа штрафных функций и выбор точки с наименьшим штрафом

Разработанная 3D модель позволит получить новые знания свойств поясничного отдела позвоночника, моделировать новые инстументарии для хирургического лечения и прогнозировать результаты их применения [4]. Реконструированная 3D модель поясничного отдела позвоночника человека может использоваться для обучения студентов медицинских специальностей.

1. Панарин, К. А. Локализация позвонков на КТ-изображениях в условиях ограниченности вычислительных ресурсов / К. А. Панарин, К. С. Курочка // Новые горизонты – 2021: сборник материалов VIII Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума, 11 – 12 ноября 2021 года / Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2021. – Т. 1. – С. 177 – 179.
2. Ju, T. Dual Contouring of Hermite Data / T. Ju, F. Losasso, S. Schaefer, J. Warren // ACM Transactions on Graphics, Vol. 21, Iss. 3. – 2002. – P. 339–346.
3. Wenger, R. Isosurfaces: Geometry, Topology, and Algorithms / R. Wenger, A. K. Peters. – CRC Press, 2013. – 488 p.
4. Курочка, К. С. Construction of an individual geometric 3D model of the lumbar spine of a person based on the analysis of medical images / К. С. Курочка, Т. С. Семенченя // Сборник научных трудов «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем», 19 – 22 февраля 2020 г. – Минск: БГУИР, 2020. – с. 291 – 297.