**Исследование и разработка методики и алгоритма составления тренировок для реабилитации после травм на основе математической модели движения**

Для математического моделирования движений объектом движения является человеческое тело. Суставы, которые учитываются в моделировании представлены на рис. 1.

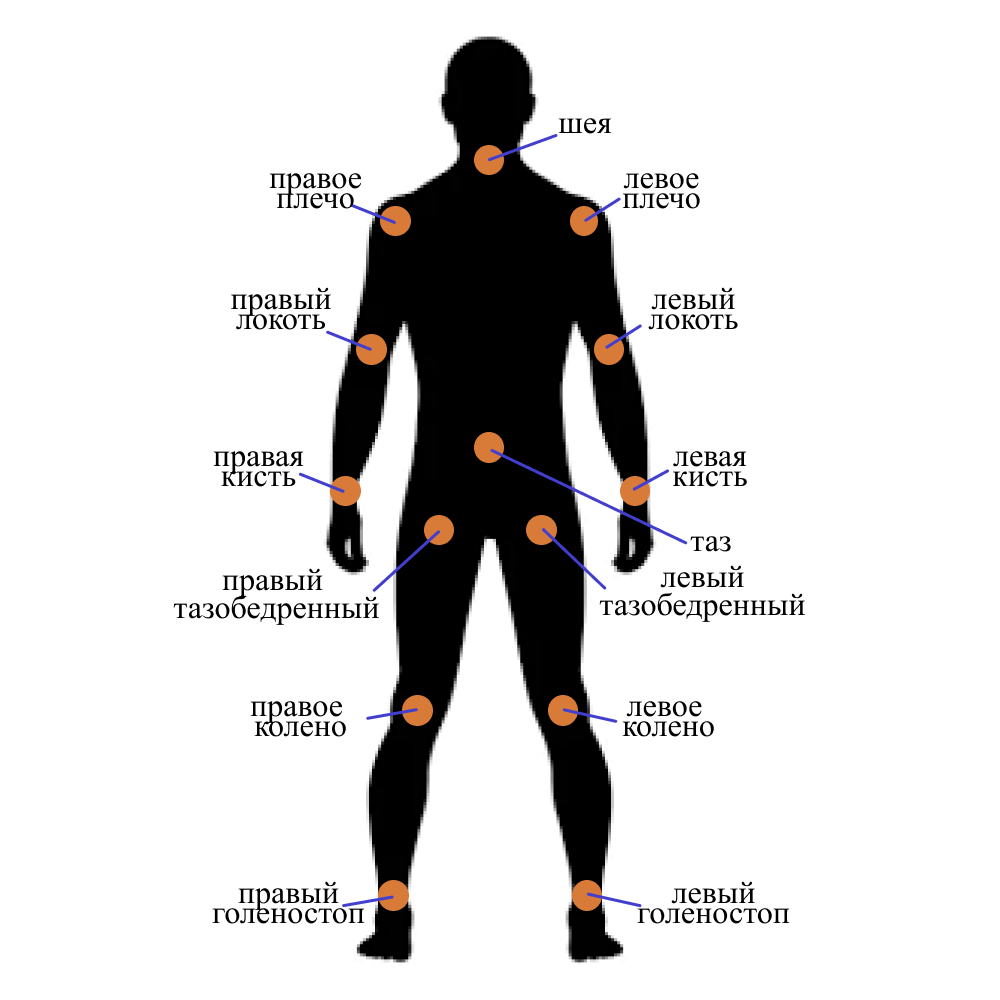


Рис 1. – Суставы для моделирования

Также для моделирования необходимы расстояния между суставами (рисунок 2).

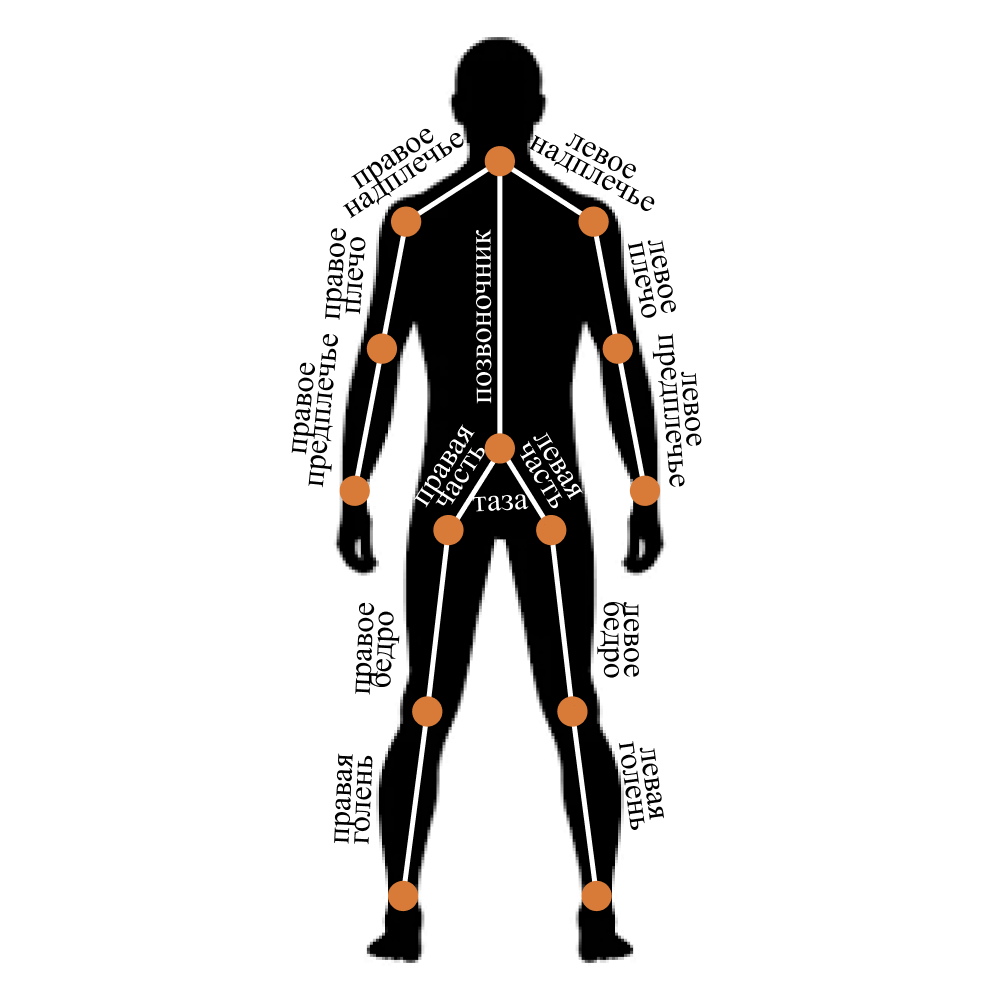


Рис 2. – Расстояния от одного сустава до другого

Для моделирования движений человека используется решение задачи инверсной кинематики. Задача инверсной кинематики заключается в том, чтобы по заданным координатам и ориентации конечного сустава, необходимо найти углы поворота всех остальных суставов.

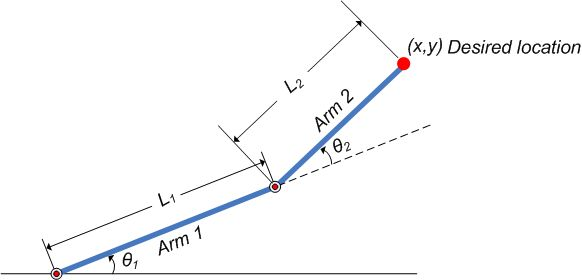


Рис 3. – Задача инверсной кинематики

На примере трех суставов рассмотрим алгоритм моделирования плавных движений (рисунок 3).

Уравнения прямой кинематики в трехмерном пространстве имеют вид:

, (1)

где L1 и L2 – длины сегментов руки (Arm 1, Arm 2), θ1 и θ2 – углы поворота суставов, θ3 – угол вращения вокруг оси Z.

Для начала определим текущее положение конечного сустава (xcurr, ycurr,zcurr). Позиция, к которой стремится конечный сустав – (xtarget, ytarget, ztarget).

Затем составим матрицу Якоби, которая описывает, как изменение углов θ1, θ2 и θ3 влияет на изменение положения конца манипулятора:

Определяем ошибку между текущим положением конца манипулятора и целевой точкой:

Воспользуемся псевдообратной матрицей Якоби для улучшение устойчивости вблизи сингулярных конфигураций. Для этого введем параметр сглаживания λ. Это изменяет стандартную форму псевдообратной матрицы:

где – транспонированная матрица Якоби, I – единичная матрица, λ – коэффициент сглаживания, обычно выбирается малым (0,01 или 0,001).

После нахождения сглаженной псевдообртной матрицы , находим изменения в углах сутавов.

где – изменения углов суставов.

Углы суставов обновляются с учетом найденных именений:

Процесс повторяется до тех пор, пока величина ошибки не станет достаточно малой, или пока не будет достигнуто максимальное количество итераций.

В результате моделирования была вычислена расчетная траектория движения сустава, которая практически совпадает с идеальной траекторией (рисунок 4).

Рис 4. – Траектория кисти по оси Y