# АНАЛИЗ URDF: РАСПОЛОЖЕНИЕ И НАКЛОНЫ JOINTS ОТНОСИТЕЛЬНО ДРУГ ДРУГА, ДЛИНЫ ЗВЕНЬЕВ

## Ограничения по значениям принимаемых углов для каждого сустава

Эти ограничения указаны в [официальной документации от Unitree](https://support.unitree.com/home/en/H1_developer).

## Общая структура описания звена и его фрейма

**Фрейм** — это система координат. Каждый *link* в ROS2 автоматически становится фреймом, связанным жёстко с частью робота. Также существуют фреймы, не связанные с роботом, например, *base\_footprint* — в нашем случае это проекция таза (*pelvis*) на плоскость, на которой стоит робот.

### 1. Звено (Link *<link>*)

**Тег *<link>* описывает жёсткий сегмент робота, его физические и визуальные свойства. У каждого звена должно быть уникальное имя (*name*).**

**Компоненты внутри *<link>*:**

* ***<inertial>* (Инерционные параметры):** Определяет массу и момент инерции звена. Критически важно для точного физического моделирования в симуляторах (например, Gazebo).
  + ***<origin>*:** Задаёт смещение и поворот центра инерции (Center of Mass) относительно геометрического центра звена.
  + ***<mass>*:** Масса звена в килограммах.
  + ***<inertia>*:** Тензор инерции, представляющий собой симметричную матрицу 3x3. Он описывает, как масса распределена вокруг осей координат. Параметры ixx, iyy, izz — это моменты инерции, а ixy, ixz, iyz — произведения инерции.
* ***<visual>* (Визуальное представление):** Описывает, как звено выглядит в инструментах визуализации (таких как RVIZ2).
  + ***<origin>*:** Смещение и поворот визуальной геометрии относительно центра звена.
  + ***<geometry>*:** Определяет форму. Это может быть *<box>*, *<cylinder>*, *<sphere>* или сложная *<mesh>* (обычно файл в формате .dae или .stl).
  + ***<material>*:** Определяет цвет (*<color>*) или текстуру звена.
* ***<collision>* (Коллизионная геометрия):** Описывает форму, используемую движком физики для расчёта столкновений. Эта геометрия часто бывает более простой, чем визуальная, для повышения производительности.
  + ***<origin>*:** Смещение и поворот коллизионной геометрии.
  + ***<geometry>*:** Форма для столкновений (аналогично визуальной).

**Важно:** Визуальная и коллизионная геометрии не обязаны совпадать. Упрощение коллизионной модели — стандартная практика.

### 2. Соединение *(Joint <joint>)*

Тег *<joint>* описывает, как два звена связаны друг с другом, и определяет тип их относительного движения.

**Атрибуты и компоненты внутри *<joint>*:**

* ***<name>*:** Уникальное имя соединения.
* ***<type>*:** Тип соединения, определяющий степени свободы:
  + **revolute** — вращательное соединение (с ограниченным углом).
  + **continuous** — вращательное соединение (без ограничений, как колесо).
  + **prismatic** — линейное (поступательное) соединение.
  + **fixed** — жёсткое соединение (без движения).
  + **floating** — соединение с полной свободой движения.
  + **planar** — движение в плоскости.
* ***<origin>*:** Задаёт смещение и поворот от системы координат родительского звена к системе координат дочернего звена. Это преобразование, которое помещает дочернее звено в пространстве относительно родителя.

#### Атрибут тега ***<origin>*** xyz — перемещение (translation)

* **Формат:** "x y z" в метрах
* **Значения по умолчанию:** "0 0 0"
* **Расшифровка:**
  + **x** — смещение по оси X (вперёд/назад)
  + **y** — смещение по оси Y (влево/вправо)
  + **z** — смещение по оси Z (вверх/вниз)

#### Атрибут тега ***<origin>*** rpy — поворот (rotation)

* **Формат:** "roll pitch yaw" в радианах
* **Значения по умолчанию:** "0 0 0"
* **Расшифровка:**
  + **roll** — крен (вращение вокруг оси X)
  + **pitch** — тангаж (вращение вокруг оси Y)
  + **yaw** — рыскание (вращение вокруг оси Z)
* ***<parent>*:** Ссылка на родительское звено (*link*) в иерархии робота.
* ***<child>*:** Ссылка на дочернее звено, которое присоединяется к родительскому.
* ***<axis>*:** Определяет ось, вокруг которой (или вдоль которой) происходит движение. Задаётся единичным вектором в локальных координатах соединения. Например, **xyz**="1 0 0" означает ось X.
* ***<limit>*:** Обязателен для соединений типа **revolute** и **prismatic**. Определяет рабочий диапазон соединения.
  + **lower** — нижний предел (в радианах или метрах).
  + **upper** — верхний предел.
  + **effort** — максимальное усилие (крутящий момент для **revolute** или сила для **prismatic**), которое может приложить привод.
  + **velocity** — максимальная скорость движения.

## Разбор примера левого голеностопного сустава

URDF-описание лежит по относительному адресу:

unitree\_h1\_visualization\_ws/src/h1\_description/urdf/h1.urdf

или по [этой ссылке](https://github.com/cyberbanana777/unitree_h1_visualization_ws/blob/main/h1_description/urdf/h1.urdf) в репозитории *unitree\_h1\_visualization\_ws*.

Рассмотрим левый голеностопный сустав, описанный в *h1.urdf*:

<link name="left\_ankle\_link">  
 <inertial>  
 <origin xyz="0.042575 -0.000001 -0.044672" rpy="0 0 0" />  
 <mass value="0.474" />  
 <inertia  
 ixx="0.000159668"  
 ixy="-0.000000005"  
 ixz="0.000141063"  
 iyy="0.002900286"  
 iyz="0.000000014"  
 izz="0.002805438" />  
 </inertial>  
 <visual>  
 <origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0" />  
 <geometry>  
 <mesh filename="package://h1\_description/meshes/left\_ankle\_link.dae" />  
 </geometry>  
 <material name="">  
 <color rgba="0.1 0.1 0.1 1" />  
 </material>  
 </visual>  
 <collision>  
 <origin xyz="0.05 0.0 -0.05" rpy="0 0 0" />  
 <geometry>  
 <box size="0.28 0.03 0.024"/>  
 </geometry>  
 </collision>  
</link>  
  
<joint name="left\_ankle\_joint" type="revolute">  
 <origin xyz="0 0 -0.4" rpy="0 0 0" />  
 <parent link="left\_knee\_link" />  
 <child link="left\_ankle\_link" />  
 <axis xyz="0 1 0" />  
 <limit  
 lower="-0.87"  
 upper="0.52"  
 effort="40"  
 velocity="9" />  
</joint>

## Общая структура иерархии

Робот в URDF представляется в виде дерева звеньев, соединенных суставами. Дерево начинается с “корневого” звена (*base\_link*), которое не имеет родителя. Каждое последующее звено присоединяется к уже существующему в дереве с помощью сустава.

Посмотреть дерево соединений можно командой (если происходит публикация TF-преобразований т.е. публикуются сообщения в /tf топики — см. [методический материал 14](https://github.com/cyberbanana777/unitree_h1_docs/blob/main/instructions_and_manuals/14_Как_преобразовать_координаты_точки_из_сис_кор_одного_joint_сис_кор_другого.md)):

ros2 run tf2\_tools view\_frames.py

Эта команда генерирует PDF-файл с отображением всех звеньев и соединений в виде дерева.

Команда для открытия файла в системе Linux:

xdg-open frames.pdf

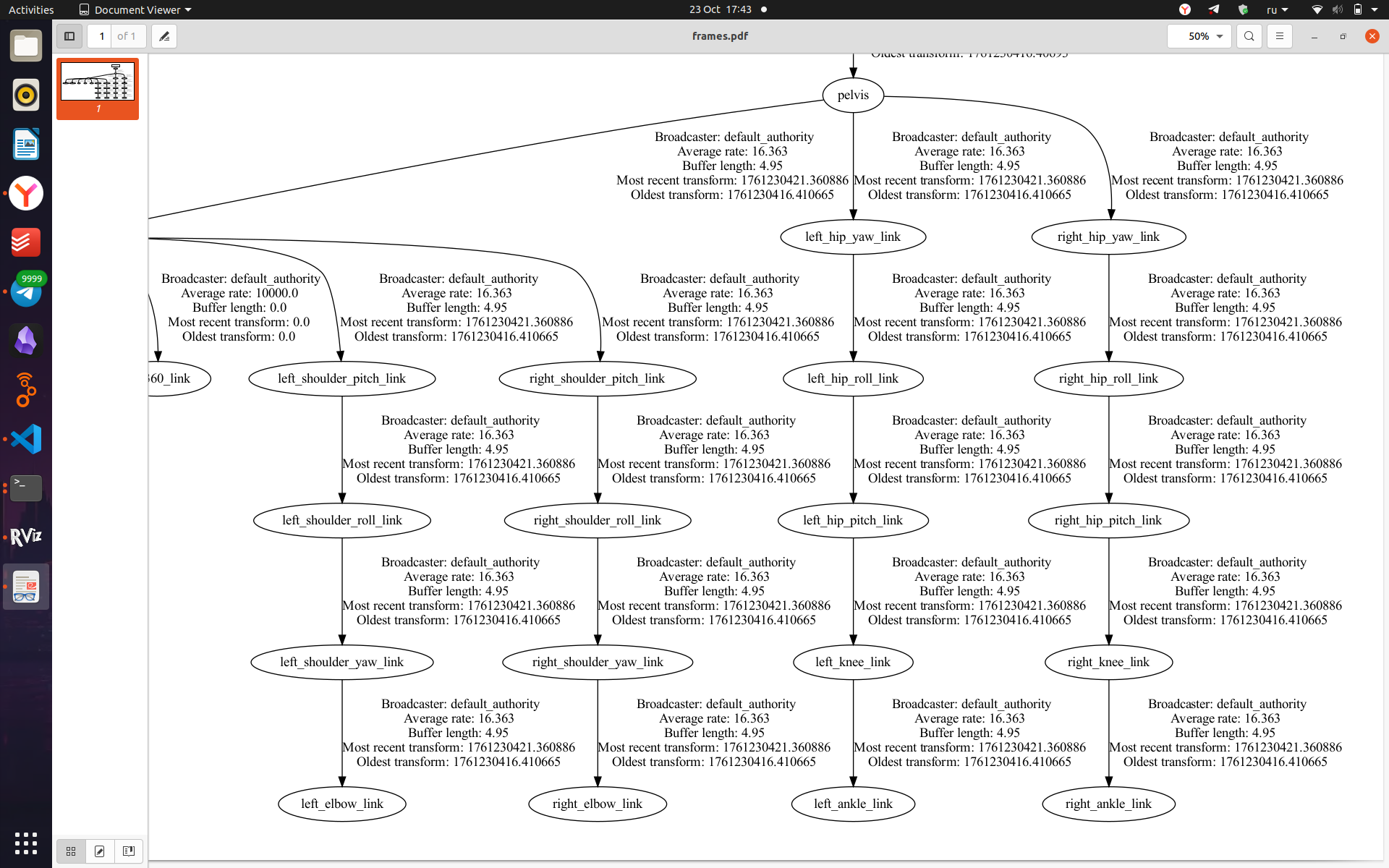


Рисунок 1 — Дерево TF-преобразований.

В нашем примере:

* **left\_knee\_link** является родителем.
* **left\_ankle\_link** является ребенком.
* **left\_ankle\_joint** определяет, как именно ребёнок соединён с родителем (включая смещение, ориентацию и ось вращения).

Полное дерево TF-преобразований можно посмотреть по [ссылке](https://github.com/cyberbanana777/unitree_h1_visualization_ws/blob/main/h1_description/frames/frame_without_hands.pdf).

## Блок соединения (Joint) — left\_ankle\_joint

Для определения нужных параметров достаточно рассмотреть блок *<joint>*.

### Основные параметры соединения

<joint name="left\_ankle\_joint" type="revolute">

**Что это значит:**

* *name="left\_ankle\_joint"* — уникальное имя соединения.
* *type="revolute"* — вращательный тип соединения (как шарнир).

### Геометрия соединения

<origin xyz="0 0 -0.4" rpy="0 0 0" />

**Что это значит:**

* Соединение расположено со смещением **-0.4 м (40 см)** по оси Z относительно родительского звена.
* Это означает, что голеностоп находится на 40 см ниже коленного сустава.
* Голеностоп не повернут ни по одной из осей относительно коленного сустава.

### Иерархия соединений

<parent link="left\_knee\_link" />  
<child link="left\_ankle\_link" />

**Что это значит:**

* Родительское звено: *left\_knee\_link* (звено колена).
* Дочернее звено: *left\_ankle\_link* (звено лодыжки).

### Ось вращения и ограничения

<axis xyz="0 1 0" />  
<limit lower="-0.87" upper="0.52" effort="40" velocity="9" />

**Что это значит:**

* *<axis xyz="0 1 0">* — ось вращения направлена по оси Y.
* *<limit>*:
  + **lower**="-0.87" — минимальный угол = **-0.87 радиан** (≈ -50°).
  + **upper**="0.52" — максимальный угол = **0.52 радиан** (≈ +30°).
  + **effort**="40" — максимальный крутящий момент = **40 Н·м**.
  + **velocity**="9" — максимальная скорость = **9 рад/с** (≈ 515°/с).

## Физический смысл всей конструкции описания

Это описание **голеностопного сустава** робота:

* Звено представляет собой часть ноги в области лодыжки.
* Соединение позволяет совершать движения типа “сгибание-разгибание” стопы.
* Ограничения угла позволяют двигаться от подъёма стопы (50°) до опускания (30°).

## Анализ URDF: длины звеньев

Проанализируем **right\_hip\_pitch\_joint** из URDF:

<!-- right\_hip\_roll → right\_hip\_pitch -->  
<joint name="right\_hip\_pitch\_joint" type="revolute">  
 <origin xyz="0 -0.11536 0" rpy="0 0 0" />  
 <parent link="right\_hip\_roll\_link" />  
 <child link="right\_hip\_pitch\_link" />  
 <axis xyz="0 1 0" />  
 <limit  
 lower="-3.14"  
 upper="2.53"  
 effort="200"  
 velocity="23" />  
</joint>

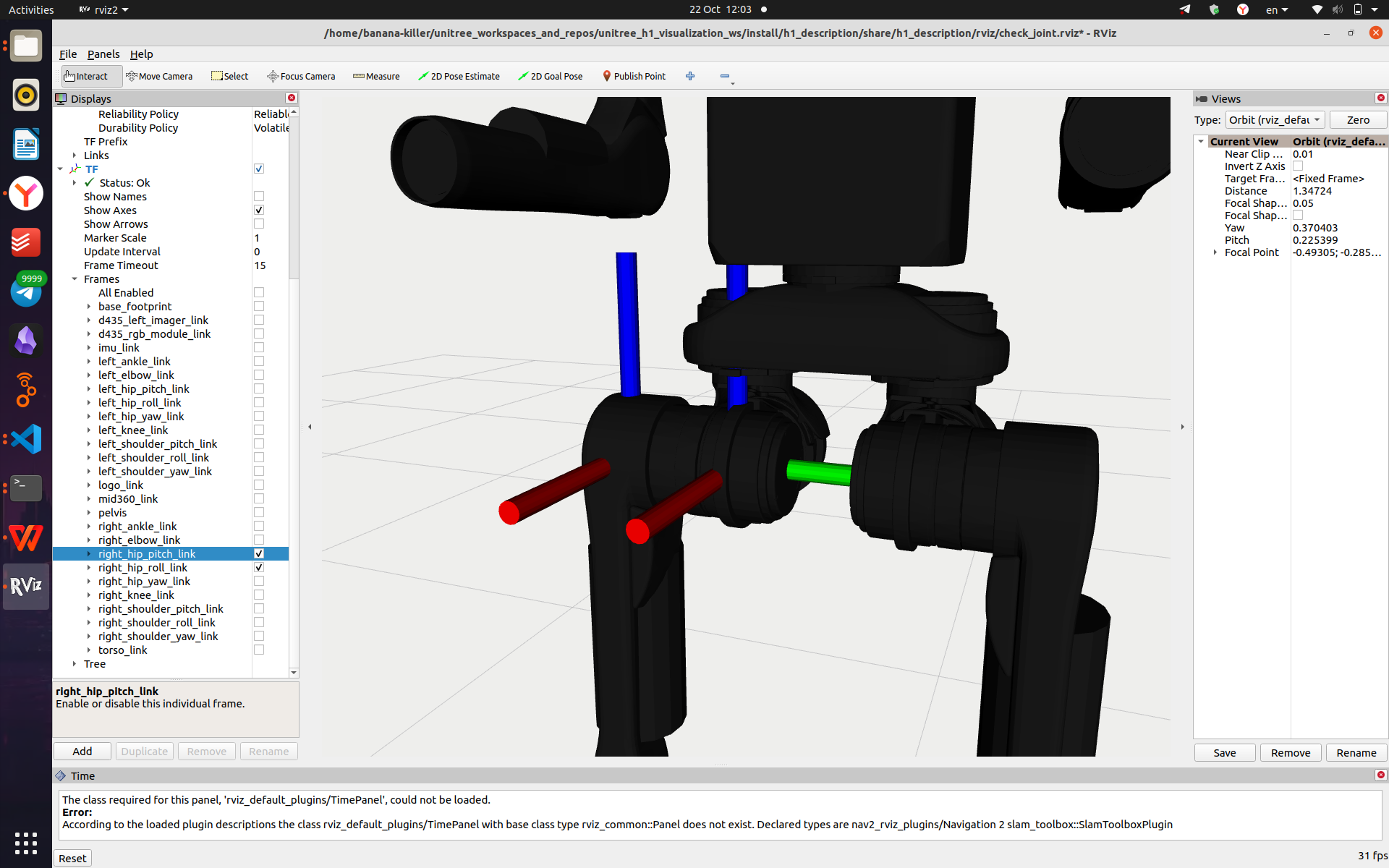


Рисунок 2 - Система координат right\_hip\_roll\_link (справа) и right\_hip\_pitch\_link (слева)

### Расчёт длины звена

В данном случае длина звена равна расстоянию между центрами систем координат *right\_hip\_roll\_link* и *right\_hip\_pitch\_link*.

Смещение между ними задано вектором **xyz**="0 -0.11536 0". Поскольку смещение присутствует только по оси Y, длина звена рассчитывается просто как модуль этого значения:

**Длина = | -0.11536 | = 0.11536 метра.**

**В общем случае**, если бы смещение было по нескольким осям, длина находилась бы по формуле: