双足机器人机械结构介绍

机器人重60.07 kg，高1284.77 mm。

机器人各个部分的质量和惯量矩阵在本文档最后一页给出。

双足机器人本身虽然由成百上千个零件构成，但是宏观上，根据机器人的主要运动关节，可以将机器人简化为以下13个刚体（**这部分可以画个示意图，表明各个刚体的具体位置**）：躯干部分（HAT）、躯干-盆骨联接部分（HAT-pelvis）、盆骨部分（pelvis）、左侧盆骨-大腿连接部分（left pelvis-thigh）、右侧盆骨-大腿连接部分（right pelvis-thigh）、左侧大腿-1（left thigh-1）、右侧大腿-1（right thigh-1）、左侧大腿-2（left thigh-2）、右侧大腿-2（right thigh-2）、左侧小腿部分（left shank-1）、右侧小腿部分（right shank）、左足（left foot）、右足（right foot）。

**机器人本体的自由度：**

机器人本身共14个自由度，它们定义了前面所说的13个刚体之间的相对运动。分别为：

躯干前倾后仰（pelvis tilt）、躯干旋转（pelvis rotation）、左右髋关节前屈后伸（left/right hip flexion/extension）、左右髋关节内收外展（left/right hip adduction/abduction）、左右髋关节内外旋（left/right hip internal/external rotation）、左右膝关节屈伸（left/right knee flexion/extension）、左右踝关节跖屈背屈（left/right ankle plantarflexion/dorsiflexion）、左右踝关节内收外展（left/right ankle adduction/abduction）。

机器人的14个本体自由度中，前10个自由度各由一个电机驱动，在SOLIDWORKS模型中可以很容易找到对应；踝关节跖屈背屈由安装在机器人小腿处的两个电机共同驱动，这是为了减小单个电机的体积，从而减小双足机器人运动时来自远端的离心力，从而使机器人的运动更加灵活；踝关节内收外展则为被动自由度，无电机驱动。

除机器人本体自由度外，还有**6个全局广义坐标**，即盆骨作为根坐标系，与地面的平动和转动关系。分别为：global pelvis tx沿X轴的平移, global pelvis ty沿Y轴的平移, global pelvis tz沿Z轴的平移, global pelvis list绕X轴的旋转, global pelvis rotation绕Y轴的旋转, global pelvis tilt绕Z轴的旋转。

**广义坐标正方向定义**，尽量能与DH参数对应：

3个全局平移坐标：沿轴正方向平移为正。

3个全局旋转坐标：右手定则为正。

Pelvis rotation：从上往下看顺时针为正。

Pelvis tilt：后仰为正。

Hip flexion/rotation：前屈为正。

Hip adduction/abduction：内收为正。

Knee flexion/rotation：前伸为正（大部分时候是负的）。

Ankle plantarflexion/dorsiflexion：以足与小腿垂直（静止站立）时为0，背屈（勾脚）为正。

Ankle adduction/abduction：内收为正。

文件说明

* **双足机器人SOLIDWORKS模型.zip**

双足机器人模型的原始版本（SOLIDWORKS 2024）。主装配体文件为test.SLDASM。

* **双足机器人\_下肢\_线图.png**

用于DH参数标记。

* **双足机器人OpenSim模型.zip**

前面双足机器人SW模型的简化版本，其中.osim文件可通过OpenSim 4.x打开和显示。

* **材料清单.png**

机器人的BOM清单，包括电机、传感器以及其他软件（开关、接口等）的数量、型号、品牌等信息。

附录：机器人各结构质量和惯量

各子结构的名字（如HAT、HAT-pelvis）与SOLIDWORKS模型文件中的子装配体名称对应。在做DH参数分析和运动学、动力学建模时，每个子结构视为一个刚体，机器人本体的自由度定义为子结构与子结构之间的相对运动。

这部分可以列表体现。

* HAT

质量 = 28.97239810 千克

惯性张量: ( 千克 \* 平方米 ) 由重心决定，并且对齐输出的坐标系。 （使用负张量记数法。）

Lxx = 0.77505493 Lxy = -0.00000090 Lxz = -0.00000019

Lyx = -0.00000090 Lyy = 0.42864770 Lyz = 0.00323226

Lzx = -0.00000019 Lzy = 0.00323226 Lzz = 0.56585959

* HAT-pelvis

质量 = 1.51060446 千克

惯性张量: ( 千克 \* 平方米 ) 由重心决定，并且对齐输出的坐标系。 （使用负张量记数法。）

Lxx = 0.00099385 Lxy = 0.00000926 Lxz = -0.00000385

Lyx = 0.00000926 Lyy = 0.00119054 Lyz = -0.00011617

Lzx = -0.00000385 Lzy = -0.00011617 Lzz = 0.00097228

* Pelvis

质量 = 13.72490358 千克

惯性张量: ( 千克 \* 平方米 ) 由重心决定，并且对齐输出的坐标系。 （使用负张量记数法。）

Lxx = 0.01238805 Lxy = 0.00002116 Lxz = 0.00000220

Lyx = 0.00002116 Lyy = 0.01076573 Lyz = -0.00003083

Lzx = 0.00000220 Lzy = -0.00003083 Lzz = 0.00950410

* Pelvis-thigh-l

质量 = 1.63923188 千克

惯性张量: ( 千克 \* 平方米 ) 由重心决定，并且对齐输出的坐标系。 （使用负张量记数法。）

Lxx = 0.00181837 Lxy = -0.00000343 Lxz = -0.00000416

Lyx = -0.00000343 Lyy = 0.00136029 Lyz = 0.00000174

Lzx = -0.00000416 Lzy = 0.00000174 Lzz = 0.00104874

* Pelvis-thigh-r

质量 = 1.63923188 千克

惯性张量: ( 千克 \* 平方米 ) 由重心决定，并且对齐输出的坐标系。 （使用负张量记数法。）

Lxx = 0.00182541 Lxy = -0.00000343 Lxz = -0.00000724

Lyx = -0.00000343 Lyy = 0.00136734 Lyz = 0.00000930

Lzx = -0.00000724 Lzy = 0.00000930 Lzz = 0.00104874

* Thigh-1-r

质量 = 1.68712357 千克

惯性张量: ( 千克 \* 平方米 ) 由重心决定，并且对齐输出的坐标系。 （使用负张量记数法。）

Lxx = 0.00176230 Lxy = 0.00011086 Lxz = -0.00001003

Lyx = 0.00011086 Lyy = 0.00151983 Lyz = -0.00000530

Lzx = -0.00001003 Lzy = -0.00000530 Lzz = 0.00175026

* Thigh-1-l

质量 = 1.68712357 千克

惯性张量: ( 千克 \* 平方米 ) 由重心决定，并且对齐输出的坐标系。 （使用负张量记数法。）

Lxx = 0.00176230 Lxy = 0.00011086 Lxz = -0.00001003

Lyx = 0.00011086 Lyy = 0.00151983 Lyz = -0.00000530

Lzx = -0.00001003 Lzy = -0.00000530 Lzz = 0.00175026

* Thigh-2-r

质量 = 1.82853010 千克

惯性张量: ( 千克 \* 平方米 ) 由重心决定，并且对齐输出的坐标系。 （使用负张量记数法。）

Lxx = 0.00289256 Lxy = -0.00000998 Lxz = -0.00000454

Lyx = -0.00000998 Lyy = 0.00147387 Lyz = -0.00003924

Lzx = -0.00000454 Lzy = -0.00003924 Lzz = 0.00336304

* Thigh-2-l

质量 = 1.82853010 千克

惯性张量: ( 千克 \* 平方米 ) 由重心决定，并且对齐输出的坐标系。 （使用负张量记数法。）

Lxx = 0.00291013 Lxy = 0.00000979 Lxz = 0.00000345

Lyx = 0.00000979 Lyy = 0.00149501 Lyz = 0.00004003

Lzx = 0.00000345 Lzy = 0.00004003 Lzz = 0.00340175

* Shank-r

质量 = 2.16051719 千克

惯性张量: ( 千克 \* 平方米 ) 由重心决定，并且对齐输出的坐标系。 （使用负张量记数法。）

Lxx = 0.01184776 Lxy = 0.00000143 Lxz = 0.00000090

Lyx = 0.00000143 Lyy = 0.00246936 Lyz = 0.00080482

Lzx = 0.00000090 Lzy = 0.00080482 Lzz = 0.01169442

* Shank-l

质量 = 2.16051719 千克

惯性张量: ( 千克 \* 平方米 ) 由重心决定，并且对齐输出的坐标系。 （使用负张量记数法。）

Lxx = 0.01184964 Lxy = -0.00000211 Lxz = 0.00000145

Lyx = -0.00000211 Lyy = 0.00247261 Lyz = -0.00085779

Lzx = 0.00000145 Lzy = -0.00085779 Lzz = 0.01169203

* Foot-r

质量 = 0.61547446 千克

惯性张量: ( 千克 \* 平方米 ) 由重心决定，并且对齐输出的坐标系。 （使用负张量记数法。）

Lxx = 0.00033330 Lxy = 0.00012595 Lxz = -0.00004119

Lyx = 0.00012595 Lyy = 0.00115859 Lyz = 0.00000631

Lzx = -0.00004119 Lzy = 0.00000631 Lzz = 0.00115399

* Foot-l

质量 = 0.61547446 千克

惯性张量: ( 千克 \* 平方米 )

由重心决定，并且对齐输出的坐标系。 （使用负张量记数法。）

Lxx = 0.00033330 Lxy = 0.00012595 Lxz = 0.00004119

Lyx = 0.00012595 Lyy = 0.00115859 Lyz = -0.00000631

Lzx = 0.00004119 Lzy = -0.00000631 Lzz = 0.00115399