

# **MoCo-12 四足机器人 缩比模型系列教程1**

华北舵狗王

2020/2/5

# 教程规划

- **缩比模型介绍**
- **缩比模型结构设计**
- **缩比模型加工与组装**
- **缩比模型电气与控制器设计**
- **模型步态与算法设计**
- **模型配件与静态场景设计**

# 缩比模型对象

- YanRan Ding 伊利诺伊大学厄巴纳



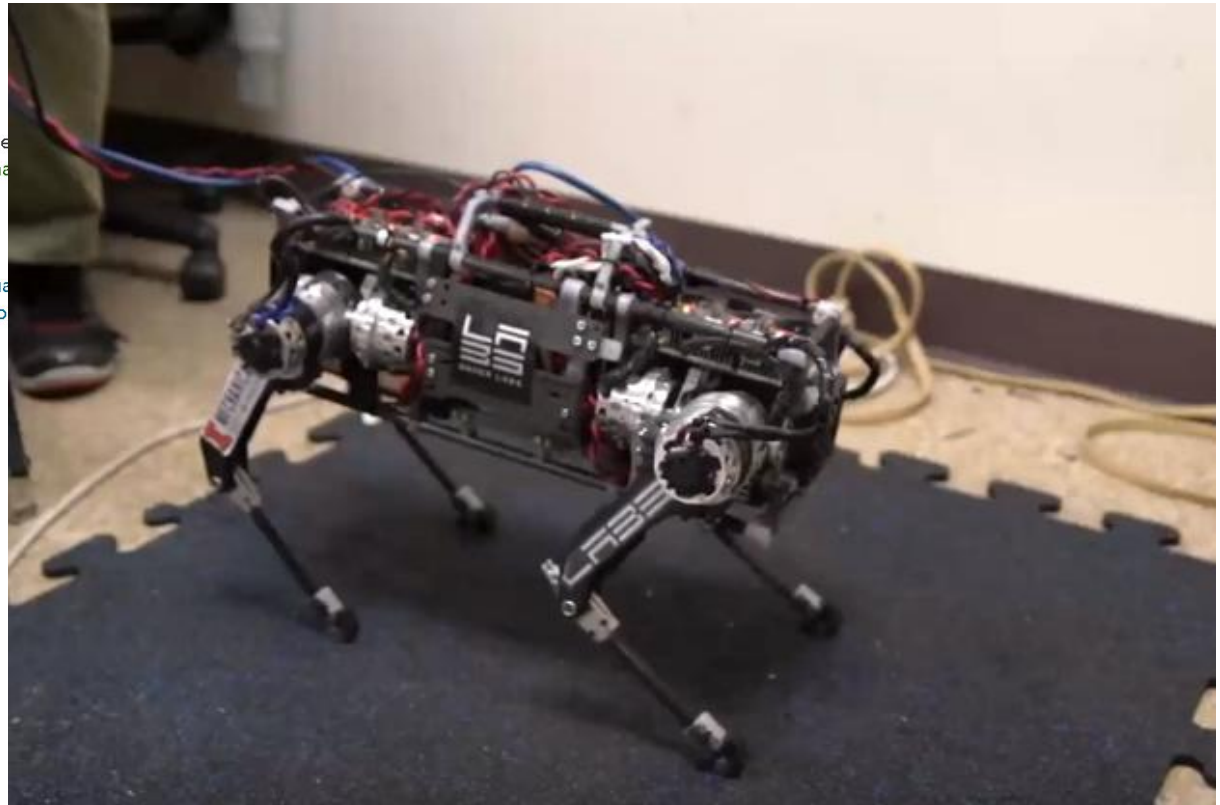
Yanran Ding 

**Affiliation**

department of Mechanical Science  
University of Illinois at Urbana-Champaign  
IL, 61801, USA

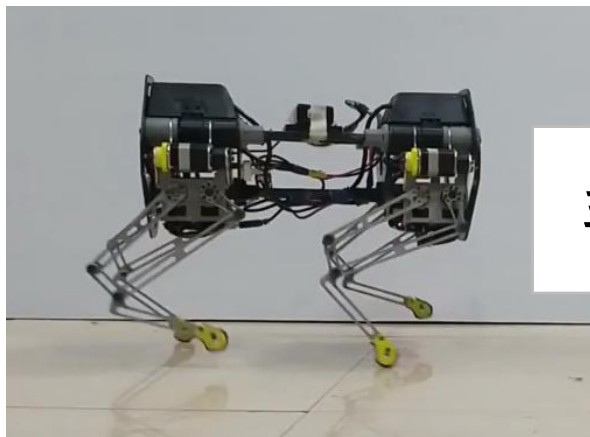
**Publication Topics**

legged locomotion, actuators, quasi-static  
approximation theory, convex programming



<https://www.youtube.com/watch?v=rzFrpeMpv8M>

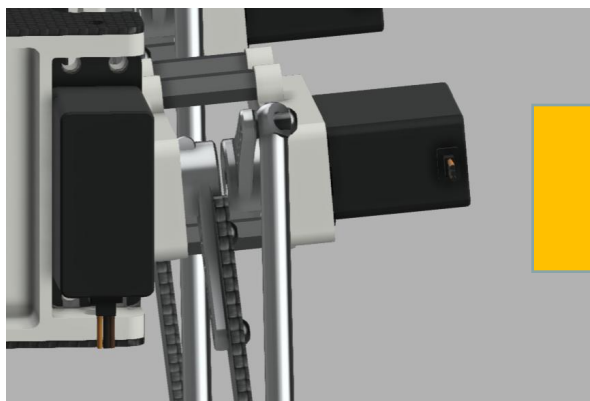
<https://ieeexplore.ieee.org/author/37086268690>



主机架碳管



“背靠背”跨  
关节结构



并联连杆



Martin Triendl

791位订阅者



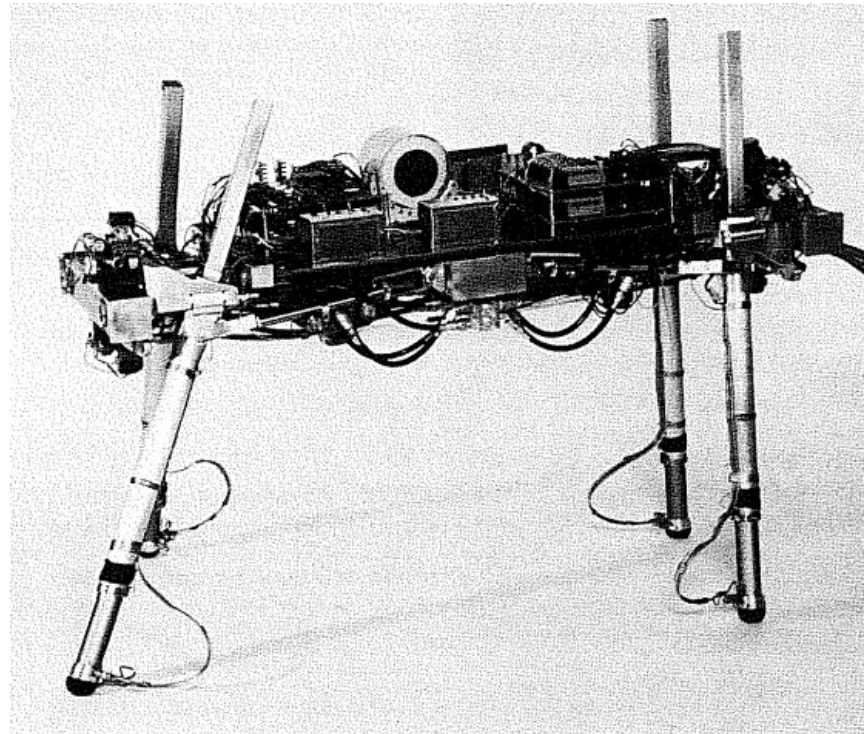
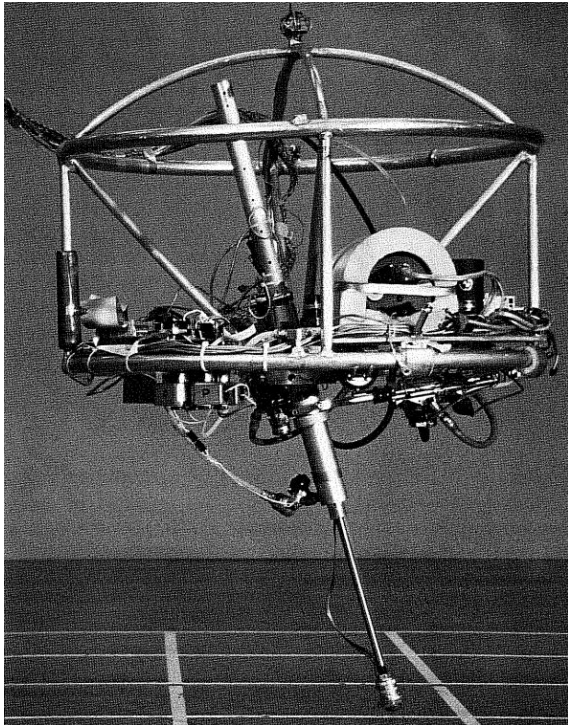
小腿舵机侧装

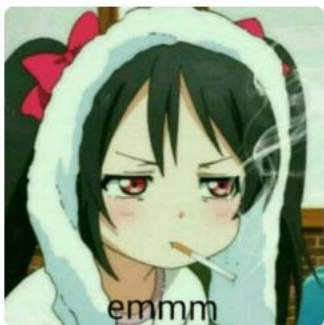


小腿舵机嵌入

# 四足经典算法介绍

- Marc Raibert 三通道解耦控制  
经典书籍 《Legged Robots That Balance》





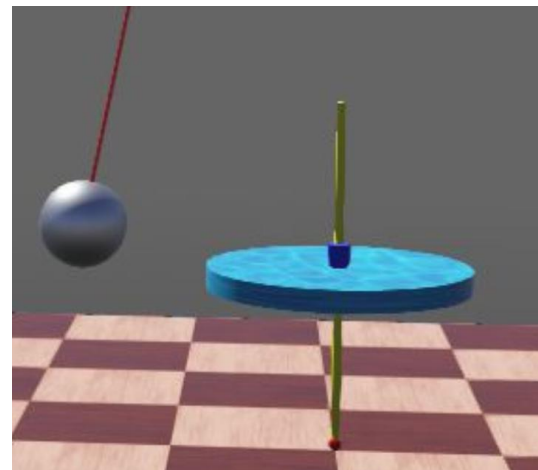
xyYu 我有一家动物园我开了六七年

👤 科研

♂

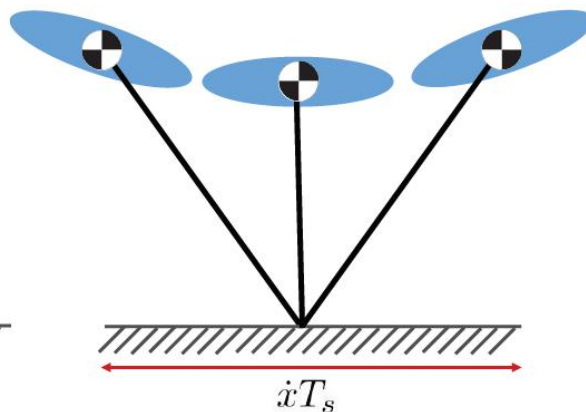
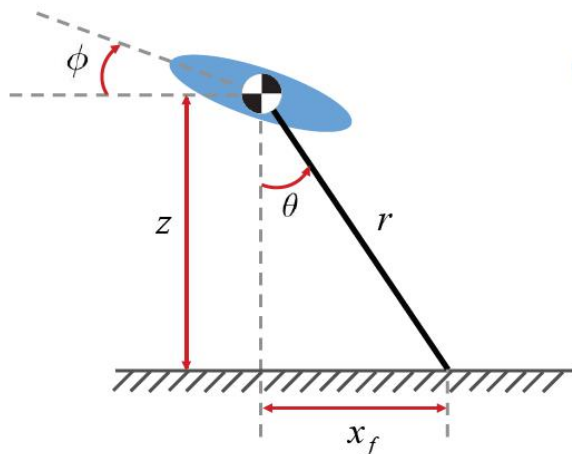
✓ 查看详细资料

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/97377338>



刚体控制

忽略腿部质量

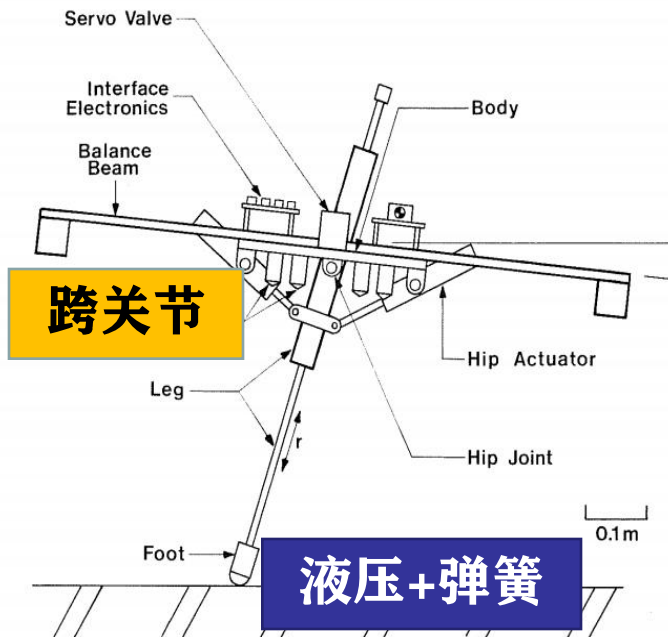


落足点选择+步态相序规划+虚拟伺服力控



legged robot that balance  
扫一扫二维码，加入该群 @xyYu





golaced/MocoMoco\_Software

[github.com](https://github.com/golaced/MocoMoco_Software)



俯仰角

弹跳高度

速度

**姿态调节:**

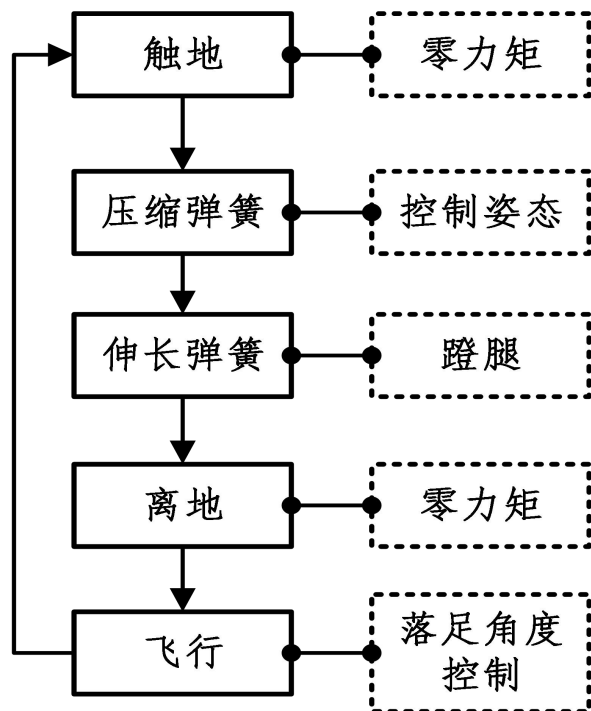
在支撑相中控制跨关节扭矩实现对姿态角的调节

**弹跳高度:**

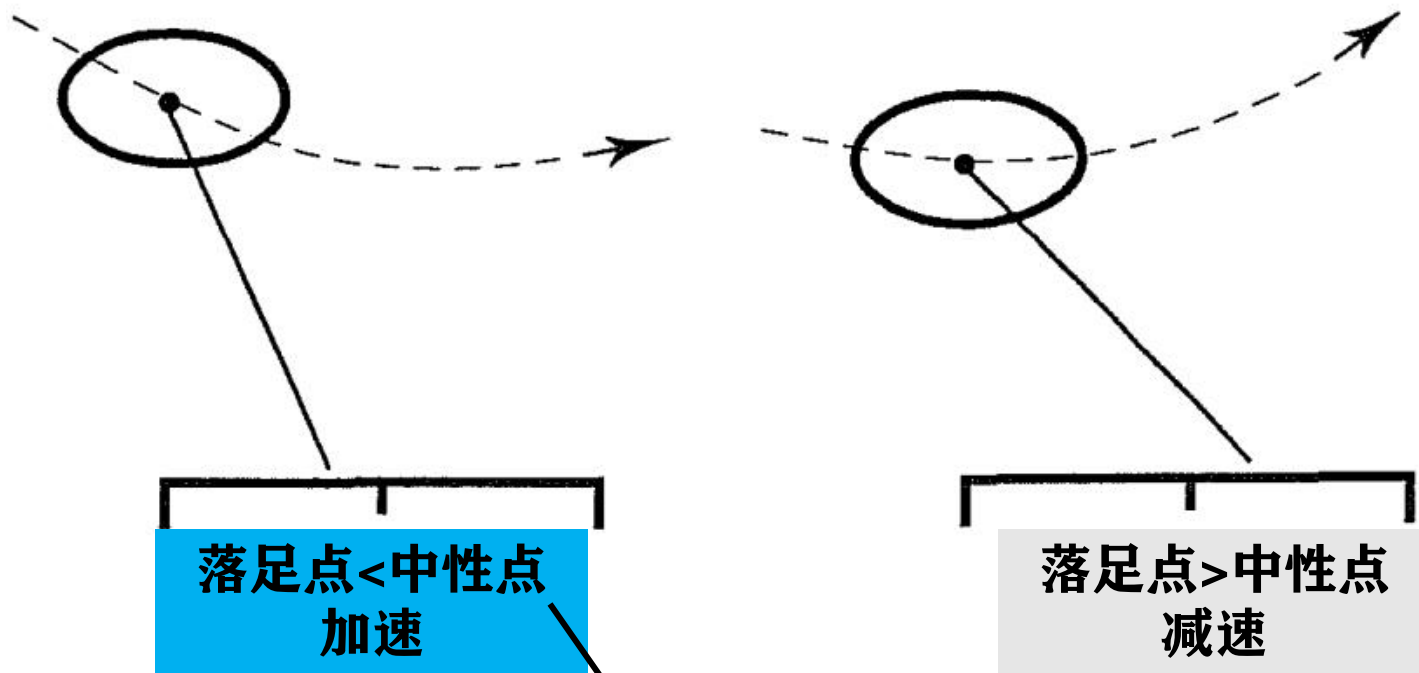
压缩伸长弹簧，弹簧行程与刚度关系等效能量补偿，抵消重力的基础上提供飞行所需重力势能，实现高度调节

**前进速度:**

飞行过程中无前向加速度，通过调节落足点与中性点的偏差在支撑过程中产生前后加速度实现速度的控制



# 核心理念：速度控制→落足点控制



误差PD控制

$$x_f = \frac{\dot{x}T_s}{2} + K_p(\dot{x} - \dot{x}_d)$$

缺少支撑相力控制



速度控制效果差



## 两个关键问题：

1. 落足点规划需要机器人精确的状态反馈
2. 伺服力控需要机器人精确运动学参数

$$x_f = \frac{\dot{x}T_s}{2} + K_p(\dot{x} - \dot{x}_d)$$

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = J \cdot F^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \theta_1} & \frac{\partial z}{\partial \theta_1} \\ \frac{\partial x}{\partial \theta_2} & \frac{\partial z}{\partial \theta_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_z \end{bmatrix}$$

## 需要的基本知识：

### 1. 机器人动力学和运动学知识

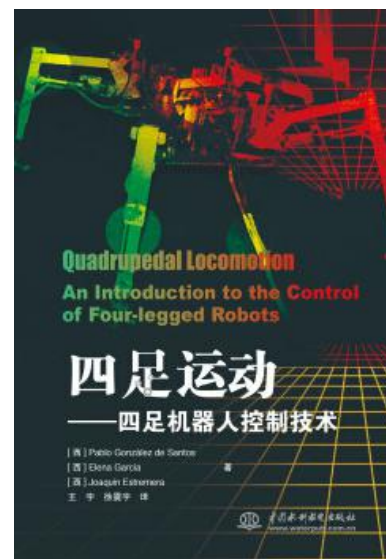
- 1) 正解逆解（DH坐标系法，数值法）
- 2) 机器人力控原理，雅克比矩阵求解
- 3) 阻抗控制原理

### 2. 控制理论

- 1) PID控制原理
- 2) 数据融合算法（Kalman滤波）

### 3. 软件工程

- 1) 基本的编程语言
- 2) 嵌入式开发环境



# 模型主体结构设计

- 使用工具：SolidWorks2018

视频教程：<https://www.bilibili.com/video/av41652358?p=16>

- 主要工具：

- 1) 拉伸
- 2) 切割
- 3) 圆角、倒角
- 4) 镜像
- 5) 装配

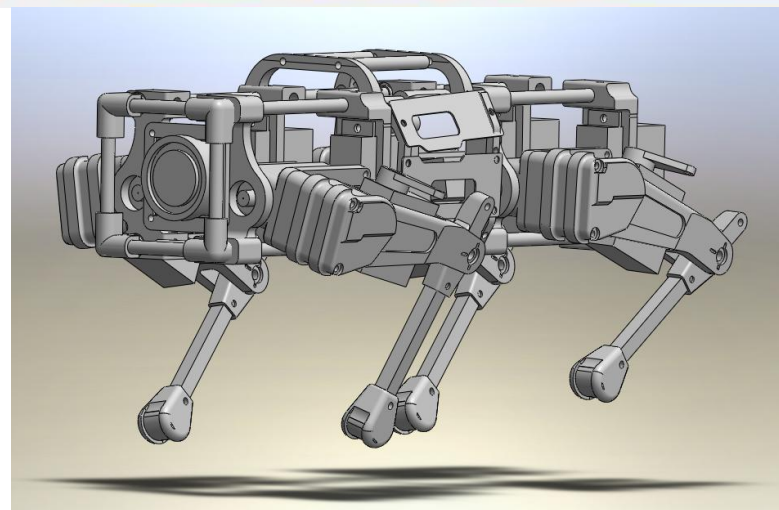
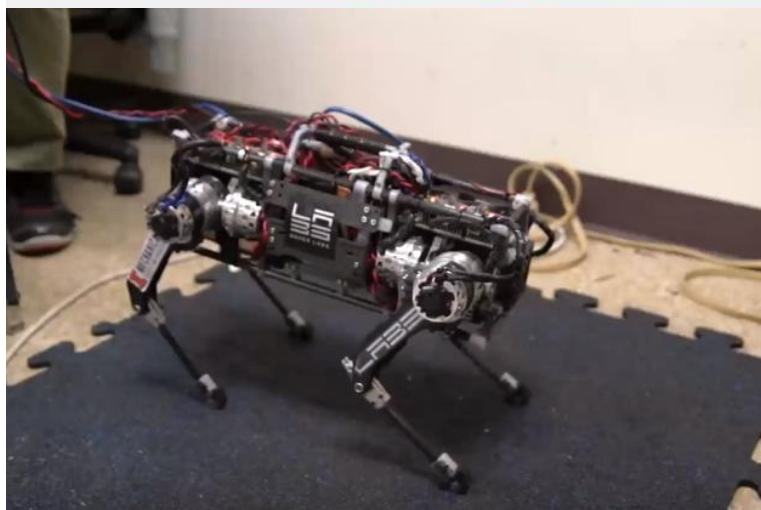
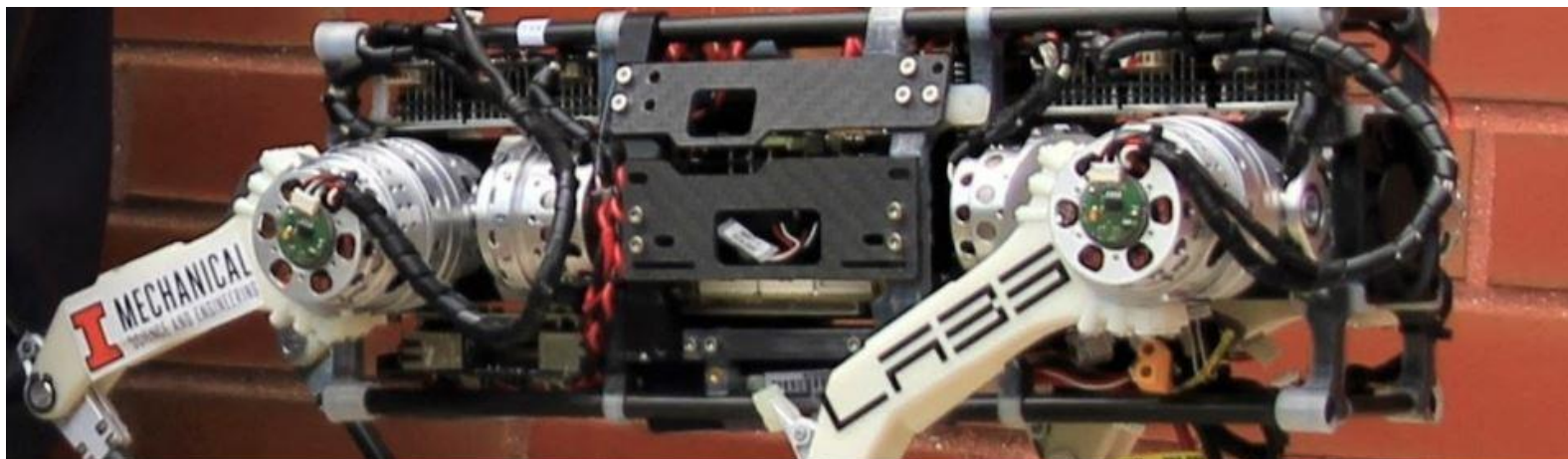
- 加工设备：3D打印机



大昆打印机



晶格热床 玻璃板



### 购置材料:

- 1) 碳管
- 2) 模型上色工具
- 3) 18650电池
- 4) 舵机

- 5) 舵机连杆
- 6) 树莓派
- 7) 摄像头
- 8) 减震软垫





测试参数 Bench tests reported values			
电压 Test Voltage	6.0V	7.4V	8.4V
速度 Speed	0.12sec/60°	0.10sec/60°	0.08sec/60°
扭力 Torque	6.0Kg. cm	6.8Kg. cm	7.5Kg. cm
Fast continuous operating current	400mA	500mA	600mA
快速持续工作电流			
堵转电流 Stall current	1200mA	1350mA	1500mA
死区 Dead Band Width	2μ		

PWM舵机

总线舵机

- 1) 速度快
- 2) 扭矩大
- 3) 钢齿
- 1) 无法卸力
- 2) PWM精度
- 3) 无反馈

- 1) 有反馈
- 2) 软件卸力
- 1) 速度慢
- 2) 需节点模块

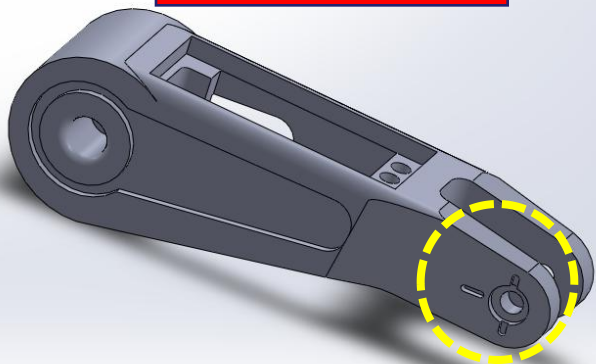
高达马克笔



高达模型涂装: <https://www.bilibili.com/video/av54853365>

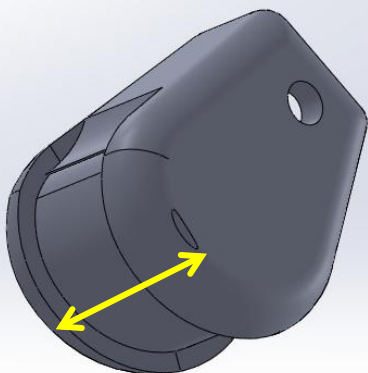
# 关键部件建模要领

大腿小腿



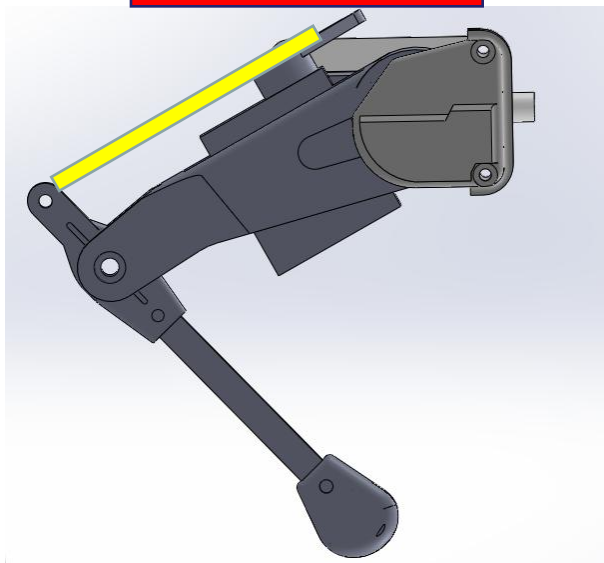
- 1) 小腿固定卡槽需要紧密放置虚位引起的足端误差
- 2) 大小腿长度需要兼顾舵机扭矩 $1\text{kg/cm}$ 约等于 $0.1\text{N/m}$
- 3) 舵机和摇臂固定牢固减少关节角度控制误差
- 4) 减少大小腿间机构摩擦，降低舵机负载

足底



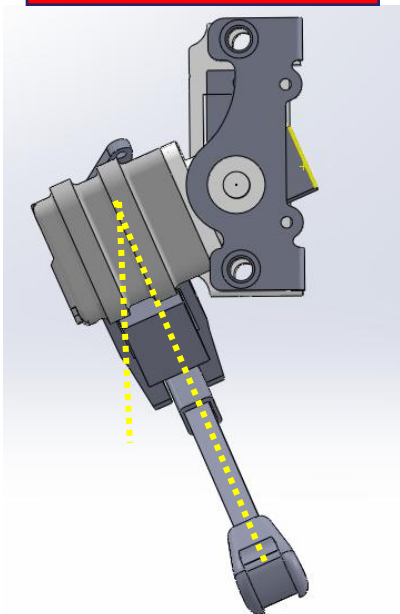
- 1) 足底需要具有较大的宽度以提高步态稳定性
- 2) 足底需要具有一定的缓冲性能，减小落足冲击对IMU数据融合带来的加速度尖峰
- 3) 足底具有较高的摩擦力，由于舵狗为开环控制，机器人速度控制反馈如在打滑的情况下会出现失真

## 连杆机构



- 1) 连杆传动固定牢固，减少小腿足底由于安装误差引起的虚位
- 2) 连杆末端与舵机摇臂平行度好，以减少摇臂角度与小腿角度间的非线性关系

## 跨关节固定



- 1) 跨关节固定尽量保证与大小腿旋转关节同轴，减低运动学解算的复杂度
- 2) 侧摆角度具有限位保护，侧摆角度范围在 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$  间
- 3) 减少固定间与侧摆机构的摩擦力，降低侧摆运动阻力