

## Design and Gait Analysis of Biped Walking Cross-legged Robot

Jin LIU Miao SONG Daixin YANG

North China Electric Power University, Beijing, 102206

### Abstract

The cross-legged robot in this paper adopts the serial bus steering control board, which can control six serial bus steering machines as hip, knee and ankle joints driving at the same time, and control the robot to complete various actions. In the absence of elastic connectors and wireless sensors, its structure is optimized. Its main functions include: through forward and backward flip and forward action in the width of 1 m, 6 m long range of the venue to complete the required action and walk the entire process.

The contents of this paper include: the control of the steering gear, the design of the overall structure of the robot through the FUSION360 modeling, the selection of materials, the gait design and planning of the robot based on ZMP principle, and the execution of the corresponding actions, and the complete journey in the shortest possible time.

### Key Words

STM32, Serial Port Steering Machine, Front and Back Turn, Walk, Track

DOI:10.18686/jsjxt.v1i2.669

## 双足竞步交叉足机器人的设计和步态分析

刘金 宋森 杨岱鑫

华北电力大学, 北京, 102206

### 摘要

本文中的交叉足机器人采用串形总线舵机控制板, 可同时控制六个串行总线舵机作为髋、膝、踝关节驱动, 控制机器人完成各种动作。在没有使用弹性连接件和无线传感器的条件下, 对其结构进行优化设计。其实现的功能主要包括: 通过前后翻和前进动作在宽 1m, 长 6m 的场地范围内完成规定动作并走完全程。

本文内容包括: 舵机的控制, 通过 FUSION360 建模对机器人的整体结构设计, 材料选择, 基于 ZMP 原理实现机器人的步态设计与规划并执行相应动作, 并在在尽可能短的时间内走完全程。

### 关键词

STM32; 串口舵机; 前后翻; 行走; 轨迹

### 1. 引言

双足机器人作为高新技术产物的代名词, 其技术是感知、决策和行动的相互支撑与配合。双足机器人设计一共包含五大重要的模块, 动作设计及优化技术、机械结构及材料设计、计算机软硬件技术和模型分析, 其机械结构作为最重要的根本设计具有不可撼动的地位。双足机器人可以给我们带来极大的便利和帮助, 如复杂地形环境下的机动性任务或智能服务。本文设计的交叉足机器人主要研讨机器人的下肢构造部分, 主要结构包括顶部(头部)结构、双腿结构、脚底板和连接件。本文首

先介绍机器人的机械构造的设计方法和步骤, 然后介绍相关的软硬件的实现, 最后研究了步态规划, 经过反复实验验证了所设计机器人的结构合理性和动作规划科学性。

### 2. 机械结构设计

结构整体上采用仿生学设计, 整体结构 6 自由度, 自由度方向均与运行方向正交。

#### 2.1 腿部设计

腿部结构基于人体结构件简化设计,各腿部分结构长度比例与人体结构高度耦合。

其中膝盖关节运行范围最大在  $270^\circ$ , 大腿根部关节为  $120^\circ$ , 踝关节为  $110^\circ$ 。在舵机的设置上, 输出轴均在腿部外侧, 从动轴在内侧, 输出轴需同侧保证动作的流畅动作。

## 2.2 顶部“身体”设计

顶部结构首先采用亚克力材质, 经实验发现亚克力板对于平衡性影响较大, 由于重心作用会产生较大弹性形变, 对于支架较高的机器人来说这种影响会被放大。为解决弹性形变问题, 之后选择一种硬度较高的钢板, 强度大大增加, 但是受限于工艺水平, 加工的钢板厚度较大导致机器整体头重脚轻, 虽然对于整体平衡性有了一定的改进, 但是对于舵机的承重磨损较大, 所以还有改进空间。最终找到了一种轻型碳纤维材质顶板, 同时对顶板尺寸给予了改进措施, 通过试验对腿间距找到了合适的平衡点。

初始顶部身体宽度为 20cm, 两脚宽度为 7cm, 在后续的研究中为使步伐边长缩短单步时间增大了脚底板距离, 脚底板距离增加, 交叉足长度需同比例增加, 所以顶板两腿宽度扩大至 13cm。

## 2.3 顶部支撑架设计

顶部支撑架主要目的是满足机器人翻跟头的结构要求, 支撑架上大下小, 支撑结构更加稳定, 侧面为梯形且有镂空部分, 减轻机器人重量。

## 2.4 脚底板设计

脚底板主体采用亚克力材质, 同时增加一层橡胶增大静摩擦。材料选取对动作组的影响相对较小, 取而代之的是脚板的结构设计。单方面考虑机器人整体尺寸对脚底板尺寸增加的需求, 接着通过结合 ZMP 原理和减少脚板主体宽度来换取交叉足部分的长宽增加来增加稳定性, 带来了可观的预期。

## 2.5 支架和其他连接件

支架材料主要以 U 型铝合金支架配合中间件与舵机连接。在顶板下方放电池, 上方放置控制板, 而且一定要放在中间, 避免不必要的平衡性影响。

## 3. 硬件设计

### 3.1 舵机

我们考虑需要使用较大扭力的舵机, 要求舵机之间通过双接口进行上下串联。而普通的交直流电机在开环系统下精度达不到理想的要求, 因此我们选择 LX-224 型号的舵机, 舵机模式下可旋转  $240^\circ$ , 减速模式下可旋转  $180^\circ$ 。每个舵机都可以设置 ID 号识别。控制器与舵机之间采用通用异步收发传输器通讯, 波特率 115200。

本设计共使用 6 个舵机, 分别扮演人的髋、膝、踝关节的角色, 其主要原理是使用线性比例电位器检测位置, 将转角坐标转换成比例电压反馈到控制单元。控制单元校正后驱动电机向前或向后转动, 达到精确定位的目的。

### 3.2 主板

以 ARM 架构的以 Cortex-M3 为核心的 STM32 单片机, 可以很好的兼容 LX-224 舵机。有较大容量的内存, 可最多可写入 510 个动作组, 时钟频率为 72 MHz。

### 3.3 电源

2200mAh 容量的锂电池, 使用电压应维持在 5.6V~8V 之内, 否则充放电会影响电池寿命, 进一步影响机器人的功能和稳定性。

## 4. 软件设计

### 4.1 舵机复位

首先复位舵机表示使机器人回到初始直立状态, 默认角度是 500。舵机操作一共分为两个部分, 一是调整动作角度的滑竿, 也可通过编辑框进行微调, 范围是 0~1000; 二是偏差调节功能, 主要用于舵机的复位角度的读取和写入。

### 4.2 舵机调节

通过对舵机的角度调节可以形成一个动作组, 在马达掉电的条件下进行角度回读, 结果按读取先后顺序显示在动作组列表里, 同时可以随时修改删除和增加, 也可以设置动作完成时间, 即舵机速度, 当完成一组动作组的记录后, 可以在线运行进行调试, 观察运行结果随时做出调整, 最后可以将调试好的动作组保存成为 .rob

文件，文件动作组之间可以直接进行串联。

### 4.3 脱机运行

将调试好的动作组文件，接着下载到主板中并脱机运转。

## 5. 步态归规划

双足步行机器人的步态设计是步行过程中各动作的轨迹步态设计，比如脚底离开地面时的动作、摆动时的脚部在空中的动作、重心的移动动作、着陆时间和着陆地点等。步态设计轨迹必须满足零矩点稳定条件，即重心轨迹的投影应该始终都保持在支撑面内。

### 5.1 要解决的问题

主要研究结果如下：

(1) 保证机器人的稳定性。由于各个关节间运动的相互协调的高耦合度，以及机器人本身的较少的自由度，这对于设计出符合 ZMP 的理想运行轨迹有一定难度。

(2) 保证机器人不会与环境发生碰撞或产生不必要的摩擦，从而导致机器人步行发生较大偏差而无法达到预定的轨迹。

### 5.2 步态规划方法

如今已知的步态布局措施共有三种，分别是基于实验的规划措施，基于能量原理的规划措施和基于机械稳定性的规划措施，这里主要介绍最后一种方法。有两种实现方式。

(1) 首先计算设计出实验条件下的 ZMP 轨迹，而后推导出各关节的运动函数以完成理想的步行。

(2) 首先大致规划出脚和躯干的运动轨迹，而后进行 ZMP 计算，并选择最佳鲁棒性的结果作为控制方程。

其中第二种方法从实践的角度考虑可以更高效地得到规划结果。在维持其基本性能下却大大减少了工作量，它联合了逆运动学规划，对于机器人步态的参数化设计大有帮助。

### 5.3 步行过程

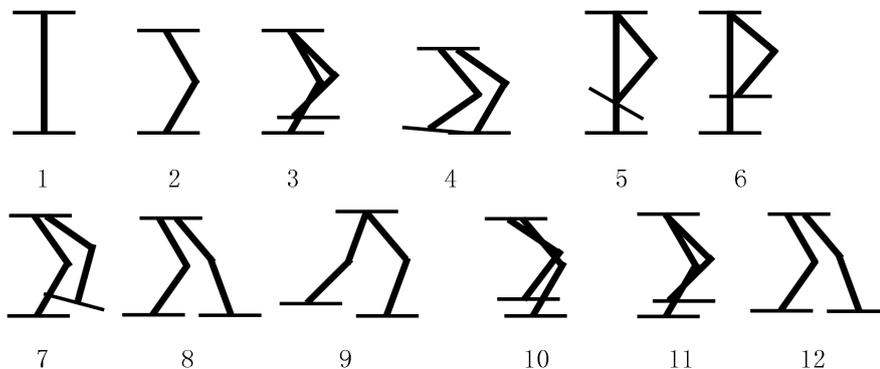


图 1

双足步行机器人步行过程中应该首先确定踝关节和髋关节的运动轨迹，最后确定膝关节的运动轨迹。当脚完全落地时，膝关节仅由步幅确定，而步幅和速度仅能确定髋关节的轨迹。

单脚支撑和双脚支撑互相交替，腿的支撑需要一定

的时间来确保 zmp 点从后脚移动到前脚，虽然自由度较少，但必须以此来提高机器人平衡性和稳定性。当机器人以图中步态行走时，其脚的着陆标记彼此平行。

### 5.4 前翻过程

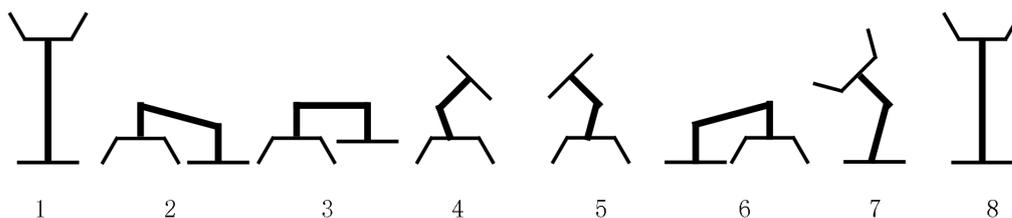


图 2

前翻过程的前提是要确保机械结构的一致性和双腿动作的对称性。脚着陆时要保持平行, 以免产生不必要的摩擦从而使误差增大, 选择落地点的位置应不能离当前着地点太远, 以免重心失衡。

## 6. 结束语

硬件电路确定机器人的结构的合理性, 软件部分的步态研究确定控制的科学性。机械结构是机器人稳定性设计的最重要的组成部分。

经过机器人的机械结构设计, 以及之后的动作调试与优化, 尽可能高效地执行了机器人的已设置好的动作。但还存在一些调试过程中诸如伺服抖动的问题, 这时候有必要及时检查以确定是否存在软件问题或硬件问题。在试运行过程中, 由于信号传递和接收不稳定或者零部件故障, 机器人可能并不会依照预定动作组执行规定动作, 结果对舵机的损坏更严重。首先查看机器人整体构造是否出现问题, 比如松动或者断线, 对于肉眼无法辨别的问题首先用电压表测量电源电压是否在指定范围内, 可以进行适当的充放电措施, 否则应检查舵机是否有问题。此外还有许多问题有待进一步研究和改进。

(1) 为了对机器人重心有更精确的调正和把握, 可以在机器人的上半身上安装陀螺仪以提高姿态控制精度。

(2) 配备图像传感器来判断地面状况, 用红外传感器判断障碍物等能提高机器人的环境适应能力。

(3) 改进电源使其体积小, 容量大, 重量轻也是需要解决的问题。

(4) 改善机器人结构的材料使其轻巧, 强度高且廉性能进一步降低成本并提高其结构稳定性。

基于人工智能的机器人视听功能具有很高的研究价值。

## 参考文献

- [1]王高亮,王辉辉,王强,孙晓红.交叉足步行机器人设计[J].智能计算机与应用,2018,8(06):153-157.
- [2]高海峰,赵卫军,吴少华.类人机器人技术研究现状[J].机床与液压,2017,45(21):164-172.
- [3]偶晓飞.交叉足印双足机器人的设计与实现[J].仪表技术,2016(02):9-13.
- [4]唐瑜谦.一种交叉足竞走机器人机械结构的设计与研究[J].价值工程,2018,37(08):148-149.
- [5]崔庆权,尹逊和,唐瑜谦.一种竞赛型双足竞步机器人设计与研究[J].电子测量技术,2015,38(11):96-99.