

双足行走机器人的结构设计

左紫蕾¹ 魏帅琪²

扬州大学机械工程学院 江苏扬州 225000; 扬州大学 江苏扬州 225000

[摘要] 本论文主要介绍一种基于3D打印技术的中型双足行走装置的结构设计。该中型双足机器人命名为 GTX-1 型机器人, GTX-1 由机器人本体结构和上位机控制系统组成, 其中机器人本体的机械结构, 采用以 PLA 为原料的 3D 打印机制作而成。GTX-1 拥有 19 个自由度, 可以基本模拟人的行为动作。因为采用了 3D 打印技术, 具有成本低廉、便于改进和制作一些较为复杂的空腔零件的诸多优势; 硬件控制系统采用基于 ARM 的控制板, 具有稳定可靠、扩展性强等优点; 上位机控制系统采用的是图形化编程, 简单便捷且能够基本完成远程控制、步行、舞蹈、语音等功能。

[关键词] 双足行走装置; 结构设计; 3D 打印; SolidThinking Inspire

1. GTX-1 型机器人身体结构设计

1.1 引言

在参考了众多参考文献后, 设计制作了一台命名为 GTX-1 型的新型双足机器人。首先介绍的是 GTX-1 型双足机器人样机的结构设计, 包括驱动方式的选择、自由度的配置和各主要关节结构设计尺寸等等。其次, 基于 SolidThinking Inspire 平台, 对 GTX-1 型双足机器人的主要部件进行质量最小化的优化设计。最后介绍有关 GTX-1 型双足机器人的身体结构参数和样机制作。

1.2 自由度的配置

根据课题要求, 需要根据认知人体的运动关节自由度。首先通过查阅相关的资料和观察人的运动, 将骨骼结构进行简化, 抽象成具体的机械结构, 然后配置相同或者相近的自由度。通过查询资料, 对人体的各个关节进行拆解、分析, 具体需要实现的关节有踝关节、膝关节、髋关节、肩关节、肘关节、腕关节以及头部的转动。

1.3 样机结构设计

本次设计采用比较常用的 SolidWorks 进行二维和三维建模设计。首先在设计之初, 考虑了采用黄金比例设计 GTX-1 样机的身体比例。应用时一般取 0.618, 就像圆周率在应用时取 3.14 一样。按一定的人体比例, 配合采购大零件尺寸, 然后取整后得到大概的身体尺寸方案。

1.3.1 GTX-1 型机器人样机头部设计

根据设计要求以及自由度的配置, 头部需要搭载视觉采集装置且需要实现至少自由度(一个绕 Z 轴方向的转动)。便于实现拟人化的头部转动, 以及预留一定嘴部空间便于改进, 实现嘴部的张合。眼部采用镂空设计, 便于搭载视觉设备。外观设计采用防钢铁侠的头盔设计, 采用曲面建模, 通过 3D 曲面草图曲面放样得到。整体由三个零件构成, 头后盖、面罩和头部连接件。

1.3.2 GTX-1 型机器人样机胸腔结构设计

首先参考人类的胸腔, 胸腔结构采用模块化设计理念, 分成内胸腔和外壳。两者通过螺栓螺母连接, 在校核强度允许的情况下在做轻量化的设计。故在保留相同接口的情况下, GTX-1 型机器人可以搭载不同的型号的电池, 以便于适应不同的应用场合。外壳包括胸腔前壳, 后壳。其中前壳腔内需要搭载照明装置, 故预留有圆形的空位。

1.3.3 GTX-1 型机器人样机的手臂设计

肩关节: 具有两个自由度。

肘关节: 肘关节只要有一个绕 Y 轴的自由度即可。

腕关节: 采用了折中方案, 五指联动, 一个舵机驱动, 依靠具有一定韧性和弹性扎带作为手指的“肌肉”。考虑 3D 打印的材料和精度不足以制作精巧的手掌结构, 故考虑采用了定制轻质铝合金制作。

1.3.4 GTX-1 型机器人样机的腿部设计

髋关节: 首先从上往下, 髋关节的模拟设计, 有着绕 Y 轴和 X 轴两个方向的自由度, 依靠两个舵机驱动实现。

膝关节: 只有一个绕 X 轴的自由度, 只需要搭载一个舵机即可。选择将膝关节设计成 v 型的结构。

踝关节: 首先在满足两个方向自由度的情况下, 尽可能加强踝关节的刚度设计。

脚掌: 脚掌需要支撑整个机器人的重量, 且需要一定的宽度, 便于机器人调换左右重心, 模拟人类的行走。经过实物实际试验反馈得知, 转为大脚掌设计。

1.4 GTX-1 型机器人样机的制作以及关节限位角度

1.4.1 加工方式的选择以及材料的确定

GTX-1 型样机的制作主要依靠实验室已有的桌面级的 3D 打印机。确定选用 PLA 材料制作。

1.4.2 关节限位角度表

主要包括: 踝关节、膝关节、髋关节、肩关节、肘关节、腕关节以及头部的转动等关节的安全限位角度。主要依据舵机中位位置为角度的原点, 表 1-1 是具体参数。

表 1-1 关节角度限位表

序号	关节	最大角度	最小角度
1	脖子	+90	-90
2	肩关节 1	+90	-90
3	肩关节 2	+90	-90
4	肘关节	+90	-90
5	腕关节及手	+30	-20
6	髋关节 1	+90	-30
7	髋关节 2	+30	-90
8	膝关节	+60	-60
9	踝关节 1	+60	-60
10	踝关节 2	+30	-60

2. GTX-1 型机器人的步态规划

2.1 步态角度的计算

重心横向移动时, 单腿 5 自由度中只使用 2 自由度, 屈伸时使用 3 自由度。

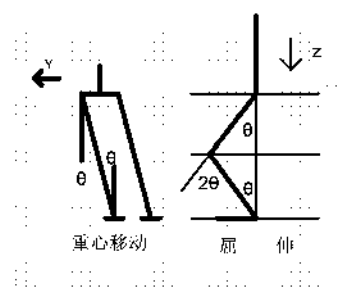


图 2-1

如上图 2-1 所示, 重心移动的情况下, 腰的部分只移动 Y_{mm} 时的 θ 可以通过下列公式求得; 假设脚的长度是 $2L$,

$$\theta = \arcsin(y/2L) \quad (2-2)$$

在右图曲伸的情况下,

$$\theta = \arccos\left(2L - \frac{z}{2L}\right) \quad (2-3)$$

脚前后方向运动时的计算方法, 以脚掌时刻保持与地面平行为前提。假设脚后跟位置的前后方向为 X , 上下方向为 Z , 这时只需要求各关节在 X, Y 位置的即可。假设 $L1=L2$ 。

在这种情况下, 我们也和屈伸的情况一样的考虑, 只要在线段 ab 上屈伸 L , 如何修正 θ 就行了。

h 的长度是:

$$h = \sqrt{x^2 - (2L - z)^2} \quad (2-4)$$

$L1=L2$ 时

$$\theta_1 = \arccos\left(\frac{h}{2L}\right) \quad (2-5)$$

$$\theta_2 = \arccos\left(\frac{x}{2L-z}\right) \quad (2-6)$$

假设关节的转角从上至下依次是 $\theta_a, \theta_b, \theta_c$, 那么

$$\theta_a = \theta_0 + \theta_1 \quad (2-7)$$

$$\theta_b = 2\theta \quad (2-8)$$

$$\theta_c = \theta_1 - \theta_0 \quad (2-9)$$

安装这些公式计算出来的结果便是各关节的角度, 可以通过简单的三角函数来表示。另外, 如图所示, 重心移动量 y 和腿的长度是已知的, 使用以上公式便可以计算出伺服电机的角度。

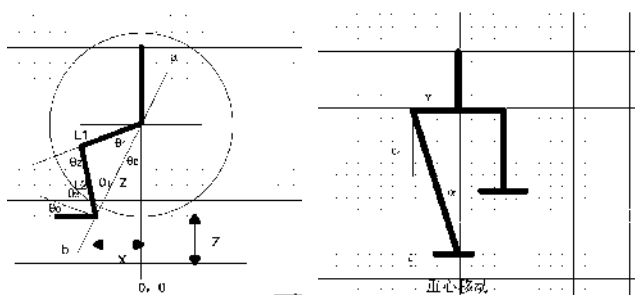


图 2-10

图 2-11

依据以上分析计算, 可以得到机器人的运动过程中需要变换的角度, 利用上位机软件可以进行动作编程。

3. 结语

双足机器人无论在工业, 还是在服务行业都寄托着人类的美好愿望。双足机器人模仿人类外形以及行为, 行走方式相较于轮式和履带式机器人, 更加灵活, 拥有更佳的复杂环境适宜能力; 相较于多足机器人, 体积紧凑, 功耗更低。因此, 起初双足机器人研究重点是其基本行走能力, 之后研究重点稳定运动控制上。

参考文献:

- [1] 张照婷, 胡心悦, 陶蕾, 张佳宁 双足步行机器人设计 [J], 机械研究与应用, 2017.
- [2] 孔令文 双足机器人步态稳定控制系统设计 [D] 吉林大学 2018.6
- [3] 任超 双足步行机器人设计与控制 [D] 辽宁工程技术大学 2010.10
- [4] 冯光鹏 双足步行机器人本体设计 [D] 辽宁工程技术大学 2010.12
- [5] H. Ercan and P. Boyraz, "Design of a modular mobile multi robot system: ULGEN (universal-generative robot)," 2016 Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems (ACIRS), Tokyo, 2016, pp. 8-15. doi: 10.1109/ACIRS.2016.7556179
- [6] 何乙琦 舵机控制步行机器人系统设计 [D] 南京理工大学 2012.11
- [7] 赵南琪 竞赛用双足机器人整机设计与步态规划仿真 [D] 江西理工大学 2017.05.21

(上接第171页)

社会前沿”等, 都可基于互联网技术及手机 APP 实现, 例如某星集团推荐高校免费应用的一款教学 APP, 即可有效实现。“互联网+”时代, 课程教学模式的改变是教育创新性发展、高质量发展的必然要求和必然趋势, 各高校应有效利用网络新时代和新技术, 探究一种适合学生大众的实用性强、目标明确的“金课”建设与实践策略, 以提高教学质量目标, 为广大高校学生提供更好更舒适的学习体验。

4 结论

本文所提出的教学模式, 以面对高校实用性为前提提出, 强调课前(下)激发学生上课兴趣为重点, 结合课中(上)、课后(下)具有一定艺术性的教学过程及课堂内容, 从而实现课程“理解”、“实践”、“思辩”、“研究”和“创新”课程教学五位目标, “课程前中后五位一体教学模式”在《电力工程》课程教学中的实践取得了一定的教学效果:

- (1) 提高上课出勤率、上课听课率、上课参与互动率。
- (2) 提高学生的科技创新能力, 如学生将本课程的相关前沿知识应用在申请发明、实用新型专利, 发表学术论文。
- (3) 提高学生的实践能力与质量, 如学生将本课程的相关知识

应用在大学生的创新创业项目中, 在课程设计环节中, 由被动变主动, 时间可由一周变为 3 天并高质量完成。

因此, 本课程教学模式在高校教学中具有较强的可实施性和参考性。

参考文献

- [1] 战德臣.“大学计算机”“MOOC+SPOCs+ 翻转课堂”混合教学改革实施计划 [J]. 计算机教育, 2016 (1): 12-16.
- [2] 战德臣, 聂兰顺等. 大学计算机课程基于 MOOC+SPOCs 的教学改革实践 [J]. 中国大学教学, 2015 (8): 29-33.
- [3] 赵国栋, 王一冰, 刘京鲁. 微课在高校之应用: 从概念到制作技术 [J]. 北京大学教育评论, 2016(03):175-187.
- [4] 郭继盛, “互联网+”背景下的新课堂教学模式探讨 [J]. 科技经济导刊, 2019 (01): 127-129;
- [5] 王赵, 曹阳等.“互联网+ 翻转课堂”大学物理课堂教学模式的探讨和实践 [J]. 教育教学论坛, 2019(7):137-139.
- [6] 倪牟翠, 张汉壮. 物理类在线开放课程群的建设展望与建设理念的思考 [J]. 大学物理, 2017-36(7):51-55.