

文章编号: 2095-2163(2020)07-0243-04

中图分类号: TP242

文献标志码: A

基于仿生步态算法的直立行走机器人的设计

曾世豪, 胡月明, 徐秋林, 张志颖, 陆兴华

(广东工业大学 华立学院, 广州 511325)

摘要:传统直立行走机器人存在指令完成速度慢的缺陷。本文提出了基于仿生步态算法的直立行走机器人的设计方法。依照机器人运动流程,设计机器人行走动力学方程,计算运动耗能量;选择减速性能较强的涡轮电机装置,设计机器人偏心转体结构,计算可承受外界最大荷载力;引入PWM数据微处理技术,控制直立行走机器人通信模式;调试直立行走机器人腿部肢干,规划直立机器人行走步态。设计实验,模拟实验环境,验证结果表明:所设计的机器人在实际应用中可有效缩短指令完成时间,更具备市场实际调研价值。

关键词:仿生步态算法;直立行走;机器人;设计制造

Design and manufacturing research of upright walking robot based on bionic gait algorithm

ZENG Shihao, HU Yueming, XU Qiulin, ZHANG Zhiying, LU Xinghua

(Huali College, Guangdong University of Technology, Guangzhou Guangdong, 511325, China)

[Abstract] The traditional upright walking robots have the defect of slow command completion. Therefore, the design and manufacturing research of upright walking robot based on bionic gait algorithm is proposed. According to the robot action flow, dynamic equation of robot walking is designed and the energy consumption is computed. Besides, the turbine motor device with strong deceleration performance is selected, the eccentric rotating body structure of the robot is designed and the maximum external load force is calculated. Introducing PWM data micro-processing technology to control the communication mode of the upright walking robot. The leg limbs of the upright walking robot is adjusted to plan the walking gait of the upright robot. Experiment shows that the designed robot can effectively shorten the instruction completion time in practical application, making it more valuable for market actual research.

[Key words] Bionic Gait Algorithm; Upright walking; Robots; Designing and manufacturing

0 引言

机器人的研制起始于上个世纪年代中期,尽管迄今时间较短,但基于现代化技术的不断革新,机器人研制工作的进展十分顺利。国内目前机器人的设计制造从双自由角度到六自由角度、从人类步行模拟到足步交叉,直立行走机器人的仿真技术已经趋近于成熟。机器人作为一类综合多门技术与学科的研究对象,整合了自动化控制技术、仿真模拟技术、机械制造技术、仿生步态算法作为机器人直立行走的支撑,与社会实际应用具有密不可分的联系,目前已经被广泛应用于航海航空行业、物流运输行业、生活自动化管理行业中^[1]。直立行走机器人可以在应用中模拟人类行走姿态,具有一定的肢体自由能力,作为一种仿真模拟机械设备,如何满足机器人行

走与人类双足行走的一致性成为了有关科学领域的研究重点,其中潜藏的动力学结构对于机器人后期的开发具有十分现实的意义。在未来的研究中,直立行走机器人可以辅助人们解决一些生活中的问题,包括危险品的运输传递、驮物或抗灾抢险等工作。因此,将基于仿生步态算法在机器人制造中的应用,开展直立行走机器人的制造设计研究,提升传统机器人的运行速度,降低了实际工作中有关人员的危险,为市场行业的发展做出一定贡献。

1 基于仿生步态算法的直立行走机器人的设计制造研究

直立行走机器人内嵌一个封闭或半封闭的环形控制装置,运动传感装置通过获取机器人运动姿态,收集不同运动形态下的数据信号,采集运动数据计

基金项目: 2018年国家级大学生创新创业训练计划项目(201813656005)。

作者简介: 曾世豪(1999-),男,本科生,主要研究方向:人工智能、计算机网络;胡月明(1999-),男,本科生,主要研究方向:软件工程与方法、计算机网络;徐秋琳(2001-),男,本科生,主要研究方向:人工智能、计算机网络;张志颖(2001-),男,本科生,主要研究方向:嵌入式开发;陆兴华(1981-),男,硕士,副教授,主要研究方向:嵌入式技术、无人机飞行稳定性控制方法、机器人运动控制方法。

通讯作者: 陆兴华 Email: lxhxtu1@126.com

收稿日期: 2020-04-06

算机器人的运动位移与转向角度,定位控制点到指定单元,确保直立行走的连续性,传递指令达到指定位置后依照前端控制装置收集的信息完成动作,直至指令传递完成^[2]。流程图如图1所示。

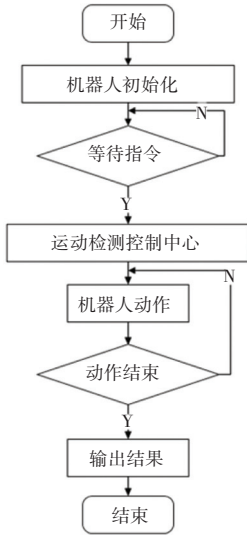


图1 基于仿生步态算法的直立行走机器人运动流程

Fig. 1 Motion flow of an upright walking robot based on a bionic gait algorithm

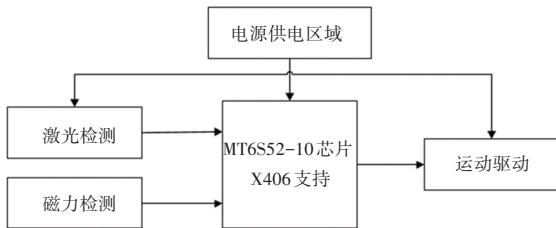


图2 中端控制中心结构图

Fig. 2 Structure diagram of mid-range control center

根据图1所示,初始化机器人控制端信息,等待前端指令信息,由MT6S52-10芯片调试运动模式,指令数据通过中端控制中心如图2所示。由电源管理区域提供机器人持续运行动力,采用8.2V1500mAh轻型锂电池供电。引入激光检测与磁场磁力检测方法,收集机器人实时运动状态,X406支持检测设备运转,MAG540传感设备调试动作,传递输出动作至单芯片中,终端设备接收运动指磁信号牌,调整偏转角度及光感信息,完成机器人运动驱动,直至指令接收端口关闭,判断指令是否接收完毕,输出终端直立行走机器人运动数据^[3]。

1.1 建立直立行走机器人运动方程

基于仿生步态算法理论,执行复杂刚体空间运动指令,连接运动连杆与副杆,模拟机器人运动时机械腿运动形态,将双腿底端关节作为运动指点,游腿相近似看作等三维等价物理摆,引入拉格朗日方程

构建模式,建立直立行走机器人运动方程^[4],如公式(1)所示。

$$\frac{dt}{d} \left(\frac{\partial L}{\partial a_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial a_i} = f_i. \quad (1)$$

其中, dt 表示单位时间内机器人行走位移; d 表示机器人直线行走位移; ∂ 表示为动力学参数; ∂L 表示单位长度动力学系数; a_i 表示为连杆倾斜角度; f_i 表示作用在连杆上的力。

根据公式(1),可计算基于仿生步态算法下直立行走机器人力学运动公式,依照机器人的运动形态,计算其运动消耗能量^[5]。计算公式(2)如下:

$$T = \frac{1}{2} M (x_1^2 + y_1^2). \quad (2)$$

其中, T 表示耗能总值; M 表示机器人自身重量值; x 表示运动中横向耗能值; y 表示运动总纵向耗能值。

结合上述计算,分析指定运动轨迹中机器人的电源管理模式^[6]。依照双足步行方式,连接支撑双足直杆,提出位能运动学计算公式(3)。

$$U = \omega_1 \varphi_1 \cos \alpha_1 + \sum_{i \geq 0}^i L_i \cos \alpha_i. \quad (3)$$

其中, U 表示位能耗值; ω_1 表示位能常数参数; φ_1 表示位能转向参数; α_1 表示位能角度; L 表示机器人运动中产生惯性前进距离; i 表示前端发出的指令。

综合提出的多参数运动方程,机器人只有在满足上述动力学因素的条件下,才能确保其自身持续运动。

1.2 基于仿生步态算法设计机器人偏心转体结构

偏心转体结构是所有直立行走机器人最为关键的运动重心偏转结构,在针对该部分开展研究时,应充分考虑机器人行走时的最大荷载能力、载物安装位置及承载尺寸3个主要方面^[7]。其一,选择减速性能较强的涡轮电机装置,降低该部分在机器人设计中所占体积,采用机器人双足旋转副结构,扩大机器人表层荷载面积,降低单位面积内荷载质量。安装咬合型正向旋转齿轮,按照零件标准,调整偏心力矩,降低对之轮电机造成过量负载^[8]。其二,选择行星轮辅助太阳轮零件安装方法,以SD42-GF524.1型号行星轮作为机器人运动减速装置,中间镶嵌抱死齿轮的偏心零件,将缺陷齿轮作为主运转的太阳轮,电动驱动轮作为机器人转体机制。结合仿生步态算法在机器人设计中的应用,调整负载力矩,计算机器人直立行走过程中,可承受外界最大荷载力,公

式(4)。

$$Q_{\max} = \sum_{\alpha\lambda} \frac{1}{t} \lim_{e \rightarrow \infty} \frac{a!}{\alpha! (a-b)!} \quad (4)$$

其中, Q_{\max} 表示直立行走机器人可承受外界最大荷载力,单位为 N; e 表示承载物与机器人表层接触面积,单位为 cm^2 ; λ 表示外界参数; t 表示载重常数系数,通常取值在 0.8~1.5 之间; a 表示重力加速度; b 表示载重承受范围。

针对上述计算,可选择调整主动轮与内齿轮之间失向距离的方式,降低驮载直接重量,压缩无效运动空间,去除分度圆半径上主动轮咬合区域,有效缩短负载力矩,完成偏心转体结构的设计。

1.3 控制直立行走机器人通信

安装机器人通信装置,使用脉冲直流舵机调试终端信息数据的输入,引入 PWM 数据微处理技术,控制模拟电路输出数据,设定其控制数据信号的周期为 10 ms~20 ms,对应的舵盘通信装置安装在机器人关节 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间,使其整体呈现线性变化^[9]。舵盘直接与内部数据反馈电位针连接,按照数据传递时间,调整机器人运动速度及频率,控制输入转向脉冲信号与舵盘转向角度之间存在一定比值关系,定义 6 个 PWM 数据通信端接收口,依照电位针指标变化趋势,调整旋转角。结合机器人终端传感装置与发射管定频安装波长,设定通信信号接收路段,由于装置接收端信号在传递过程中会由于外界影响因素造成信号损失。因此,采用机器人分压方式,安装多电位信号接收装置,获取不同运动形态下的电信号与运动姿态,根据磁感零件规划地磁场,录入初次获取数据,对比磁场收集数据与初次获取数据,根据比值推断终端接收信号数值,输出通信数据值。

1.4 调试直立行走机器人腿部肢干

采用高度集成化驱动设备,连接直流电源,配套限位开关作为机器人运动轨迹定位,增加机器人反馈功能,选择平行四边形机杆搭建行星轮作为一级减速结构,如图 3 所示。

设定多组齿轮转向组合,调整圆心位置与运动轨迹圆心位置在相同水平直线上,设定机器人双腿肢干按照曲柄圆心位置平行运动,设定随机控制机制,将运动轨迹规划成双向同心圆,避免双腿受到悬挂力臂的干扰^[10]。肢干受力角度分析,可依照仿生步态算法提供的标准,运行程序调试,确保机器人在直立行走过程中四杆平行运动。双腿中直流蜗杆具备自身断电自锁的特点,可确保机器人工作中保持无功最低能耗,减少了直流电机与连杆直接交流带

来的轴度偏离误差,满足均衡负载的同时,平均双足力矩。上述双肢安装结构符合人类在行走过程中身体迈步收步的平衡关系,在要求较低的环境下,可拥有其它机械双足不可比拟的优点。

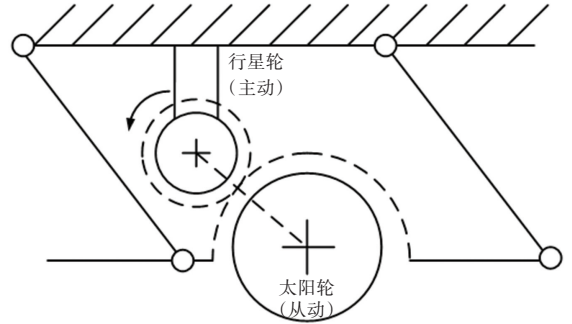


图3 直立行走机器人腿部肢干结构

Fig. 3 Leg and limb structure of an upright walking robot

1.5 规划直立机器人行走步态

定义直立行走机器人的正向行走方向为 y , 由左端至右端行走方向为 x , 结合腿部肢干设计及终端获取的运动数据,开展机器人在直线行走的步态规划,避免由于姿态不平衡导致的身体倾斜摔倒。引入 PI 算法,调整运动角度误差与双腿与身体比例之间的误差,将距离较低侧的腿做向前伸长处理,安装平衡仪。获取准确的行走姿态角度,由于直立行走机器人在无障碍行走过程中,会受到左右加速度的抑制,因此应采用计算互补滤波的方式,计算整体倾斜角度。计算公式(5)如下:

$$\theta = \sqrt{b^2 + 2\sqrt{\pi}} \int \tan \omega \quad (5)$$

其中, θ 表示机体直立行走偏转角度; b 表示偏转移; π 表示关节转向系数; ω 表示预计偏转角度。根据公式(5),结合重力加速度方向,把机械腿直立行走步态按照实际行走情况,将其规划为立腿相行走和游腿相行走,调整滤波角度潜在误差,完成基于仿生步态算法的直立行走机器人的设计制造。

2 实验

2.1 实验准备

模拟实验环境,建立 Lab 机器人调试上位设备,使用 USB 端口提供直立行走机器人与计算机的直接通信通道,在机器人运动的每个主要关节处安装力学感应设备、运动姿态传感设备、伺服电机及 ZMP 装置,获取机器人运动的关键数据信息。为了降低仿生步态算法与实际控制的计算机语言存在的差异性,提升实验数据的使用性,选择 MAT 设备编写机器人上位主程序。设计实验操控台,实验环境为室内 10m × 10m 的空白场地,操控台采用

SJF53JY125-Y24.0 芯片搭建,实验环境主控频率为 235 M,内部嵌入 ROSM 操作系统,连接前端计算机设备,提供指令发出及信息获取的有效渠道,设定机器人运动任务调令周期为 8 ms,终端获取机器人运行数据,引入云端平台处理数据的方式获取指令中的运动特征点,实时监控机器人关节部位运动形态,传感装置接收的数据直接传送至终端数据处理平台,采集运动图像,将收集的模拟信号转换成数字信号,并在终端计算机屏幕上显示机器人的指令完成路线。

依照上述提出的环境,按照实验要求及有关实验动作设计,发出机器人运动指令,包括直线行走、控制步数行走、后滚翻、前滚翻等。先使用传统的直立行走机器人接收指令,设定每个提出指令完成 5 次,记录 5 次完成时间,要求每次直立行走实验路线及道路长度相同,为提高实验数据的准确性,控制其它工作设备运行频率对实验结果造成的影响在可调节范围内,计算指令完成时间的平均值与完成率,整理实验数据,定义该组数据为此次实验的对照组。使用本文设计的基于仿生步态算法的直立行走机器人完成相同指令。

2.2 实验结果分析

记录完成的平均时间与完成率,输出实验数据。将实验数据整理成的表格见表 1。

表 1 实验数据对比

Tab. 1 Comparison of experiment data

| 组别 | 实验次数 | 实验项目 | 完成率 | 平均完成时间 |
|---------|------|--------|------|--------|
| 对照组实验结果 | 5 次 | 直线行走 | 100% | 105.71 |
| | | 控制步数行走 | 100% | 25.62 |
| | | 后滚翻 | 85% | 21.56 |
| | | 前滚翻 | 90% | 13.98 |
| 实验组实验结果 | 5 次 | 直线行走 | 90% | 135.62 |
| | | 控制步数行走 | 75% | 30.05 |
| | | 后滚翻 | 60% | 25.87 |
| | | 前滚翻 | 65% | 20.63 |

根据表 1 中实验数据,相比传统直立行走机器人,本文设计的基于仿生步态算法的直立行走机器人完成指令的平均时间及完成率均有所提升,在指定线路上完成极限运动的时间具有相对稳定性。综合实验结果数据,本文提出机器人的综合性能可满足实验前期的预计目标,且运动过程中延时性较低,可操作性较强,具有操作简单、便捷等特点。因此可得出实验结论:本文设计的直立行走机器人在实际应用中可有效地缩短指令完成时间,提高指令完

成率,进而起到提高直立行走机器人运行效率及质量的作用。因此,在后期的发展中,应加大仿生步态机器人在市场的应用。例如,在化学工程方面辅助人员运输具有腐蚀性的化学危险品;在航海运输行业驼运重物;在无人售货区域提供产品自动化销售,降低行业所需人工成本,促进行业在市场的快速发展。

3 结束语

随着现代化仿生技术在市场的广泛应用,本文开展了基于仿生步态算法的直立行走机器人制造的研究。并采用设计实验的方式验证了所设计的机器人在实际应用中可有效地降低指令完成时间,提高运行速度,具有精度高、设计合理等特点。尽管本文提出的设计已经在应用中取得了一定的成绩,但仍缺乏大量实践数据证明其可以在市场广泛应用。在后期的调研中,要基于机器人运行安全角度提出问题,提高机器人在市场应用中的安全系数,避免由于单独零部件故障抑制其整体运行效果,同时在实际应用及研究中发现机器人行走规律,进而对机器人结构不断优化。

参考文献

- [1] 许允斗,徐郑和,杨帆,等. 考虑工作空间与力传递效率的新型五自由度混联机器人设计与分析[J]. 中国机械工程,2019,30(16):1996-2002.
- [2] 朱香宁,彭熙,张艺彤,等. 舞蹈机器人在楚文化传播方面的设计与开发——以“一鸣惊人”为例[J]. 数字技术与应用,2019,37(1):140-141.
- [3] 卢伟,陈浩,王家鹏,等. 拖拉机驾驶机器人设计及人机协作方法研究[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版),2019,11(2):165-172.
- [4] 李锦忠,唐宇存,陆秋龙,等. 有限元和拓扑联合优化方法及其在机器人结构轻量化设计中的应用[J]. 机械科学与技术,2019,38(11):1663-1668.
- [5] 马伟,鲁振,王秀. 温室智能装备系列之一百一十六 基于嵌入式处理器 Gene8310 的 MW800 型智慧温室服务机器人设计[J]. 农业工程技术,2019,39(16):51-53.
- [6] 燕必希,王智,费奇,等. 满足 RoboCup 规范小型类人足球机器人设计与目标识别[J]. 北京信息科技大学学报(自然科学版),2019,34(2):1-4.
- [7] 李新,李京津,高博俊,等. 教育机器人的研究现状与发展建议——基于 2014~2018 年 Web of Science 核心数据库相关文献分析[J]. 现代教育技术,2020,30(1):5-11.
- [8] 崔可颀,郭祥,韩贵斌,等. MAKO 机器人辅助后外侧入路全髋关节置换的学习曲线及临床早期效果[J]. 中国组织工程研究,2020,24(9):1313-1317.
- [9] 胡峰,戚晓妮,汪晓燕. 基于 PMC 指数模型的机器人产业政策量化评价——以 8 项机器人产业政策情报为例[J]. 情报杂志,2020,39(1):121-129,161.
- [10] 李占结,刘波,李松琴,等. 达芬奇机器人手术对患者医院感染及相关因素的影响——7 种手术病例对照研究[J]. 中国感染控制杂志,2020,19(1):30-36.