



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116619389 B

(45) 授权公告日 2023.12.08

(21) 申请号 202310869516.9

(22) 申请日 2023.07.17

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 116619389 A

(43) 申请公布日 2023.08.22

(73) 专利权人 中山大学

地址 510275 广东省广州市海珠区新港西路135号

专利权人 人工智能与数字经济广东省实验室(广州)

(72) 发明人 黄凯 张子韬

(74) 专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

专利代理师 王晓玲

(51) Int.Cl.

B25J 9/16 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 111208822 A, 2020.05.29

CN 114859911 A, 2022.08.05

CN 115328125 A, 2022.11.11

US 2005113973 A1, 2005.05.26

US 2016023350 A1, 2016.01.28

审查员 潘玉芬

权利要求书3页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

一种小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法

(57) 摘要

本发明属于四足机器人运动控制领域,更具体地,涉及一种小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法。首先基于鼠类机器人腿部的结构特点,构建末端足迹可运动空间,在该空间内使用参数曲线界定最大运动边界;输入归一化的运动信号,得到对应当前相位的运动位置对应的极径;得到极径后确定当前时刻 t 下的运动位置的极坐标 (θ, ρ) ;通过坐标变换,得到机器人每条腿的运动平面上的笛卡尔坐标系下的运动位置坐标 (y, z) ,对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算,得到末端点位置对应的电机转动角度 (q_1, q_2) 。本发明提供的方法精度更高,自由度更大。

S1.基于鼠类机器人腿部的结构特点,构建末端足迹可运动空间,在该空间内使用参数曲线界定最大运动边界

S2.输入归一化的运动信号,得到对应当前相位的运动位置对应的极径;得到极径后确定当前时刻 t 下的运动位置的极坐标

S3.通过坐标变换,得到机器人每条腿的运动平面上的笛卡尔坐标系下的运动位置坐标 (y, z) ,对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算,得到末端点位置对应的电机转动角度

1. 一种小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1. 基于鼠类机器人腿部的结构特点,构建末端足迹可运动空间,在末端足迹可运动空间内使用参数曲线界定最大运动边界;

S2. 输入归一化的运动信号,得到对应当前相位的运动位置对应的极径;得到极径后确定当前时刻 t 下的运动位置的极坐标 (θ, ρ) ;

S3. 通过坐标变换,得到机器人每条腿的运动平面上的笛卡尔坐标系下的运动位置坐标 (y, z) ,对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算,得到末端点位置对应的电机转动角度 (q_1, q_2) 。

2. 根据权利要求1所述的小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法,其特征在于,对于任意时刻 t ,计算整机相位状态 θ ;在相位状态 θ 的基础上叠加每条腿的相位偏移,得到每条腿的相位角;由每条腿的相位角计算得到对应的运动范围边界 $B(\theta)$ 。

3. 根据权利要求1所述的小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法,其特征在于,在末端足迹可运动空间内使用参数曲线界定最大运动边界的步骤包括:

S11. 基于腿部机构的执行电机类型,给出每个电机的转动范围;

S12. 基于腿部结构的正运动学模型进行正向运算,得到现有电机转动范围以得到的末端空间范围,该空间为一个二维平面区域;

S13. 在末端可运动空间内,根据最大化横向和纵向跨度的原则,划定基本运动范围;

S14. 在基本运动范围内,设定一个运动中心,坐标为 (C_y, C_z) ;

S15. 以运动中心 (C_y, C_z) 为极点,进行坐标转换,将平面坐标从笛卡尔坐标系转换为极坐标系;

S16. 在极坐标系下标识出基本运动范围;

S17. 划定极坐标系的极角范围为 $[0, 2\pi)$,对该范围内的极角,计算处于基本运动范围内的最大极径的大小;

S18. 结合基本运动范围的划分方式,得到任意极角 θ 对应的运动范围边界 $B(\theta)$ 。

4. 根据权利要求1所述的小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法,其特征在于,所述的步骤S2具体包括以下步骤:

S21. 运动信号的控制输入端定义为一组大小为4的归一化信号;取0到1之间的任意连续数值: $a \in [0, 1]^4$;

S22. 设定机器人的周期运动频率为 f ;

S23. 计算完整运动周期长度: $T = 1/f$;

S24. 对于运动时的时刻 t ,计算整机相位状态: $\theta_{com} = 2\pi * (t/T), t \in [0, T)$;

S25. 以跑动步态作为机器人的基本步态,在此步态下,四条腿具有不同的相位偏移: $\phi_1 = 0, \phi_2 = 0.5 \times 2\pi, \phi_3 = 0, \phi_4 = 0.5 \times 2\pi$;其中 ϕ_1 到 ϕ_4 分别代表左前腿、右前腿、左后腿、右后腿的相位偏移;

S26. 在整机相位状态上叠加每条腿的相位偏移,得到每条腿的相位角,由下式计算: $\theta_i(t) = \theta_{com} + \phi_i, t \in [0, T), i = 1, 2, 3, 4$;其中 i 从1到4分别代表左前腿、右前腿、左后腿、右后腿;

S27. 由相位角计算得到对应的运动范围边界 $B(\theta)$;

S28. 由下式计算得到对应当前相位的运动位置对应的极径:
 $\rho(\theta) = a \times B(\theta), \theta = \theta(t) \in [0, 2\pi)$;

S29. 得出当前时刻 t 下的运动位置的极坐标 (θ, ρ) 。

5. 根据权利要求4所述的小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法, 其特征在于, a 由一个深度神经网络生成; 当数值恒为1时, 代表执行预设的步态; 当数值恒为0时, 代表四足末端点恒控制在运动中心, 机器人保持不动。

6. 根据权利要求4所述的小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法, 其特征在于, 所述的步骤S3具体包括:

S31. 通过坐标变换, 重新得到笛卡尔坐标系下的运动位置坐标:

$$y = Cy + \rho(\theta) \cos \theta,$$

$$z = Cz + \rho(\theta) \sin \theta$$

其中, y - z 平面是机器人每条腿的运动平面;

S32. 对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算, 得到末端点位置对应的电机转动角度 (q_1, q_2) 。

7. 一种小型仿生鼠四足机器人的步态控制系统, 其特征在于, 包括:

最大运动边界确定模块: 用于基于鼠类机器人腿部的结构特点, 构建末端足迹可运动空间, 在该空间内使用参数曲线界定最大运动边界;

极坐标计算模块: 用于输入归一化的运动信号, 得到对应当前相位的运动位置对应的极径; 得到极径后确定当前时刻 t 下的运动位置的极坐标 (θ, ρ) ;

电机转动角度计算模块: 用于通过坐标变换, 得到机器人每条腿的运动平面上的笛卡尔坐标系下的运动位置坐标 (y, z) , 对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算, 得到末端点位置对应的电机转动角度 (q_1, q_2) 。

8. 根据权利要求7所述的小型仿生鼠四足机器人的步态控制系统, 其特征在于, 所述的最大运动边界确定模块还包括:

电机转动范围确定单元: 用于基于腿部机构的执行电机类型, 给出每个电机的转动范围;

末端空间范围确定单元: 用于基于腿部结构的正运动学模型进行正向运算, 得到现有电机转动范围以得到的末端空间范围, 该空间为一个二维平面区域;

基本运动范围划定单元: 用于在末端可运动空间内, 根据最大化横向和纵向跨度的原则, 划定基本运动范围;

运动中心确定单元: 用于在基本运动范围内, 设定一个运动中心, 坐标为 (Cy, Cz) ;

极坐标转换单元: 用于以运动中心 (Cy, Cz) 为极点, 进行坐标转换, 将平面坐标从笛卡尔坐标系转换为极坐标系;

基本运动范围标识单元: 用于在极坐标系下标识出基本运动范围;

最大极径计算单元: 用于在划定极坐标系的极角范围为 $[0, 2\pi)$ 时, 对该范围内的极角, 计算处于基本运动范围内的最大极径的大小;

任意极角运动范围边界确定单元：用于结合基本运动范围的划分方式，得到任意极角 θ 对应的运动范围边界 $B(\theta)$ 。

9. 根据权利要求7所述的小型仿生鼠四足机器人的步态控制系统，其特征在于，极坐标计算模块具体包括：

归一化单元：用于将运动信号的控制输入端定义为一组大小为4的归一化信号；取0到1之间的任意连续数值： $a \in [0,1]^4$ ；

运动频率设定单元：用于设定机器人的周期运动频率为 f ；

运动周期计算单元：用于计算完整运动周期长度： $T = 1/f$ ；

整机相位状态计算单元：用于对于运动时的时刻 t ，计算整机相位状态： $\theta_{com} = 2\pi * (t/T), t \in [0, T)$ ；

相位偏移计算单元：用于以跑动步态作为机器人的基本步态，在此步态下，分别计算四条腿的相位偏移： $\phi_1 = 0, \phi_2 = 0.5 \times 2\pi, \phi_3 = 0, \phi_4 = 0.5 \times 2\pi$ ；其中 ϕ_1 到 ϕ_4 分别代表左前腿、右前腿、左后腿、右后腿的相位偏移；

相位角计算单元：用于在整机相位状态上叠加每条腿的相位偏移，计算得到每条腿的相位角，由下式计算： $\theta_i(t) = \theta_{com} + \phi_i, t \in [0, T), i = 1, 2, 3, 4$ ；其中 i 从1到4分别代表左前腿、右前腿、左后腿、右后腿；

极径计算单元：用于计算得到对应当前相位的运动位置对应的极径： $\rho(\theta) = a \times B(\theta), \theta = \theta(t) \in [0, 2\pi)$ ；

极坐标计算单元：用于得出当前时刻 t 下的运动位置的极坐标 (θ, ρ) 。

10. 根据权利要求9所述的小型仿生鼠四足机器人的步态控制系统，其特征在于，所述的电机转动角度计算模块具体包括：

笛卡尔坐标计算单元：用于通过坐标变换，重新得到笛卡尔坐标系下的运动位置坐标：

$$y = Cy + \rho(\theta) \cos \theta,$$

$$z = Cz + \rho(\theta) \sin \theta$$

其中， y - z 平面是机器人每条腿的运动平面；

逆运动学解算单元：用于对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算，得到末端点位置对应的电机转动角度 (q_1, q_2) 。

一种小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于四足机器人运动控制领域,更具体地,涉及一种小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法。

背景技术

[0002] 四足机器人在运动控制过程中需要实现高效的步态,并适应不同的地形。近年来强化学习等人工智能方法被广泛应用于四足机器人的控制,但传统的控制方法没有针对20cm高度以下小型四足机器人的机器学习场景进行过针对性设计,因而无法兼顾小型机器人的运动效率和可探索性。

[0003] 在四足机器人的步态控制方法领域,以往有一些专利提出过传统的基于规划的控制方法,和基于强化学习的控制方法等。从方法上看,现有的四足控制方法基于规划模型,使用转置矩阵获得电机的输出力矩。基于转置矩阵进行逆运动学计算的方法属于一种近似逼近的控制算法,虽然简单适用于各种类型的结构,但没有对末端运动空间进行进一步设计,导致末端运动空间点离散不可控,在运动时需要进一步的模型来约束步态,且控制过程无法参数归一化,不适用于融合强化学习方法的控制方案。从平台上看,目前没有针对小型鼠类机器人的高自由度的运动控制方法被提出。传统的控制方法都没有针对20cm高度以下小型四足机器人的机器学习场景进行过针对性设计,因而无法兼顾小型机器人的运动效率和可探索性。而针对鼠类机器人设计的强化学习算法,仅仅是训练机器人选择几个预设的行为模式,无法生成新的步态,不具备高自由度和可扩展性。

发明内容

[0004] 本发明为克服上述现有技术中的缺陷,提供一种小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法,控制精度更高,运动自由度也更高。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:一种小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法,包括以下步骤:

[0006] S1. 基于鼠类机器人腿部的结构特点,构建末端足迹可运动空间,在该空间内使用参数曲线界定最大运动边界;

[0007] S2. 输入归一化的运动信号,得到对应当前相位的运动位置对应的极径;得到极径后确定当前时刻 t 下的运动位置的极坐标 (θ, ρ) ;

[0008] S3. 通过坐标变换,得到机器人每条腿的运动平面上的笛卡尔坐标系下的运动位置坐标 (y, z) ,对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算,得到末端点位置对应的电机转动角度 (q_1, q_2) 。

[0009] 进一步地,对于任意时刻 t ,计算整机相位状态 θ ;在相位状态 θ 的基础上叠加每条腿的相位偏移,得到每条腿的相位角;由每条腿的相位角计算得到对应的运动范围边界 $B(\theta)$ 。

[0010] 进一步地,确定任意相位状态 θ 的最大运动范围边界的步骤包括:

- [0011] S11. 基于腿部机构的执行电机类型,给出每个电机的转动范围;
- [0012] S12. 基于腿部结构的正运动学模型进行正向运算,得到现有电机转动范围以得到的末端空间范围,该空间为一个二维平面区域;
- [0013] S13. 在末端可运动空间内,根据最大化横向和纵向跨度的原则,划定基本运动范围;
- [0014] S14. 在基本运动范围内,设定一个运动中心,坐标为(C_y , C_z);
- [0015] S15. 以运动中心(C_y , C_z)为极点,进行坐标转换,将平面坐标从笛卡尔坐标系转换为极坐标系;
- [0016] S16. 在极坐标系下标识出基本运动范围;
- [0017] S17. 划定极坐标系的极角范围为 $[0, 2\pi)$,对该范围内的极角,计算处于基本运动范围内的最大极径的大小;
- [0018] S18. 结合基本运动范围的划分方式,得到任意极角 θ 对应的运动范围边界 $B(\theta)$ 。
- [0019] 进一步地,所述的步骤S2具体包括以下步骤:
- [0020] S21. 运动信号的控制输入端定义为一组大小为4的归一化信号;取0到1之间的任意连续数值: $a \in [0, 1]^4$;
- [0021] S22. 设定机器人的周期运动频率为 f ;
- [0022] S23. 计算完整运动周期长度: $T = 1/f$;
- [0023] S24. 对于运动时的时刻 t ,计算整机相位状态: $\theta_{com} = 2\pi * (t/T), t \in [0, T)$;
- [0024] S25. 以跑动步态作为机器人的基本步态,在此步态下,四条腿具有不同的相位偏移: $\phi_1 = 0, \phi_2 = 0.5 \times 2\pi, \phi_3 = 0, \phi_4 = 0.5 \times 2\pi$;其中 ϕ_1 到 ϕ_4 分别代表左前腿、右前腿、左后腿、右后腿的相位偏移;
- [0025] S26. 在整机相位状态上叠加每条腿的相位偏移,得到每条腿的相位角,由下式计算: $\theta_i(t) = \theta_{com} + \phi_i, t \in [0, T), i = 1, 2, 3, 4$;其中 i 从1到4分别代表左前腿、右前腿、左后腿、右后腿;
- [0026] S27. 由相位角计算得到对应的运动范围边界 $B(\theta)$;
- [0027] S28. 由下式计算得到对应当前相位的运动位置对应的极径:

$$\rho(\theta) = a \times B(\theta), \theta = \theta(t) \in [0, 2\pi);$$
- [0028] S29. 得出当前时刻 t 下的运动位置的极坐标 (θ, ρ) 。
- [0029] 进一步地, a 由一个深度神经网络生成;当数值恒为1时,代表执行预设的步态;当数值恒为0时,代表四足末端点恒控制在运动中心,机器人保持不动。
- [0030] 进一步地,所述的步骤S3具体包括:
- [0031] S31. 通过坐标变换,重新得到笛卡尔坐标系下的运动位置坐标:
- [0032]
$$y = C_y + \rho(\theta) \cos \theta,$$

$$z = C_z + \rho(\theta) \sin \theta$$
- [0033] 其中, y - z 平面是机器人每条腿的运动平面;
- [0034] S32. 对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算,得到末端点位置对应的电机转动角度 (q_1, q_2) 。

[0035] 本发明还提供一种小型仿生鼠四足机器人的步态控制系统,包括:

[0036] 最大运动边界确定模块:用于基于鼠类机器人腿部的结构特点,构建末端足迹可运动空间,在该空间内使用参数曲线界定最大运动边界;

[0037] 极坐标计算模块:用于输入归一化的运动信号,得到对应当前相位的运动位置对应的极径;得到极径后确定当前时刻 t 下的运动位置的极坐标 (θ, ρ) ;

[0038] 电机转动角度计算模块:用于通过坐标变换,得到机器人每条腿的运动平面上的笛卡尔坐标系下的运动位置坐标 (y, z) ,对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算,得到末端点位置对应的电机转动角度 (q_1, q_2) 。

[0039] 进一步地,所述的最大运动边界确定模块还包括:

[0040] 电机转动范围确定单元:用于基于腿部机构的执行电机类型,给出每个电机的转动范围;

[0041] 末端空间范围确定单元:用于基于腿部结构的正运动学模型进行正向运算,得到现有电机转动范围以得到的末端空间范围,该空间为一个二维平面区域;

[0042] 基本运动范围划定单元:用于在末端可运动空间内,根据最大化横向和纵向跨度的原则,划定基本运动范围;

[0043] 运动中心确定单元:用于在基本运动范围内,设定一个运动中心,坐标为 (C_y, C_z) ;

[0044] 极坐标转换单元:用于以运动中心 (C_y, C_z) 为极点,进行坐标转换,将平面坐标从笛卡尔坐标系转换为极坐标系;

[0045] 基本运动范围标识单元:用于在极坐标系下标识出基本运动范围;

[0046] 最大极径计算单元:用于在划定极坐标系的极角范围为 $[0, 2\pi)$ 时,对该范围内的极角,计算处于基本运动范围内的最大极径的大小;

[0047] 任意极角运动范围边界确定单元:用于结合基本运动范围的划分方式,得到任意极角 θ 对应的运动范围边界 $B(\theta)$ 。

[0048] 进一步地,极坐标计算模块具体包括:

[0049] 归一化单元:用于将运动信号的控制输入端定义为一组大小为4的归一化信号;取0到1之间的任意连续数值: $a \in [0, 1]^4$;

[0050] 运动频率设定单元:用于设定机器人的周期运动频率为 f ;

[0051] 运动周期计算单元:用于计算完整运动周期长度: $T = 1/f$;

[0052] 整机相位状态计算单元:用于对于运动时的时刻 t ,计算整机相位状态: $\theta_{com} = 2\pi * (t/T), t \in [0, T)$;

[0053] 相位偏移计算单元:用于以跑动步态作为机器人的基本步态,在此步态下,分别计算四条腿的相位偏移: $\phi_1 = 0, \phi_2 = 0.5 \times 2\pi, \phi_3 = 0, \phi_4 = 0.5 \times 2\pi$;其中 ϕ_1 到 ϕ_4 分别代表左前腿、右前腿、左后腿、右后腿的相位偏移;

[0054] 相位角计算单元:用于在整机相位状态上叠加每条腿的相位偏移,计算得到每条腿的相位角,由下式计算: $\theta_i(t) = \theta_{com} + \phi_i, t \in [0, T), i = 1, 2, 3, 4$;其中 i 从1到4分别代表左前腿、右前腿、左后腿、右后腿;

[0055] 极径计算单元：用于计算得到对应当前相位的运动位置对应的极径：

$$\rho(\theta) = a \times B(\theta), \theta = \theta(t) \in [0, 2\pi);$$

[0056] 极坐标计算单元：用于得出当前时刻t下的运动位置的极坐标 (θ, ρ) 。

[0057] 进一步地，所述的电机转动角度计算模块具体包括：

[0058] 笛卡尔坐标计算单元：用于通过坐标变换，重新得到笛卡尔坐标系下的运动位置坐标：

$$\begin{aligned} y &= C y + \rho(\theta) \cos \theta, \\ z &= C z + \rho(\theta) \sin \theta \end{aligned}$$

[0060] 其中，y-z平面是机器人每条腿的运动平面；

[0061] 逆运动学解算单元：用于对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算，得到末端点位置对应的电机转动角度 (q_1, q_2) 。

[0062] 本发明还提供一种小型仿生鼠四足机器人，包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序，以实现如上所述的小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法。

[0063] 本发明还提供一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，该程序被处理器执行，以用于实现如上所述的小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法。

[0064] 与现有技术相比，有益效果是：

[0065] 1、本发明针对小型鼠类四足机器人的结构特点做出了针对性的设计，使用解析形式的变换方法进行末端空间控制，精度更高；

[0066] 2、在本发明中控制信号以一组归一化的浮点数表示，控制简洁，能同时适用于传统的规划步态控制，也能适用于强化学习控制方法；

[0067] 3、在本发明中运动轨迹模式可以通过参数进行任意的生成，运动自由度高。

附图说明

[0068] 图1是本发明的方法流程示意图。

[0069] 图2是实施例1中最大运动范围划定流程示意图。

[0070] 图3是实施例1中控制算法流程示意图。

[0071] 图4是实施例1中最大运动范围划定示意图。

[0072] 图5是实施例1中参数符号在运动空间内的几何含义示意图。

具体实施方式

[0073] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明的一部分实施例，而不是全部的实施例。下面结合具体实施方式对本发明作在其中一个实施例中说明。其中，附图仅用于示例性说明，表示的仅是示意图，而非实物图，不能理解为对本专利的限制；为了更好地说明本发明的实施例，附图某些部件会有省略、放大或缩小，并不代表实际产品的尺寸；对本领域技术人员来说，附图中某些公知结构及其说明可能省略是可以理解的。

[0074] 在本发明的描述中，需要理解的是，若有术语“上”、“下”、“左”、“右”等指示的方位

或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此附图中描述位置关系的用语仅用于示例性说明,不能理解为对本专利的限制,对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语的具体含义。另外,若本发明实施例中有涉及“第一”、“第二”等的描述,则该“第一”、“第二”等的描述仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示其相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。另外,全文中出现的“和/或”的含义为,包括三个并列的方案,以“A和/或B”为例,包括A方案,或B方案,或A和B同时满足的方案。

[0075] 实施例1:

[0076] 如图1所示,一种小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法,包括以下步骤:

[0077] 最大运动范围划定:

[0078] 基于鼠类机器人腿部的结构特点,构建末端足迹可运动空间,在该空间内使用参数曲线界定最大运动边界;在具体的控制过程中,对于任意时刻 t ,计算整机相位状态 θ ;在相位状态 θ 的基础上叠加每条腿的相位偏移,得到每条腿的相位角;由每条腿的相位角计算得到对应的运动范围边界 $B(\theta)$;

[0079] 控制算法执行:

[0080] 首先,输入归一化的运动信号,得到对应当前相位的运动位置对应的极径;得到极径后确定当前时刻 t 下的运动位置的极坐标 (θ, ρ) ;

[0081] 接着,通过坐标变换,得到机器人每条腿的运动平面上的笛卡尔坐标系下的运动位置坐标 (y, z) ,对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算,得到末端点位置对应的电机转动角度 (q_1, q_2) 。

[0082] 具体的,如图2和图5所示,确定任意相位状态 θ 的最大运动范围边界的步骤包括:

[0083] S11. 基于腿部机构的执行电机类型,给出每个电机的转动范围;

[0084] S12. 基于腿部结构的正运动学模型进行正向运算,得到现有电机转动范围以得到的末端空间范围,该空间为一个二维平面区域;

[0085] S13. 在末端可运动空间内,根据最大化横向和纵向跨度的原则,划定基本运动范围(圆弧形);

[0086] S14. 在基本运动范围内,设定一个运动中心,坐标为 (C_y, C_z) ;

[0087] S15. 以运动中心 (C_y, C_z) 为极点,进行坐标转换,将平面坐标从笛卡尔坐标系转换为极坐标系;

[0088] S16. 在极坐标系下标识出基本运动范围;

[0089] S17. 划定极坐标系的极角范围为 $[0, 2\pi)$,对该范围内的极角,计算处于基本运动范围内的最大极径的大小;

[0090] S18. 结合基本运动范围的划分方式,得到任意极角 θ 对应的运动范围边界 $B(\theta)$ 。如图4所示。

[0091] 其中,如图3所示,控制算法执行具体包括以下步骤:

[0092] S21. 运动信号的控制输入端定义为一组大小为4的归一化信号;取0到1之间的任

意连续数值： $a \in [0,1]^4$ ； a 由一个深度神经网络生成；当数值恒为1时，代表执行预设的步态；当数值恒为0时，代表四足末端点恒控制在运动中心，机器人保持不动

[0093] S22. 设定机器人的周期运动频率为 f ；

[0094] S23. 计算完整运动周期长度： $T = 1/f$ ；

[0095] S24. 对于运动时的时刻 t ，计算整机相位状态： $\theta_{com} = 2\pi * (t/T), t \in [0, T)$ ；

[0096] S25. 以跑动步态作为机器人的基本步态，在此步态下，四条腿具有不同的相位偏移： $\phi_1 = 0, \phi_2 = 0.5 \times 2\pi, \phi_3 = 0, \phi_4 = 0.5 \times 2\pi$ ；其中 ϕ_1 到 ϕ_4 分别代表左前腿、右前腿、左后腿、右后腿的相位偏移；

[0097] S26. 在整机相位状态上叠加每条腿的相位偏移，得到每条腿的相位角，由下式计算： $\theta_i(t) = \theta_{com} + \phi_i, t \in [0, T), i = 1, 2, 3, 4$ ；其中 i 从1到4分别代表左前腿、右前腿、左后腿、右后腿；

[0098] S27. 由相位角计算得到对应的运动范围边界 $B(\theta)$ ；

[0099] S28. 由下式计算得到对应当前相位的运动位置对应的极径： $\rho(\theta) = a \times B(\theta), \theta = \theta(t) \in [0, 2\pi)$ ；

[0100] S29. 得出当前时刻 t 下的运动位置的极坐标 (θ, ρ) ；

[0101] S31. 通过坐标变换，重新得到笛卡尔坐标系下的运动位置坐标：

$$\begin{aligned} y &= Cy + \rho(\theta) \cos \theta, \\ z &= Cz + \rho(\theta) \sin \theta \end{aligned}$$

[0103] 其中， y - z 平面是机器人每条腿的运动平面；

[0104] S32. 对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算，得到末端点位置对应的电机转动角度 (q_1, q_2) 。

[0105] 实施例2

[0106] 本实施例提供一种小型仿生鼠四足机器人的步态控制系统，包括：

[0107] 最大运动边界确定模块：用于基于鼠类机器人腿部的结构特点，构建末端足迹可运动空间，在该空间内使用参数曲线界定最大运动边界；

[0108] 极坐标计算模块：用于输入归一化的运动信号，得到对应当前相位的运动位置对应的极径；得到极径后确定当前时刻 t 下的运动位置的极坐标 (θ, ρ) ；

[0109] 电机转动角度计算模块：用于通过坐标变换，得到机器人每条腿的运动平面上的笛卡尔坐标系下的运动位置坐标 (y, z) ，对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算，得到末端点位置对应的电机转动角度 (q_1, q_2) 。

[0110] 具体的，所述的最大运动边界确定模块还包括：

[0111] 电机转动范围确定单元：用于基于腿部机构的执行电机类型，给出每个电机的转动范围；

[0112] 末端空间范围确定单元：用于基于腿部结构的正运动学模型进行正向运算，得到现有电机转动范围以得到的末端空间范围，该空间为一个二维平面区域；

[0113] 基本运动范围划定单元：用于在末端可运动空间内，根据最大化横向和纵向跨度的原则，划定基本运动范围；

[0114] 运动中心确定单元:用于在基本运动范围内,设定一个运动中心,坐标为(C_y , C_z);

[0115] 极坐标转换单元:用于以运动中心(C_y , C_z)为极点,进行坐标转换,将平面坐标从笛卡尔坐标系转换为极坐标系;

[0116] 基本运动范围标识单元:用于在极坐标系下标识出基本运动范围;

[0117] 最大极径计算单元:用于在划定极坐标系的极角范围为 $[0, 2\pi)$ 时,对该范围内的极角,计算处于基本运动范围内的最大极径的大小;

[0118] 任意极角运动范围边界确定单元:用于结合基本运动范围的划分方式,得到任意极角 θ 对应的运动范围边界 $B(\theta)$ 。

[0119] 其中,极坐标计算模块具体包括:

[0120] 归一化单元:用于将运动信号的控制输入端定义为一组大小为4的归一化信号;取0到1之间的任意连续数值: $a \in [0, 1]^4$;

[0121] 运动频率设定单元:用于设定机器人的周期运动频率为 f ;

[0122] 运动周期计算单元:用于计算完整运动周期长度: $T = 1/f$;

[0123] 整机相位状态计算单元:用于对于运动时的时刻 t ,计算整机相位状态: $\theta_{com} = 2\pi * (t/T), t \in [0, T)$;

[0124] 相位偏移计算单元:用于以跑动步态作为机器人的基本步态,在此步态下,分别计算四条腿的相位偏移: $\phi_1 = 0, \phi_2 = 0.5 \times 2\pi, \phi_3 = 0, \phi_4 = 0.5 \times 2\pi$;其中 ϕ_1 到 ϕ_4 分别代表左前腿、右前腿、左后腿、右后腿的相位偏移;

[0125] 相位角计算单元:用于在整机相位状态上叠加每条腿的相位偏移,计算得到每条腿的相位角,由下式计算: $\theta_i(t) = \theta_{com} + \phi_i, t \in [0, T), i = 1, 2, 3, 4$;其中 i 从1到4分别代表左前腿、右前腿、左后腿、右后腿;

[0126] 极径计算单元:用于计算得到对应当前相位的运动位置对应的极径: $\rho(\theta) = a \times B(\theta), \theta = \theta(t) \in [0, 2\pi)$;

[0127] 极坐标计算单元:用于得出当前时刻 t 下的运动位置的极坐标 (θ, ρ) 。

[0128] 另外,电机转动角度计算模块具体包括:

[0129] 笛卡尔坐标计算单元:用于通过坐标变换,重新得到笛卡尔坐标系下的运动位置坐标:

$$\begin{aligned} y &= C_y + \rho(\theta) \cos \theta, \\ z &= C_z + \rho(\theta) \sin \theta \end{aligned}$$

[0131] 其中, y - z 平面是机器人每条腿的运动平面;

[0132] 逆运动学解算单元:用于对运动平面的笛卡尔坐标进行逆运动学解算,得到末端点位置对应的电机转动角度 (q_1, q_2) 。

[0133] 实施例3

[0134] 本实施例提供一种小型仿生鼠四足机器人,包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序,以实现实施例1所述的小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法。

[0135] 实施例4

[0136] 本实施例提供一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该程序被处理器执行,以用于实现实施例1所述的小型仿生鼠四足机器人的步态控制方法。

[0137] 显然,本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所作的举例,而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明权利要求的保护范围之内。

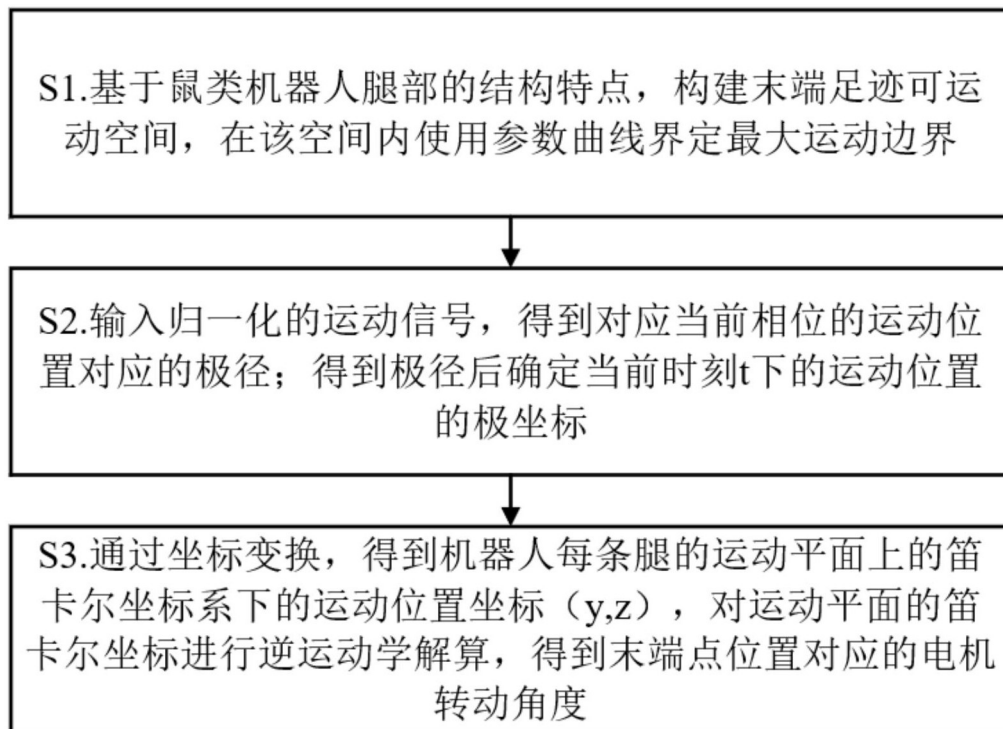


图1

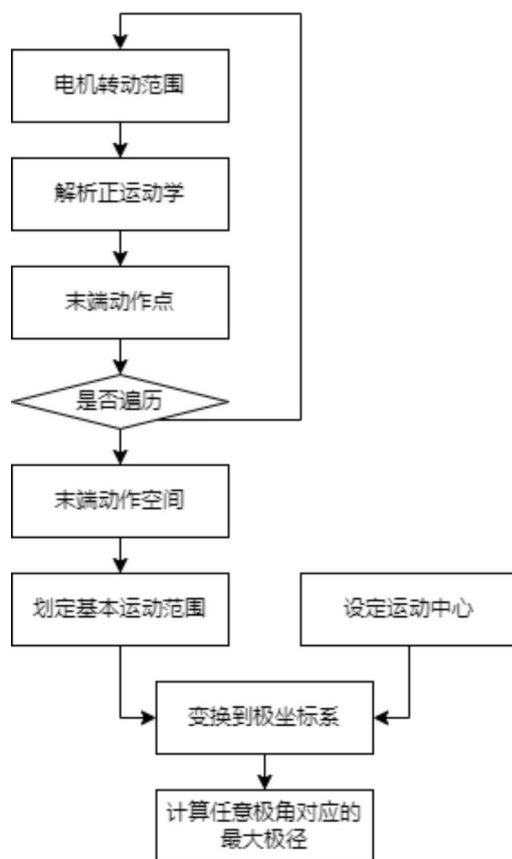


图2

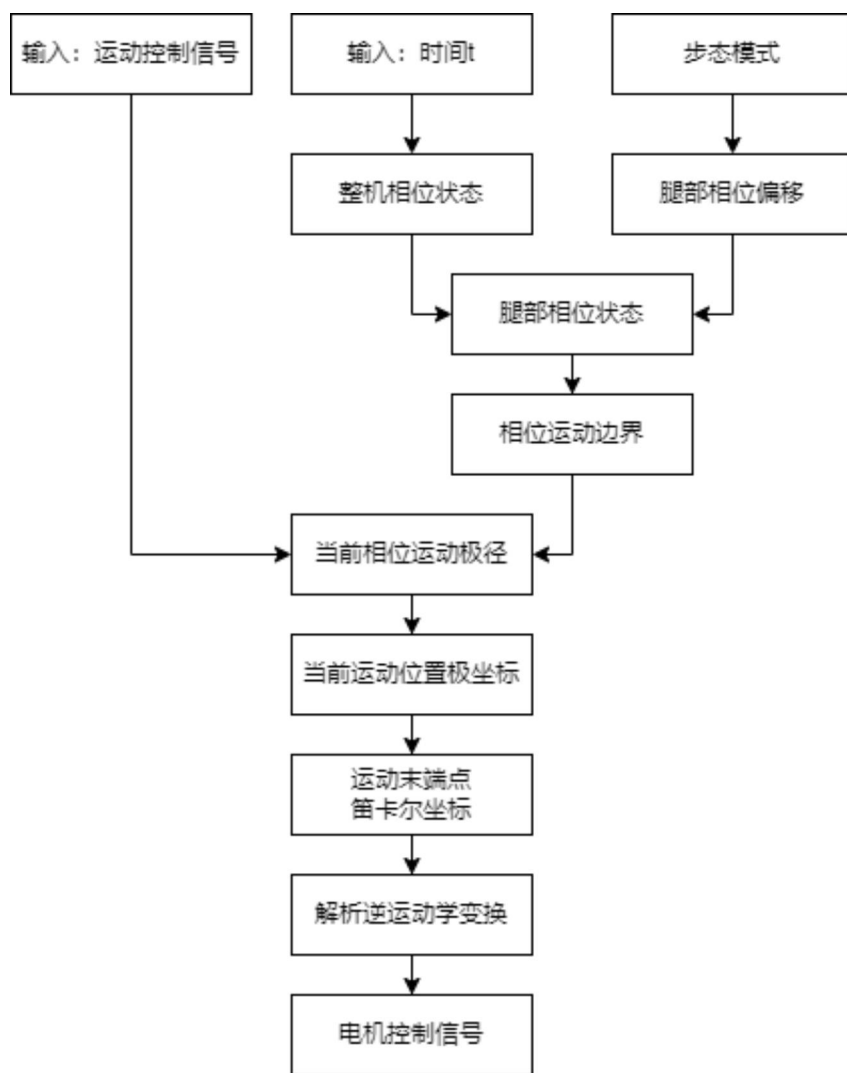


图3

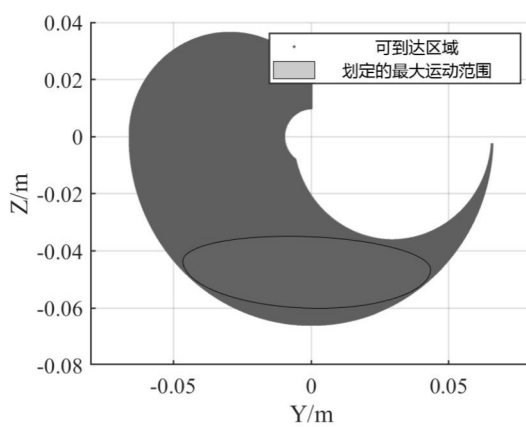


图4

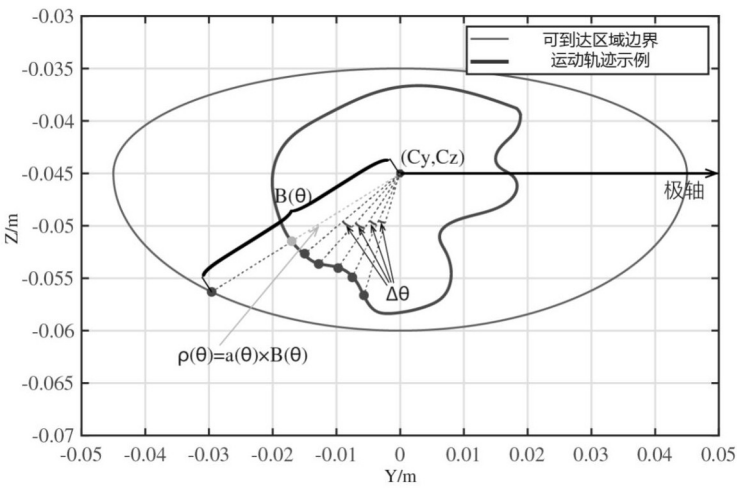


图5