

六轮移动机器人运动学建模与仿真^①

王殿君^{②*} 吴 乐^{③**} 郑世杰^{***} 关似玉^{*} 刘占民^{*}

(* 北京石油化工学院机械工程学院 北京 102617)

(** 北京化工大学机电工程学院 北京 100029)

(*** 机器时代(北京)科技有限公司 北京 100083)

摘 要 针对石化行业的需求,设计了一款具有较强运动灵活性的适合在狭小空间、复杂环境中工作的六轮移动机器人。采用 4 个全向轮与两个普通橡胶车轮混搭的车轮配置方案,建立机器人的运动学模型,并分析了车轮的运动参数与机器人本体位姿之间的关系;运用 ADAMS 仿真软件构建了机器人的仿真模型,通过对直线行驶、原地转向性能进行运动学仿真,得到了机器人的运动学曲线,验证了运动学理论模型的正确性和机器人机构设计的合理性。原地转向误差实验表明,机器人具有较强的原地转向能力,原地转向最小误差可达到 2.299mm,较好地满足了该机器人的高灵活性需求。

关键词 六轮移动机器人, 运动学模型, 运动学仿真, 原地转向误差实验

0 引 言

近年来,随着机器人技术的快速发展,移动机器人以其具有运动灵活性、复杂环境适应性等优点而备受关注。根据移动方式的不同,全地形移动机器人可分为轮式、腿式、履带式、组合式等类型^[1]。其中,轮式移动机器人的优点是机械结构简单、承载力大、控制系统简单、行驶速度较快。按照车轮数量主要包括单轮式、三轮式、四轮式、五轮式、六轮式等^[2]。最具有代表性的有日本 NASDA 公司研制的 Tri-star II 三轮移动机器人,但其机械结构很不稳定,越障能力有限。美国的 Klarer 等人研制了 RATLER 四轮全地形月球探测机器人,其本体质心与几何中心重合,才能保证机器人的运动灵活性^[3]。日本宇航开发局(JAXA)与美国 CMU 大学联合研制了五轮全地形移动机器人 Micro 5,其具有较强的越野性和稳定性。现有的六轮全地形移动机器人是由瑞士

自动化研究所(SASL)研制的 SHRIMP^[4]。本研究针对石油化工企业在危险工作环境巡检工作的需求,设计了一款能够代替工作人员完成巡视检查任务的巡检机器人。考虑到石化巡检环境的工作空间可能会很狭窄,巡检机器人的移动平台就需要具有较强的运动灵活性。本文以六轮移动机器人为研究对象,利用全方位移动机器人的运动特性,采用全方位轮和普通车轮的混合配置方案建立机器人的运动学模型^[5],通过 ADAMS 仿真分析,并进行了原地转向误差实验,分析其运动灵活性。

1 六轮移动机器人的结构及运动学建模

1.1 六轮移动机器人的结构

本文根据石化企业的巡检环境需要,设计了一款转向灵活的六轮移动机器人,其三维模型如图 1 所示。转弯半径是衡量移动机器人灵活转向能力的

① 863 计划(2012AA041402)资助项目。
② 男,1973 年生,博士,教授;研究方向:光电检测与机器人应用技术;E-mail: wangdianjun@bipt.edu.cn
③ 通讯作者,E-mail: 1052797933@qq.com
(收稿日期:2016-09-06)

重要指标,转弯半径越小,转向越灵活。本文设计要求机器人的转弯半径为 0mm。

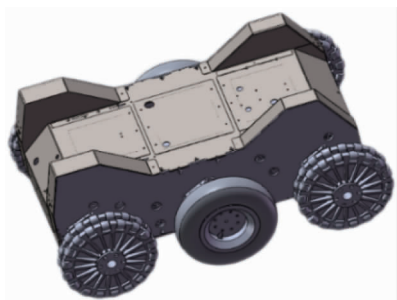


图1 机器人整体的装配图

1.2 机器人运动学建模

轮式移动机器人的运动学模型主要是研究轮子的运动参数与机器人本体位姿之间的关系,它是移动机器人轨迹控制的基础^[6]。每个轮子对机器人的运动既有驱动作用,又有约束作用,并且每个轮子的运动变化都会导致机器人位姿的变化。因此,需要用统一的机器人坐标系来表达各个轮子的运动速度和方向,同时在世界坐标系与机器人坐标系之间需要具有一个清晰的转换关系。

为了便于建立六车轮运动与机器人本体运动之间的关系模型,作了如下假设:

- (1) 机器人本体视为刚体;
- (2) 机器人在水平面上移动;
- (3) 机器人本体的结构中心与重心重合;
- (4) 轮子与地面之间的摩擦力足以保证轮子不发生打滑现象。

本文所设计的六轮移动机器人所配备的车轮主要有全向轮、普通橡胶车轮,由于单独的全向轮无法实现原地转向,这里采用了4个全向轮、2个橡胶车轮,其中4个全向轮位于机器人前后位置,2个橡胶车轮位于机器人中间位置。

为了建立六轮移动机器人的运动学模型,绘制了机器人运动参数及结构尺寸示意图,如图2所示。

XPY 为机器人坐标系, P 为机器人运动的中心, O_1-O_6 为各车轮中心,车轮半径均为 R , 设4个全向轮绕轮轴转动的角速度分别为 $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$; 4个全向轮上从动轮的速度分别为 $v_{g1}, v_{g2}, v_{g3}, v_{g4}$; 2个

橡胶车轮绕轮轴转动的角速度分别为 ω_5, ω_6 ; 2个橡胶车轮沿 X 轴方向的速度为 v_5, v_6 ; 机器人运动中心点 P 的速度为 $[v_x, v_y, \omega_p]$, 其中 v_x 为机器人沿 X 轴方向的行驶速度, v_y 为机器人沿 Y 轴方向的行驶速度, ω_p 为机器中心点 P 的角速度。

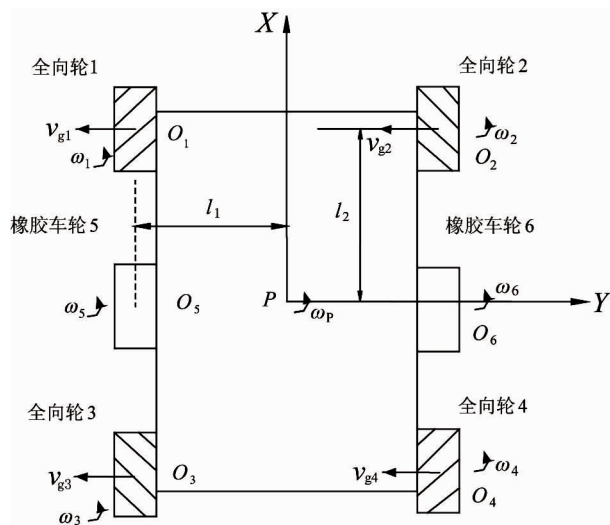


图2 机器人的运动参数及结构尺寸示意图

(1) 全向轮的运动学方程

全向轮是由海丹等人研发的一款专利产品。图3为全向轮的结构示意图,它是由轮毂和从动轮组成的,在轮毂的外缘均匀地安装有可绕自身轴线自由转动的从动轮,从动轮轴线与轮毂轴线的夹角为 90° 。当全向轮转动时,轮毂是主动机构,从动轮是从动机构,并能绕自身轴线旋转,这样机器人在横向移动时产生滚动摩擦力,从动轮就可以提供与轮毂轴线重合的扭矩,所有从动轮扭矩的合成提高了机器人的全方位移动能力^[7]。因此,全向轮以其具有良好的移动性能得到了广泛的应用,其实物如图4所示。



图3 全向轮的结构示意图



图 4 全向轮实物图

当六轮移动机器人的电机驱动全向轮旋转时,全向轮会有两种运动:一是前后移动;二是与地面接触的从动轮绕其自身轴线旋转。在机器人坐标系 XPY 下,设全向轮 1 中心点 O_1 的移动速度为 v_{1X} 、 v_{1Y} ,可以得出

$$v_{1X} = \omega_1 R \quad (1)$$

$$v_{1Y} = -v_{g1} \quad (2)$$

全向轮固连在移动机器人上,由机器人的整体速度可得

$$v_{1X} = v_X - \omega_P l_1 \quad (3)$$

$$v_{1Y} = v_Y - \omega_P l_2 \quad (4)$$

联立式(1) - (4)可得

$$\begin{cases} v_X - \omega_P l_1 = \omega_1 R \\ v_Y - \omega_P l_2 = -v_{g1} \end{cases} \quad (5)$$

由式(5)可以得出全向轮 1 的转动角速度 ω_1 及从动轮速度 v_{g1} :

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{1}{R}(v_X - \omega_P l_1) \\ &= \frac{1}{R}(1 \quad 0 \quad -l_1) \begin{bmatrix} v_X \\ v_Y \\ \omega_P \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6)$$

$$v_{g1} = -v_Y + l_2 \omega_P = (0 \quad -1 \quad l_2) \begin{bmatrix} v_X \\ v_Y \\ \omega_P \end{bmatrix} \quad (7)$$

同理分析全向轮 2、全向轮 3、全向轮 4 可得

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 \quad (8)$$

$$v_{g1} = v_{g2} = v_{g3} = v_{g4} \quad (9)$$

综上所述得,4 个全向轮的转动角速度 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 、 ω_4 及从动轮速度 v_{g1} 、 v_{g2} 、 v_{g3} 、 v_{g4} 与机器人中心点 P 的运动状态矢量 $[v_X, v_Y, \omega_P]$ 之间的关系如下:

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{R} & 0 & -\frac{l_1}{R} \\ \frac{1}{R} & 0 & \frac{l_1}{R} \\ \frac{1}{R} & 0 & -\frac{l_1}{R} \\ \frac{1}{R} & 0 & \frac{l_1}{R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_X \\ v_Y \\ \omega_P \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} v_{g1} \\ v_{g2} \\ v_{g3} \\ v_{g4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & l_2 \\ 0 & -1 & l_2 \\ 0 & -1 & -l_2 \\ 0 & -1 & -l_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_X \\ v_Y \\ \omega_P \end{bmatrix} \quad (11)$$

(2) 橡胶车轮的运动学方程

当电机驱动橡胶车轮旋转时,车轮只有一个运动,就是前后移动。其实物如图 5 所示。



图 5 橡胶车轮实物图

在机器人坐标系 XPY 下,设橡胶车轮 5 中心点 O_5 的移动速度为 v_5 ,橡胶车轮 6 中心点 O_6 的移动速度为 v_6 ,得出

$$v_5 = \omega_5 R \quad (12)$$

$$v_6 = \omega_6 R \quad (13)$$

橡胶车轮只能使机器人产生沿 X 轴方向的行驶速度,则有

$$\begin{aligned} v_X &= \frac{v_6 + v_5}{2} = \frac{\omega_6 R + \omega_5 R}{2} \\ &= \frac{R}{2} \omega_6 + \frac{R}{2} \omega_5 \end{aligned} \quad (14)$$

机器人的转动角速度为

$$\begin{aligned} \omega_P &= \frac{v_6 - v_5}{2l_1} = \frac{\omega_6 R - \omega_5 R}{2l_1} \\ &= \frac{R}{2l_1} \omega_6 - \frac{R}{2l_1} \omega_5 \end{aligned} \quad (15)$$

联立式(14)和(15)可以得出 2 个橡胶车轮的

转动角速度 ω_5, ω_6 与机器人中心点 P 的运动状态矢量 $[v_x, v_y, \omega_p]$ 之间的关系为

$$\begin{bmatrix} \omega_5 \\ \omega_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{R} & 0 & -\frac{l_1}{R} \\ \frac{1}{R} & 0 & \frac{l_1}{R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_p \end{bmatrix} \quad (16)$$

(3) 六轮移动机器人的整体运动学方程

通过对全向轮和橡胶车轮进行运动学分析,联立式(10)、式(11)和式(16)建立机器人在机器人坐标系 XPY 下的运动学方程为

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \\ \omega_5 \\ \omega_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{R} & 0 & -\frac{l_1}{R} \\ \frac{1}{R} & 0 & \frac{l_1}{R} \\ \frac{1}{R} & 0 & -\frac{l_1}{R} \\ \frac{1}{R} & 0 & \frac{l_1}{R} \\ \frac{1}{R} & 0 & -\frac{l_1}{R} \\ \frac{1}{R} & 0 & \frac{l_1}{R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_p \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} v_{g1} \\ v_{g2} \\ v_{g3} \\ v_{g4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & l_2 \\ 0 & -1 & l_2 \\ 0 & -1 & -l_2 \\ 0 & -1 & -l_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_p \end{bmatrix} \quad (18)$$

分析式(17)和(18)可以得出以下结论:

(1) 当 $v_x=0, v_y=0, \omega_p \neq 0$ 时,机器人可以实现原地转向运动,即

$$\begin{cases} \omega_1 = -\omega_2 = \omega_3 = -\omega_4 = \omega_5 = -\omega_6 = -\frac{l_1}{R}\omega_p \\ v_{g1} = v_{g2} = -v_{g3} = -v_{g4} = l_2\omega_p \end{cases} \quad (19)$$

(2) 当 $v_x \neq 0, v_y=0, \omega_p=0$ 时,机器人可以实现直线行驶,即

$$\begin{cases} \omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_6 = \frac{1}{R}v_x \\ v_{g1} = v_{g2} = v_{g3} = v_{g4} = 0 \end{cases} \quad (20)$$

(3) 当 $v_x = v\cos\theta, v_y = v\sin\theta, \omega_p=0$ 时,机器人可以实现沿与 X 轴成 θ 角度的速度 v (v 为 v_x 和 v_y

的合速度)行驶,即

$$\begin{cases} \omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_6 = \frac{1}{R}v\cos\theta \\ v_{g1} = v_{g2} = v_{g3} = v_{g4} = -v\sin\theta \end{cases} \quad (21)$$

为了确定机器人的位姿,需要将机器人在世界坐标系 xoy 中的运动转换到机器人在坐标系 XPY 中的运动,机器人在世界坐标的位置和姿态如图 6 所示。

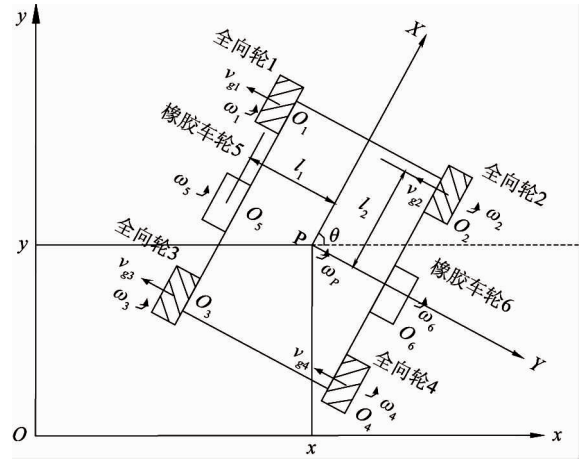


图 6 在世界坐标系 xoy 中机器人的位姿

图中, xoy 表示平面世界坐标系, XPY 表示机器人坐标系, P 为机器人本体的中心点,一般该点与机器人本体的质心重合。世界坐标系与机器人坐标系的夹角为 θ , 机器人本体中心点 P 的位置可以由世界坐标系中的 x, y 确定。

因此机器人在世界坐标系下的位姿 ξ_o 可以由 x, y, θ 3 个矢量表示为

$$\xi_o = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (22)$$

为了根据轮子的运动表示机器人本体的运动,需要把沿世界坐标系的运动转换成沿机器人坐标系的运动,实现该转换的正交旋转矩阵为

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

根据该正交旋转矩阵将世界坐标系 $\{x, y\}$ 中的运动转换到机器人坐标系 $\{X, Y\}$ 中的运动,其中 ξ_o

表示机器人坐标系下机器人的位姿,用下式表示:

$$\xi_P = R(\theta)\xi_o \tag{24}$$

反之可得,将机器人坐标系 $\{X,Y\}$ 中的运动转换到世界坐标系 $\{x,y\}$ 中的运动为

$$\xi_o = R(\theta)^{-1}\xi_P \tag{25}$$

根据式(17)、式(18)和式(24)可得出机器人 4 个全向轮中从动轮的速度及 6 个车轮的转动角速度与机器人中心点 P 在世界坐标系中位置坐标之间的关系式:

$$\begin{bmatrix} v_{g1} \\ v_{g2} \\ v_{g3} \\ v_{g4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta & -\cos\theta & l_2 \\ \sin\theta & -\cos\theta & l_2 \\ \sin\theta & -\cos\theta & -l_2 \\ \sin\theta & -\cos\theta & -l_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \tag{26}$$

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \\ \omega_5 \\ \omega_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\cos\theta}{R} & -\frac{\sin\theta}{R} & -\frac{l_1}{R} \\ \frac{\cos\theta}{R} & -\frac{\sin\theta}{R} & -\frac{l_1}{R} \\ \frac{\cos\theta}{R} & -\frac{\sin\theta}{R} & -\frac{l_1}{R} \\ \frac{\cos\theta}{R} & -\frac{\sin\theta}{R} & -\frac{l_1}{R} \\ \frac{\cos\theta}{R} & -\frac{\sin\theta}{R} & -\frac{l_1}{R} \\ \frac{\cos\theta}{R} & -\frac{\sin\theta}{R} & -\frac{l_1}{R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \tag{27}$$

2 六轮移动机器人运动学仿真

2.1 机器人仿真模型的建立

该机器人具有较多的零部件,若将整个三维模型导入 ADAMS 中,则会导致零部件之间的连接关系失效,这就需要逐个设置所有零件之间的连接关系和连接点,不仅工作量大容易出错而且没有必要,因此必须在 SolidWorks 建模环境中合理简化机器人的模型(如图 7),再导入到 ADAMS 中进行仿真^[8],虚拟样机如图 8 所示。

2.2 机器人运动学仿真

为了得到相对准确的仿真结果,仿真过程不考虑机器人的传动系统。本文基于 ADAMS 的仿真主要分为两大部分,分别是直线行驶仿真和原地旋转

仿真。

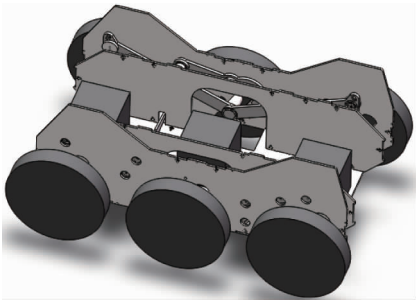


图 7 简化的机器人模型

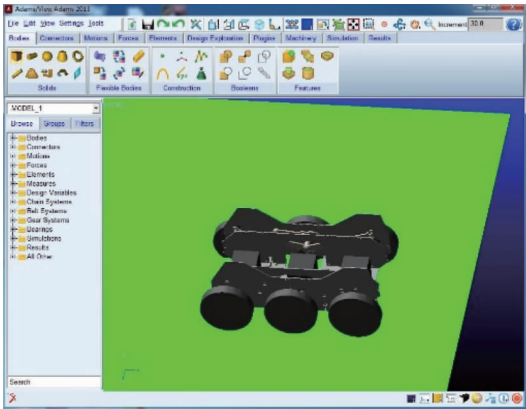


图 8 运动学仿真的虚拟样机

(1) 直线行驶仿真

根据运动学模型可以看出,当机器人直线行驶时,6 个车轮的角速度相同,其中全向轮上的从动轮不绕自身轴线转动。设置 6 个车轮上的驱动函数均为 $\text{step}(\text{time}, 0, 0d, 1, 120.38d) + \text{step}(\text{time}, 1, 0d, 2, 0d) + \text{step}(\text{time}, 2, 0d, 3, -120.38d)$ 。根据设置的驱动函数绘制车轮运动的角速度曲线,如图 9 所示。

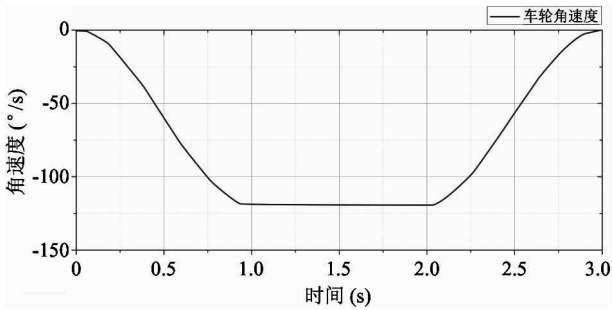


图 9 机器人车轮的角速度曲线

机器人车轮的运动参数为仿真的已知条件,仿真结束后,利用 ADAMS 软件的后处理工具得出机器人质心在 X 、 Y 、 Z 方向的位移曲线如图 10 所示,机器人质心的速度及加速度曲线如图 11 所示。

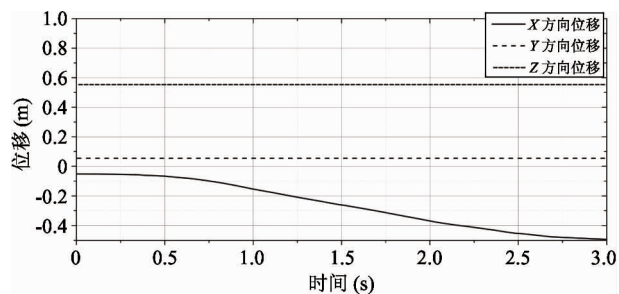


图 10 机器人质心在 X 、 Y 、 Z 方向的位移曲线

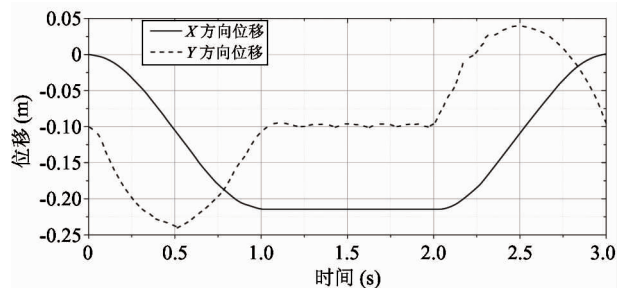


图 11 机器人质心的速度及加速度曲线

由图 10 可以看出,虚拟样机质心在 X 方向的位移为 0.42m,在 Y 、 Z 方向没有位移变化,说明 ADAMS 仿真实现了机器人沿着 X 方向的直线行驶,通过对比机器人质心变化可以看出机器人的车轮位置只是沿 X 方向发生变化,而姿态保持不变,计算车轮运动参数只需要通过式(26)即可。

由图 9 和图 11 的对比可以看出,机器人 6 个车轮的运动速度曲线与机器人质心的运动速度曲线的趋势相同,说明根据运动学模型设置虚拟样机的运动参数可以实现直线行驶。以上曲线验证了机器人直线行驶时理论模型的正确性以及结构设计的合理性。

(2) 原地转向仿真

根据运动学模型可以看出,当机器人原地转向时,6 个车轮的角速度关系为 $\omega_1 = -\omega_2 = \omega_3 = -\omega_4 = \omega_5 = -\omega_6$,其中全向轮中从动轮的速度关系为 $v_{g1} = v_{g2} = -v_{g3} = -v_{g4}$ 。这里设置左侧车轮的驱动函数均为 $\text{step}(\text{time}, 0, 0d, 0.5, 124.11d) + \text{step}$

$(\text{time}, 0.5, 0d, 1.1, 0d) + \text{step}(\text{time}, 1.1, 0d, 1.6, -124.11d)$,右侧车轮的驱动函数均为 $\text{step}(\text{time}, 0, 0d, 0.5, -124.11d) + \text{step}(\text{time}, 0.5, 0d, 1.1, 0d) + \text{step}(\text{time}, 1.1, 0d, 1.6, 124.11d)$ 。根据设置的驱动函数绘制机器人车轮的速度曲线。左侧车轮的角速度曲线如图 12 所示,右侧车轮的角速度曲线如图 13 所示。

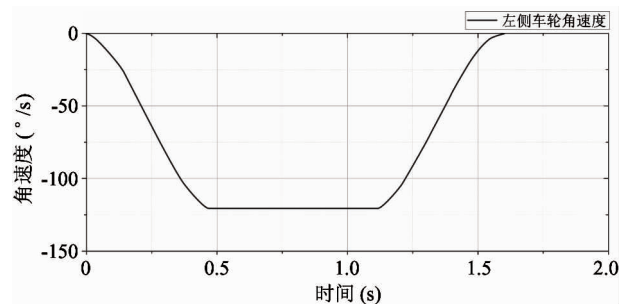


图 12 左侧车轮的角速度曲线

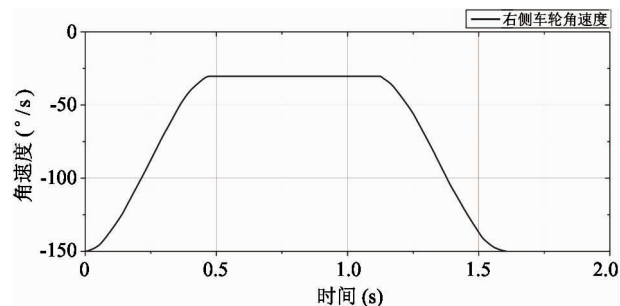


图 13 右侧车轮的角速度曲线

机器人左右两侧车轮的运动参数为仿真的已知条件,仿真结束后,利用 ADAMS 软件的后处理工具可以得出机器人质心在 X 轴方向的位移曲线如图 14 所示,机器人质心在 Z 轴(该 Z 轴即为图 2 中的 Y 轴)方向的位移曲线如图 15 所示。

由图 14 和图 15 可以看出,机器人质心在 X 轴方向的位移差值在 3mm 以内,机器人质心在 Z 轴方向的位移差值在 2.5mm 以内,机器人的位置与姿态均发生改变,计算车轮运动参数需要同时运用式(26)和式(27)。其计算结果相对于机器人的总体尺寸来说误差较小,可以忽略,所以这两条曲线足以证明机器人实现了绕 Y 轴的原地转向运动。以上运动学仿真验证了机器人原地转向时运动学模型的正确性以及机器人结构设计的合理性。

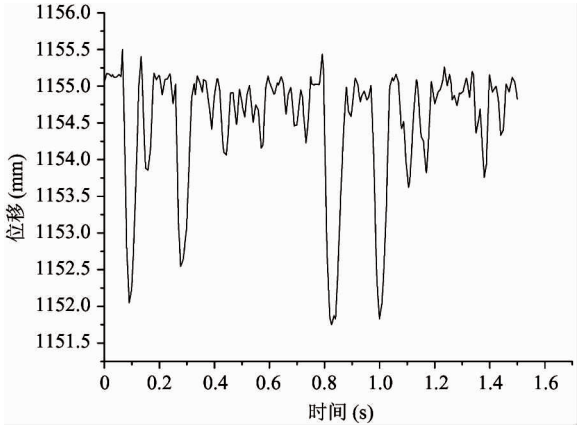


图 14 机器人质心在 X 轴方向的位移曲线

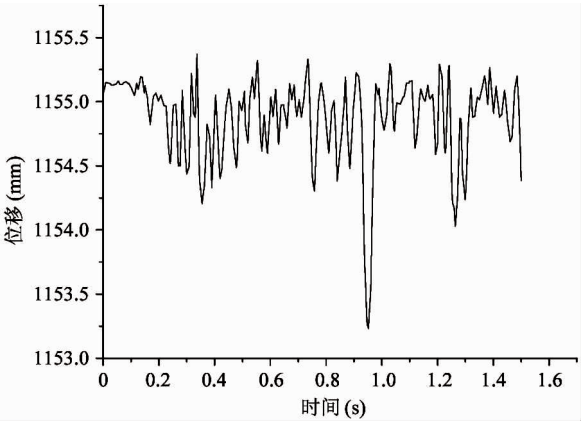


图 15 机器人质心在 Z 轴方向的位移曲线

3 原地转向误差实验

采用美国 FARO 公司的 X 型激光跟踪仪系统对样机的原地转向误差进行测量,如图 16 所示。激光跟踪仪的测量原理是:将靶球放在待测物上,通过靶球来接收与反射激光跟踪仪发出的激光,从而确定待测物的空间坐标值^[9]。



图 16 样机原地转向误差实验平台

具体实验方案为:在样机的几何旋转中心做个标记,并将靶球放在标记点上,样机原地转向前取一个旋转中心的空间坐标值,然后控制样机旋转一圈后停止,再次取一个旋转中心的空间坐标值。这样重复 20 次,一共取了 20 个旋转中心的坐标值。根据实验数据绘制样机旋转中心的空间坐标在 X、Y 轴方向的位移变化曲线,如图 17 所示。样机原地转向误差的结果如表 1 所示。

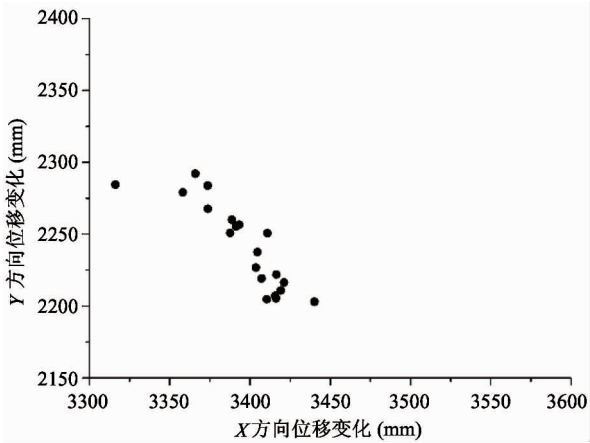


图 17 样机原地转向误差实验结果曲线

表 1 样机原地转向误差实验结果

旋转圈数	旋转前坐标		旋转后坐标		原地转向误差 (mm)
	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	
1	3358.196	2278.942	3365.923	2291.992	15.166
2	3365.923	2291.992	3316.253	2284.369	50.252
3	3316.253	2284.369	3373.750	2283.729	57.501
4	3373.750	2283.729	3373.704	2267.523	16.206
5	3373.704	2267.523	3388.779	2260.010	16.843
6	3388.779	2260.010	3393.255	2256.515	5.679

(续表 1)

7	3393.255	2256.515	3391.306	2255.296	2.299
8	3391.306	2255.296	3387.703	2250.789	5.770
9	3387.703	2250.789	3410.841	2250.511	23.140
10	3410.841	2250.511	3404.658	2237.460	14.442
11	3404.658	2237.460	3403.667	2226.714	10.792
12	3403.667	2226.714	3407.273	2219.208	8.327
13	3407.273	2219.208	3416.481	2221.925	9.600
14	3416.481	2221.925	3421.309	2216.224	7.471
15	3421.309	2216.224	3419.282	2210.780	5.809
16	3419.282	2210.780	3415.743	2206.964	5.204
17	3415.743	2206.964	3410.532	2204.791	5.646
18	3410.532	2204.791	3416.304	2205.318	5.796
19	3416.304	2205.318	3440.194	2202.970	24.005
20	3440.194	2202.970	3450.109	2193.972	13.389

通过结果数据可以看出,样机原地转向的最大误差为 57.501mm,最小误差为 2.299mm,平均误差为 15.166mm,该误差值相对于机器人整体尺寸 700mm×460mm×310mm 来说较小。此实验结果与运动学理论模型的分析结果相同,说明该样机转向灵活,可以在狭窄的空间移动,满足设计要求。

4 结 论

(1)根据由四个全向轮与两个普通橡胶车轮组成的机器人车轮配置方案,建立了机器人的运动学理论模型,分析了机器人在直线、原地转向、斜向行驶时车轮的运动参数与机器人本体位姿之间的关系,为六轮移动机器人的运动控制和路径规划提供了理论基础。

(2)利用 ADAMS 软件建立了机器人的运动学仿真模型,对直线行驶和原地转向进行了仿真,得出虚拟样机可以实现直线行走和原地转向,同时验证了运动学模型的正确性。

(3)原地转向误差实验表明,六轮全地形移动机器人具备原地转向能力,可应用于空间狭小的复杂地形。

参考文献

[1] 王一治,常德功. Mecanum 四轮全方位系统的运动性能分析及结构形式优选. 机械工程学报, 2009,45(5): 307-310

[2] Muir P F, Neuman C P. Kinematic modeling for feedback control of an omnidirectional wheeled mobile robot. In: Proceedings of the 1987 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Raleigh, USA, 1987. 1772-1778

[3] 翟敬梅,康博,张铁. 六自由度喷涂机器人动力学分析及仿真. 机械设计与制造, 2012, 1:169-171

[4] 石维亮,王兴松,贾茜. 基于 Mecanum 轮的全向移动机器人的研制. 机械工程师, 2007, 9: 18-21

[5] Stephan K D, Michael K, Michael M G, et al. Social implications of technology: the past, the present, and the future. *Proceedings of the IEEE*, 2012, 100(5): 1752-1781

[6] 曹冲振,王凤芹,张吉亮等. 虾形六轮移动机器人尾部越障性能分析. 机械设计与制造, 2009, 11: 164-166

[7] Wilson L, Williams C, Yance J, et al. Design and modeling of a redundant omni-directional RoboCup Goalie. In: Proceedings of RoboCup International Symposium, Seattle, USA, 2009

[8] 徐坤,郑羿,丁希仑. 六轮腿式机器人结构设计与运动模式分析. 北京航空航天大学学报, 2016, 42(1):59-71

[9] 宋小康,谈大龙,吴镇炜等. 全地形轮式移动机器人运动学建模与分析. 机械工程学报, 2008, 44(6):148-154

Kinematics modeling and simulation of a six wheeled mobile robot

Wang Dianjun^{*}, Wu Le^{**}, Zheng Shijie^{***}, Guan Siyu^{*}, Liu Zhanmin^{*}

(^{*} College of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617)

(^{**} College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029)

(^{***} Robot Time (Beijing) Technologies CO., LTD., Beijing 100083)

Abstract

To meet the needs of the petrochemical industry, a six wheeled mobile robot with strong flexibility and the ability to work in narrow space and complex environments was designed. The kinematics model of the robot was set up by using the wheel configuration of mixing four omnidirectional wheels with two ordinary rubber wheels, and the relationship between the wheel moving parameters and the position appearance of the robot was analyzed, The ADAMS software was adopted to build the simulation model of the robot, and through the kinematics simulation of the performance of linear driving and pivot steering, the robot's kinematics curve was obtained, thus the correctness of the kinematic model and the rationality of the robots' mechanism design were verified. The results of the on situ steering error experiment showed the robot's strong ability to place steering. Its minimum error reached 2.299mm, meeting the needs of the robot's high flexibility.

Key words: six wheeled mobile robot, kinematic model, kinematics simulation, in situ steering error experiment