

全方位移动平台运动分析与仿真

刘中新,张春亮,王占富

(中国空空导弹研究院,河南 洛阳 471009)

Omnidirectional Mobile Platform Motion Analysis and Simulation

LIU Zhong-xin, ZHANG Chun-liang, WANG Zhan-fu

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

摘要:介绍麦克纳姆轮的原理结构。理论分析平台下4个麦克纳姆轮的组合情况及不同运动形式,所受到的驱动力大小和方向;运用运动学方程,确定了轮子的转速和平台移动速度的关系;确定了鼓形辊子的尺寸设计方法,并且进行了基于ADAMS软件的运动仿真。

关键词:麦克纳姆轮;驱动力;鼓形辊子;ADAMS仿真

中图分类号:TJ760.2

文献标识码:B

收稿日期:2013-03-04

文章编号:1001-2257(2013)08-0016-04

Abstract: This paper introduced the principle structure of Mecanum Wheel which is a quite mature technology, theoretically analyzed the combination condition of four Mecanum wheel under the platform as well as the size and direction of driving force in different forms of movement; Using the kinematics equation, determined the rotational speed of the wheel and the relationship of the platform moving velocity; Clarified the size designing method of drum-shaped roller, and made a motional simulation based on the ADAMS software.

合理的维修性评价结论的难题。该方法简单、实用性强,为雷达及其他复杂机电产品的维修性评价提供了一种新的解决途径。

参考文献:

- [1] 刘福成,尚朝轩.基于改进型模糊层次法的维修性综合评估研究[J].电子产品可靠性与环境试验,2010,28(3):15-18.
- [2] Shozo Takata, Yuu Inoue. Maintenance data management system[J]. Annals of the C IRP, 1999, 48(1): 389-392.
- [3] Wani MF, Gandhi OP. Development of maintainability Index for mechanical systems[J]. Reliability Engineering & System Safety, 1999, 65(3): 259-270.
- [4] Vujosevic R, Raskar R. Simulation, animation and analysis of design disassembly for maintainability analysis [J]. Production Research, 1995, 33(11): 2999-3022.
- [5] 曾毅,尚建忠,曹玉君,等.维修性设计中的可视性评价方法研究[J].工程图学学报,2009,(1):70-74.
- [6] GJB/Z 20365-1996.军用装备维修基本术语[S].
- [7] 李星新,郝建平,柳辉.虚拟维修仿真中维修动素的

设计与实现[J].中国机械工程,2005,16(2):156-160.

- [8] 陆中.民用飞机维修性并行设计关键技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2009.
- [9] GJB/Z 145-2006.维修性建模指南[S].
- [10] 陆中,孙有朝.基于模糊多属性决策理论的虚拟产品维修性评价模型研究[J].中国工程机械,2009,20(24):2978-2983.
- [11] 刘明周,胡震,郭嘉,等.虚拟制造环境下模特的应用[J].机械工程师,2005,(4):56-58.
- [12] McAtamney L, Nigel Corlett E. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb Disorders [J]. Applied Ergonomics, 1993, 24(2):91-99.
- [13] 崔晓风,项昌乐,王战军,等.特种车辆维修视觉可达性评价方法研究[J].计算机仿真,2011,28(3):349-353.

作者简介:陈帝江(1983-),男,安徽庐江人,硕士,工程师,研究方向为雷达结构设计、智能CAD和数字样机技术;张红旗(1975-),男,安徽合肥人,高级工程师,硕士研究生导师,研究方向为雷达结构设计、智能CAD和数字样机技术。

Key words: mecanum wheel; driving force; drum-shaped roller; ADAMS simulation

0 引言

常规的车通常采用的轮式转运设备,由普通车轮构成的行驶系统及相应的转向系统组成,在特定的情况下,如空间有限,作业通道狭窄工作时,存在着转弯半径大、空间利用率低、运动灵活性差和转运效率不高等诸多不利因素,严重影响了设备的工作效率。而基于麦克纳姆轮的全方位运动技术却可有效解决这一问题。采用该技术的全方位运动设备,可以在地面上产生3个自由度的全向运动(即横向移动、纵向移动和绕垂直于地面的Z轴转动),能够沿着任意路径到达目标地点,尤其在狭窄或拥挤的环境中,它仍然具有传统运动设备无法比拟的灵活运动特性。

1 车体运动受力分析

麦克纳姆轮这一设计方法是由瑞典人 Bengt Ilon 在 1973 年设计的。全方位移动车在底盘上安装了4个麦克纳姆轮,其中2个为左旋轮,2个为右旋轮,如图1所示,同旋向的按对角线放置。4个轮子由4个电机独立驱动转动,每个轮子上面沿着轮廓,按照一定角度斜放着鼓形辊子,按照一定角度斜放着鼓形辊子。鼓形辊子具有旋转的自由度。

车体的全方位移动就是通过这4个轮子的不同转向和转速的组合而实现的。轮子在电机的驱动下和地面之间发生滚动摩擦,而鼓形辊子直接和地面接触,地面给辊子的摩擦力就是驱动着车体移动的牵引力,方向为沿着辊子的轴线方向。

2 车体运动学分析^[1]

4个麦克纳姆轮由4个电机驱动,实现独立旋转,由鼓形辊子的安装方向和转动方向决定了摩擦力的方向,从而决定了车体的移动方向。设4个麦克纳姆轮的转动速度为 $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$;车体的速度为 v_1, v_2, ω_0 ;辊子的速度为 $v_{g1}, v_{g2}, v_{g3}, v_{g4}$ 。以轮1为例, O 为系统运动中心, O_1 为轮1轮毂中心。 XOY 为与车体运动中心固联的直角坐标系, $X_1O_1Y_1$ 为与轮毂中心固联的直角坐标系,如图1、图2所示。

《机械与电子》2013(8)

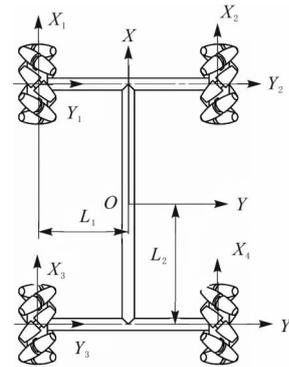


图1 麦克纳姆轮结构

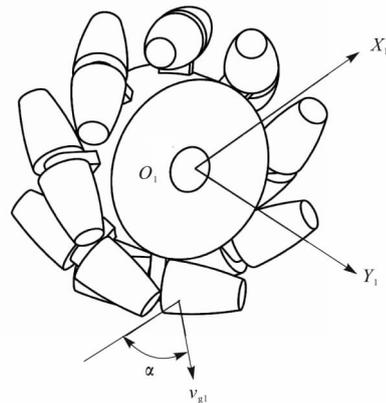


图2 轮1结构

在与车体固联的 XOY 坐标系下,轮1中心 O_1 点的移动速度为:

$$v_{O_1x} = v_x - \omega_0 L_1 \tag{1}$$

$$v_{O_1y} = v_y - \omega_0 L_2 \tag{2}$$

在与轮1固联的 $X_1O_1Y_1$ 坐标系下,轮1中心 O_1 点的移动速度为:

$$v_{O_1y} = v_{g1} \sin\alpha \tag{3}$$

$$v_{O_1x} = -v_{g1} \cos\alpha + \omega_1 R \tag{4}$$

由以上式(1)~式(4)联立得:

$$\begin{cases} v_x - \omega_0 L_1 = -v_{g1} \cos\alpha + \omega_1 R \\ v_y - \omega_0 L_2 = v_{g1} \sin\alpha \end{cases} \tag{5}$$

$$\omega_1 = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{\tan\alpha} & -(L_1 + \frac{L_2}{\tan\alpha}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_0 \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -(L_1 + L_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_0 \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$v_{g1} = \frac{v_x - v_y + \omega_0 (L_2 - L_1) - \omega_1 R}{\cos\alpha + \sin\alpha} \tag{7}$$

同理分析其他轮,可得^[2]:

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -(L_1+L_2) \\ 1 & -1 & (L_1+L_2) \\ 1 & -1 & -(L_1+L_2) \\ 1 & 1 & (L_1+L_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} v_{g1} \\ v_{g2} \\ v_{g3} \\ v_{g4} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -L_1+L_2 \\ 1 & 1 & L_1-L_2 \\ 1 & 1 & -L_1+L_2 \\ 1 & -1 & L_1-L_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 R \\ \omega_2 R \\ \omega_3 R \\ \omega_4 R \end{bmatrix} \quad (9)$$

由上式可以看出, v_x, v_y, ω_0 取不同值时, 车体可以实现全方位移动。当 $v_x=0, v_y=0, \omega_0 \neq 0$ 时, 即

$$\begin{cases} \omega_1 = -\omega_4 \\ \omega_2 = -\omega_3 \\ \omega_1 \neq \omega_2 \\ \omega_3 \neq \omega_4 \end{cases} \quad (10)$$

$$\omega_1 = -\omega_2 = \omega_3 = -\omega_4 = -\frac{L_1+L_2}{R} \omega_0 \quad (11)$$

车体可以实现原地旋转运动。当 $v_x = v \cos \theta, v_y = v \sin \theta, \omega_0 = 0$ 时, 车体就可以以 v 的速度沿与 X 轴成任意 θ 角运动, 且

$$\begin{aligned} \omega_1 = \omega_4 &= \frac{v \cos \theta + v \sin \theta}{R} \\ \omega_2 = \omega_3 &= \frac{v \cos \theta - v \sin \theta}{R} \end{aligned} \quad (12)$$

所以, 当已知移动机器人运行方式时, 可以计算出各个轮子所需转速 $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$, 实现系统预定轨迹的运动。

当车体前进移动时:

$$\begin{cases} v_x \neq 0 \\ v_y = 0 \\ \omega_0 = 0 \end{cases} \quad (13)$$

可推出:

$$\begin{cases} \omega_1 = \omega_2 \\ \omega_3 = \omega_4 \end{cases} \quad (14)$$

$$v_{g1} = \frac{v_x - v_y + \omega_0(L_2 - L_1) - \omega_1 R}{\cos \alpha + \sin \alpha} = \frac{R\omega_3 - R\omega_1}{2\sqrt{2}} \quad (15)$$

可见, 当 $\omega_1 = \omega_3$, 即 4 轮转速相等时, $v_{g1} = 0$ 。

以上说明, 当 4 个轮子均向前转动且速度相同时, 其上的鼓形辇子不转动, 如果前后轮的速度不同, 辇子就会转动。

3 轮体建模

3.1 辇子运动曲线

辇子滚动时, 与地面之间形成的一个圆周运动, 同时又要保证和地面接触的每个点所收到的驱动力的方向都是 45° 的复合运动。假设辇子个数为 n , 则一个辇子所走的圆周方向的弧长为 $\frac{2\pi r}{n}$, 所跨过的圆周角度为 $\frac{2\pi}{n}$, 则一个辇子在地面划过的轨迹如图 3 所示。

L_1 为圆周运动的弧线长度; L_2 为辇子和地面接触的轨迹。

$$L_3 = L_1 = \frac{2\pi r}{n} \quad (16)$$

n 为辇子的个数; r 为轮胎半径。 45° 夹角保证了每一个和地面接触的点所受的驱动力方向都是 45° 。将图 3 中和地面接触的轨迹再还原到单个轮子上, 即按照 $\frac{2\pi}{n}$ 角度卷起, 如图 4 所示。

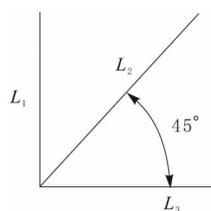


图 3 单个辇子和地面接触的轨迹



图 4 辇子运动轨迹

将图 4 沿圆柱面法线、切线方向投影得辇子运动轨迹, 如图 5 所示。

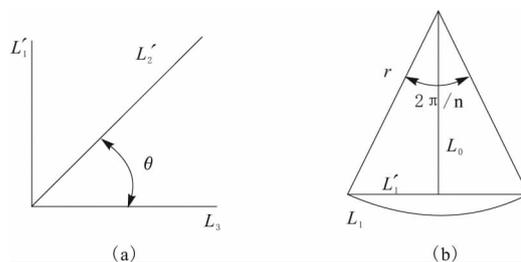


图 5 辇子运动轨迹投影

$$\tan \theta = \frac{L_1'}{L_3} = \frac{L_1'}{L_1} = \frac{2r \sin(\frac{\pi}{n})}{\frac{2\pi r}{n}} = \frac{n}{\pi} \sin(\frac{\pi}{n})$$

$$\theta = \arctan \frac{n}{\pi} \sin(\frac{\pi}{n}) \quad (17)$$

当辇子的个数越多, 安装的角度 θ 越接近 45° 。由图 4 可知, 只需按照相关尺寸设计成一个椭圆

圆结构,就可以保证轮子输出图 3 中的辊子的运动轨迹。将轮子的滑动摩擦转化为滚动摩擦。

3.2 辊子结构设计

由 A, B, C 3 点,可近似得到辊子的截面尺寸,如图 6 所示。

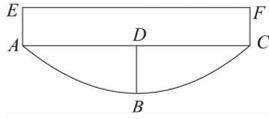


图 6 辊子截面

确定好图中 A, B, C, D 之间的尺寸关系,将此截面绕 EF 轴旋转 1 周即可近似得到辊子的结构。

$$\begin{cases} |AC| = L_2 = \frac{2\pi r}{n \cos \theta} \\ |BD| = r - L_0 = r(1 - \cos \frac{\pi}{n}) \end{cases} \quad (18)$$

|EA| 长度越大越好,只要满足相邻的 2 个辊子不干涉即可。

4 运动仿真分析

确定好轮子的半径和辊子的个数以后,可以计算出辊子的尺寸及安装角度,并可以利用 Pro/E 进行三维造型,将建好的模型导入 ADAMS 中进行仿真。在 ADAMS 中给每个辊子都赋予和地面的接触约束,并设置好刚度系数、最大阻尼系数及摩擦系数^[3],如果刚度系数设置过小会出现部分穿透现象。最后,根据前面的分析结果,将轮子上添加不同旋转驱动以仿真不同的移动。并可以检查上述理论分析的正确性。图 7、图 8 给出了仿真的结果^[4]。

通过仿真的结果可以发现,此全方位移动平台,可以很好地实现横向及原地转动等运动,图 7 为仿真过程中移动平台运动时质心竖直方向的跳动曲线。通过图 7 可以发现,系统运动时,竖直方向最大

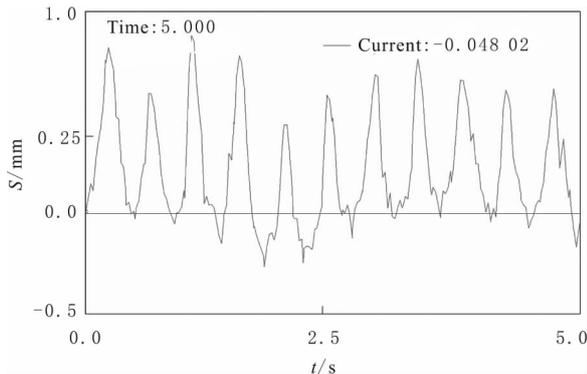


图 7 车体横向移动竖直方向位移

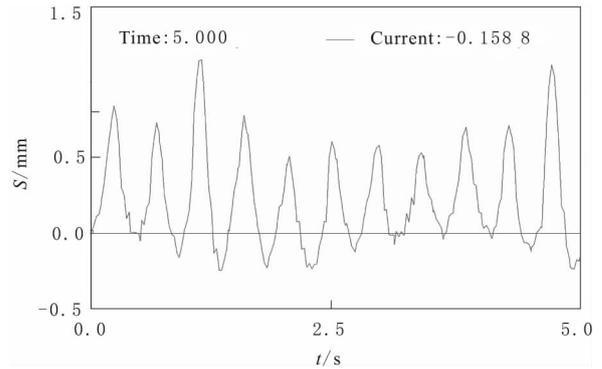


图 8 车体原地旋转中心位移

跳动距离为 1 mm,而系统的竖直高度为 100 mm,相对跳动比为 $\Delta = 1/100 = 1\%$,所以系统运动时不会出现明显的颠簸等情况。由图 8 可以看出,当系统原地转动时,系统质心的位移误差在 1.2 mm 以内,这相对于系统 600 mm × 500 mm 的总体尺寸来说误差很小,所以稳定性比较好。

5 结束语

讨论了不同运动情况下,轮子的转向和驱动力方向;运用运动学分析,确定了轮子的转速和车体移动速度的关系;明确了辊子参数的设计方法,进行系统的运动仿真,发现这种 4 轮机构运转比较灵活,可以很好地实现平面的全方位移动。若在机构中添加传感器以及相应的控制系统,就可以实现精确定位和轨迹跟踪,有应用前景。还以此机构为平台,通过添加相应的操作机构,可开发出军用的挂弹车和民用叉车等很适合在拥挤空间里工作的机械设备。

参考文献:

- [1] 哈尔滨工业大学理论力学教研室. 理论力学[M]. 北京:高等教育出版社,2009.
- [2] 董增福. 矩阵分析教程[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005.
- [3] 孙训方,方孝淑,关来泰. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,2009.
- [4] 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 北京:国防工业出版社,2006.

作者简介:刘中新 (1983—),男,黑龙江佳木斯人,工程师,硕士,研究方向为机械电子工程;张春亮 (1973—),男,河南洛阳人,工程师,研究方向为机械传动技术设计;王占富 (1982—),男,黑龙江佳木斯人,工程师,硕士,研究方向为飞行器总体结构技术设计。