

Mecanum 三轮全向移动平台的设计

王 宾, 马 超, 温秉权

(军事交通学院 军事物流系, 天津 300161)

摘要: 为了在有限空间内对机器人的位置进行精确控制的目的, 设计了 Mecanum 三轮全向移动平台。通过分析滚子的几何模型, 建立了滚子轮廓面参数方程和轴截面曲线方程。根据滚子的参数模型得到了全向移动平台速度和 Mecanum 轮角速度之间的关系方程, 完成了全向移动平台控制系统的设计。在此基础上制作了 Mecanum 三轮全向移动平台, 并进行了运动性能试验。Mecanum 三轮全向移动平台可以实现 3 个互成 120° 的直线移动和绕自身中心旋转的正、反方向运动, 在轮式移动机构中其全向移动能力具有明显优势。研究表明: 该移动平台运动方式灵活, 能够在狭窄空间中实现精确定位、原地调整姿态和在二维平面上自由运动。

关键词: Mecanum 轮; 全向移动; 移动机器人

中图分类号: TH122; TP242

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)11-1358-05

Design of omni-directional mobile platform based on three Mecanum wheels

WANG Bin, MA Chao, WEN Bing-quan

(Department of Military Logistics, Military Transportation University, Tianjin 300161, China)

Abstract: In order to achieve the purpose of precise control of the robot position within the limited space, the omni-directional mobile platform with three Mecanum wheels was designed. After the analysis of roller geometric model, the parameter equation of roller contour surface and axial section curve equation was established. Based on roller parameter model, the relation equation between the velocity of omni-directional mobile platform and the angular velocity of Mecanum wheel was established. A design method was presented to the control system of omni-directional mobile platform. The prototype of the omni-directional mobile platform with three Mecanum wheels was made and tested. Along three fixed concurrent lines meeting at 120° and rotation directions, positive-negative motion of platform was precisely realized. Compared with wheel moving mechanism, the platform was considered to be one of the best. The results indicate that the flexible platform can arrive at high precision position, adjust posture on the spot and move freely in a two-dimensional surface.

Key words: Mecanum wheel; omni-direction mobility; moving robot

0 引 言

轮式移动机器人由于其运动速度快、控制简单、运动稳定等特点, 其应用范围越来越广泛^[1-2]。在轮式移动机器人的研究中, 全向移动机构是研究的热点, 所谓全向是指移动机构在二维平面上从当前位置向任意方向运动的能力^[3], 即在平面内可实现 3 个及 3 个以上自由度的运动。Mecanum 轮在全向移动机构中的应用具有独特的优势, 原因是 Mecanum 轮固定在悬架上, 无须转向装置, 因而控制简单。

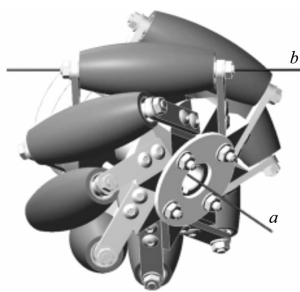
本研究介绍笔者所设计的用于遥控探测机器人的 Mecanum 三轮全向移动平台, 利用无线遥控单片机控制 2 个 L298N 驱动 3 个直流电机, 从而实现移动平台 3 个互成 120° 的直线方向和绕平台中心旋转的正、反方向共 8 个方向的精确运动。

1 Mecanum 三轮全向移动平台机构的设计

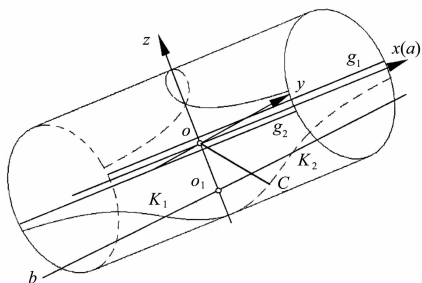
1.1 Mecanum 轮的设计

Mecanum 轮表面与地面接触点的运动轨迹如图 1

所示。图 1(a)中,Mecanum 轮由一组绕轮子轴线 a 规则排列的自由滚子组成,滚子轴线为 b ,一般 a 与 b 的夹角为 45° ^[4]。



(a) Mecanum 轮



(b) Mecanum 表面与地面接触点的运动轨迹

图 1 Mecanum 轮表面与地面接触点的运动轨迹

图 1(b)中,Mecanum 轮轴线 a 与坐标 x 轴重合。Mecanum 轮在地面上移动时,滚子表面与地面接触点 C 的运动轨迹是在 Mecanum 轮圆柱表面上关于轴线 a 对称分布的具有渐近线 (g_1, g_2) 的有理四阶空间曲线。 K_1, K_2 为 b 轴与点 C 的运动轨迹的交点,则由点 C 的运动轨迹的一条曲线绕 b 轴旋转可得到滚子的轴截形,即滚子型线方程为^[5]:

$$\begin{cases} l = d \frac{\cos^2 \delta}{\sin \delta} \tan u + R \sin \delta \sin u \\ r = (R \cos u - d) \sqrt{\cos^2 \delta \tan^2 u + 1} \end{cases} \quad (1)$$

式中: l —自由滚子长度; r —自由滚子半径; R —Mecanum 轮半径; u — OC 在 yOz 平面内的投影与 z 轴的夹角; δ —轴 a 与轴 b 在 xOy 平面内的夹角,取 45° ; d —轴 a 与轴 b 间最小距离。

根据全向移动平台尺寸的协调性和结构要求,取 $R = 36.5 \text{ mm}$,滚子长度为 $2l = 48 \text{ mm}$,滚子最大半径取 $r_{\max} = 10 \text{ mm}$, $d = 26.5 \text{ mm}$ 。由式(1)可求得:滚子最小半径 $r_{\min} = 5.41 \text{ mm}$, $u = 0.529 4$ 。自由滚子轴截形参数如表 1 所示。

1.2 三轮全向移动平台运动原理

沿 OO_1 前进时车轮摩擦力方向如图 2 所示,全向移动机构由 3 个斜置 Mecanum 轮组成,图中轮子上的斜虚线表示与地面接触滚子的轴线。3 个轮子的旋转

表 1 自由滚子轴截形参数

l	r	l	r
24	5.41	10	9.21
22	6.15	8	9.49
20	6.82	6	9.71
18	7.42	4	9.87
16	7.96	2	9.97
14	8.44	0	10.0
12	8.86		

中心为 O_1, O_2, O_3 ,它们构成等边三角形结构,三角形中心为 O 点,也就是机构定点旋转中心。3 个 Mecanum 轮的轴线与 3 条中垂线的夹角成 45° ,也就是自由滚子的轴线分别与三角形的 3 个中垂线垂直。设 3 个轮子的旋转速度为 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$,当系统 3 个轮子采用不同的转速和方向组合时,系统就能沿 OO_1, OO_2, OO_3 的正、反方向直线运动,绕 O 点定轴正反方向旋转。系统不需借助转向装置或转向轮即可实现 3 个直线和 1 个旋转的正、反方向运动。

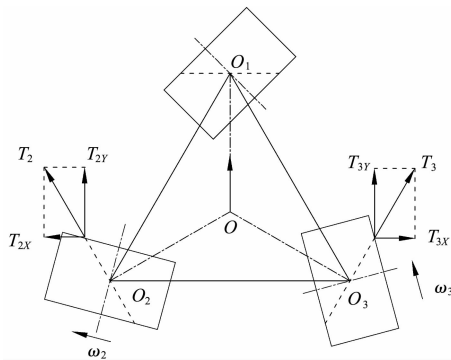


图 2 沿 OO_1 前进时车轮摩擦力方向

图 2 中,第 2、第 3 车轮如图 ω_2, ω_3 方向旋转, X 方向分量抵消, Y 方向分量使平台前进。当第 2、第 3 车轮旋转方向与图 2 中所示相反时,平台沿 OO_1 方向后退。机构沿 OO_2, OO_3 前进与后退情况与之类似。

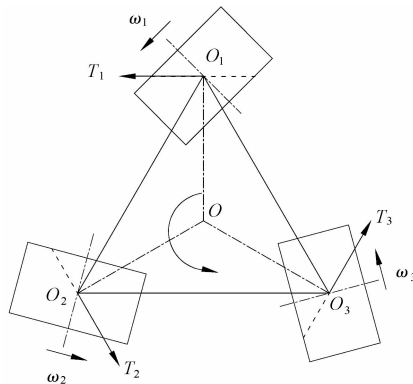


图 3 逆时针方向旋转时车轮摩擦力方向

全向移动机构逆时针旋转时车轮摩擦力方向如图 3 所示,3 个车轮如图 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 方向旋转。机构的顺时针旋转情况与之类似。

2 Mecanum 三轮全向移动平台控制系统设计

2.1 三轮全向移动平台运动学模型

Mecanum 轮移动平台中一个轮子在任意时刻 t 的状态如图 4 所示,有 4 个部分:地面 Σ_0 、平台 Σ_1 、Mecanum 轮 Σ_2 和滚子 Σ_3 (滚子与地面的接触点是 C ,在水平投影图中点 C 是轴 a 和轴 b 的交点)^[5]。

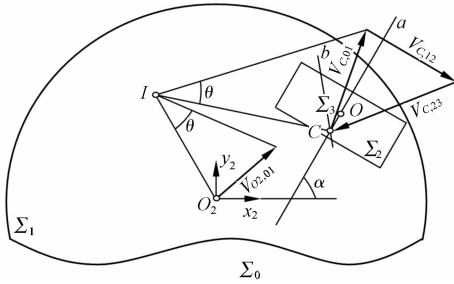


图 4 Mecanum 轮移动平台的运动分析

本研究以 Σ_1 的中心 O_2 为原点建立坐标系 $\{O_2x_2y_2z_2\}$,由于平台的速度矢量都平行于 $x_2O_2y_2$ 平面,所以不考虑 z 坐标。设车轮中心 O 坐标 (a_x, a_y) ,轴 a 与 x_2 夹角为 α 。得矢量 a 为:

$$a = \begin{pmatrix} \cos\alpha \\ \sin\alpha \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

滚子轴 b 的矢量 b 为:

$$b = \begin{pmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\alpha\cos\delta - \sin\alpha\sin\delta\cos u \\ \sin\alpha\cos\delta + \cos\alpha\sin\delta\cos u \\ \sin\delta\sin u \end{pmatrix} \quad (3)$$

在坐标系 $\{O_2x_2y_2z_2\}$ 中,点 C 的坐标为:

$$\begin{cases} c_x = a_x - d\cos\alpha\cot\delta\tan u \\ c_y = a_y - d\sin\alpha\cot\delta\tan u \end{cases} \quad (4)$$

设 ω 是 Σ_1/Σ_0 (平台/地面)角速度, Σ_1 的中心 O_2 在任意时刻的速度矢量为 $v_{O_2,01} = (v_x, v_y)^T$ 。如图 4 所示, $\omega = \tan\theta$,那么点 $C(c_x, c_y)$ 在 Σ_1/Σ_0 中的速度矢量为:

$$v_{C,01} = \begin{pmatrix} v_x - \omega c_y \\ v_y + \omega c_x \end{pmatrix} \quad (5)$$

Σ_2/Σ_1 的运动就是一个绕轴 a 的旋转,因此在

$$M = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_1 + \pi/4) & \sin(\alpha_1 + \pi/4) & a_{1x}\sin(\alpha_1 + \pi/4) - a_{1y}\cos(\alpha_1 + \pi/4) \\ \cos(\alpha_2 + \pi/4) & \sin(\alpha_2 + \pi/4) & a_{2x}\sin(\alpha_2 + \pi/4) - a_{2y}\cos(\alpha_2 + \pi/4) \\ \cos(\alpha_3 + \pi/4) & \sin(\alpha_3 + \pi/4) & a_{3x}\sin(\alpha_3 + \pi/4) - a_{3y}\cos(\alpha_3 + \pi/4) \end{pmatrix}$$

式(13)是平台的逆向运动学问题。显然,只要

Σ_2/Σ_1 中,点 C 的速度矢量为:

$$v_{C,12} = \dot{u}R \begin{pmatrix} -\sin\alpha \\ \cos\alpha \end{pmatrix} \quad (6)$$

式中: $\dot{u} = du/dt - \Sigma_2/\Sigma_1$,即 Mecanum 轮的角速度。

Σ_3/Σ_2 的运动就是绕轴 b 的旋转,因此在 Σ_3/Σ_2 中,点 C 的速度矢量(垂直于式(3)中的 b)为:

$$v_{C,23} = \lambda \begin{pmatrix} -b_y \\ b_x \end{pmatrix} \quad (7)$$

因为滚子是自由旋转与地面没有滑动, Σ_3/Σ_0 中,点 C 的速度矢量 $v_{C,03}$ 是 0,可得:

$$v_{C,01} + v_{C,12} + v_{C,23} = v_{C,03} = 0 \quad (8)$$

将式(5,6,7)代入式(8),可得:

$$\begin{cases} R\sin\alpha\dot{u} + b_y\lambda = v_x - \omega c_y \\ R\cos\alpha\dot{u} + b_x\lambda = -v_y - \omega c_x \end{cases} \quad (9)$$

消去 λ 得:

$$R(b_x\sin\alpha - b_y\cos\alpha)\dot{u} - b_x(v_x - \omega c_y) - b_y(v_y + \omega c_x) = 0 \quad (10)$$

由式(10)得到了平台运动速度与 Mecanum 轮角速度的关系。由式(3,4)可知 b_x, b_y, c_x, c_y 都是 u 的函数。因点 C 是位于车轮圆柱表面 Z 上,可简化为^[6]:

$$\begin{cases} b_x = \cos(\alpha + \delta) \\ b_y = \sin(\alpha + \delta) \\ c_x = a_x \\ c_y = a_y \end{cases} \quad (11)$$

可得:

$$\dot{u} = -\frac{1}{r\sin\delta} [\sin(\alpha + \delta)(v_y + \omega a_x) + \cos(\alpha + \delta)(v_x - \omega a_y)] \quad (12)$$

式中: δ 为 45° , 由此可根据平台速度 v_x, v_y, ω 得到车轮角速度 \dot{u} 。

设 Mecanum 三轮全向移动平台车轮轴与 x_2 夹角 $\alpha_i (i = 1, 2, 3)$ 。则由式(12)可得 Mecanum 轮的角速度为 ω_i :

$$\begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{pmatrix} = -\frac{\sqrt{2}}{r} M \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{pmatrix} \quad (13)$$

其中:

$\det M \neq 0$, 正向运动学问题有一个解:

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{pmatrix} = -r \sin \delta M^{-1} \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{pmatrix} \quad (14)$$

2.2 系统硬件结构设计

全方位移动平台控制系统的硬件主要包括 7 个模块:无线通讯模块、STC89C52 单片机模块、直流电机和 L298N 电机驱动模块、电源模块。系统硬件结构图如图 5 所示,遥控器通过无线接收模块向 STC89C52 单片机下达运动方式指令,L298N 电机驱动模块实现具体的运动控制,直流电机带动 Mecanum 轮使平台进行全向移动。

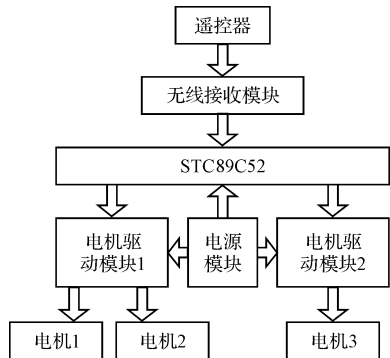


图 5 系统硬件结构图

2.3 软件控制设计

L298N 电机驱动模块具有脉宽调制 (PWM) 调速功能,因此 STC89C52 单片机程序只需编写相应的 PWM 程序即可^[7-9]。控制主程序流程图如图 6 所示,程序包括 2 个部分:直流电机的正反转和停止控制主程序;直流电机 PWM 调速子程序。程序的启动和停止通过无线遥控来控制。

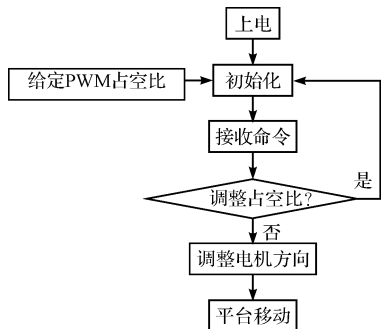


图 6 控制主程序流程图

3 实验结果

基于以上设计,本研究制作的用于遥控探测机器

人的 Mecanum 三轮全向移动平台样机如图 7 所示。笔者对全向移动平台的前后、横向、斜向直线移动及原地旋转运动进行实验和性能测试。该实验采用喷迹法,即在平台上放置一小瓶水,在瓶底开一小口,将平台运动过程中的水迹与实验场地上事先画好的理想轨迹进行比较。实验结果表明:3 个直线运动的实际轨迹偏离理论轨迹角度在 ±1° 范围内;平台的原地旋转运动能够准确执行。

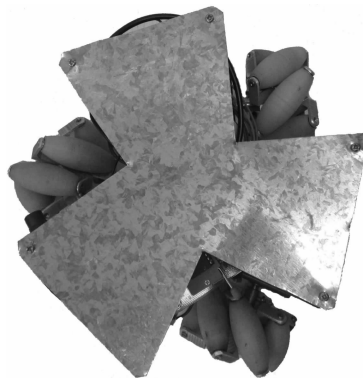


图 7 Mecanum 三轮全向移动平台样机

4 结束语

目前国内外对于 Mecanum 轮的设计一般采用的是近似理论,即滚子表面与地面接触点的运动轨迹近似地认为是在 Mecanum 轮圆柱表面上的螺旋线^[10-11]。本研究对 Mecanum 轮进行了精确设计,构建了 Mecanum 三轮全向移动平台的运动学模型,完成了平台的全向移动运动控制系统的设计,制作了 Mecanum 三轮全向移动平台样机。调试结果表明,其运动方式灵活,能够在狭窄空间中实现精确定位、原地调整姿态和在二维平面上自由运动。

Mecanum 三轮全向移动平台可向任意方向移动且零回转半径转动,所以在遥控探测机器人的移动本体上应用相对于其他轮式移动机构有其独特的优势,尤其是在狭窄空间中需要对平台进行细微精确位置调整的场所优势更为明显。

参考文献 (References) :

[1] 尉成果,赖 欢,王太江. 轮式移动机器人轨迹跟踪控制算法的研究[J]. 机电工程,2012,29(6):730-732.

(下转第 1378 页)

本文引用格式:

王 宾,马 超,温秉权. Mecanum 三轮全向移动平台的设计[J]. 机电工程,2013,30(11):1358-1362,1378.

WANG Bin, MA Chao, WEN Bing-quan. Design of omni-directional mobile platform based on three Mecanum wheels[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2013,30(11):1358-1362,1378.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

electronics Group of Companies,2009.

[3] STMicroelectronics Group of Companies. STM32F107 Datasheet Revision 4.0[Z]. STMicroelectronics Group of Companies, 2009.

[4] 刘 新,吴秋峰.无线个域网技术及相关协议[J]. 计算机工程,2006,32(22):102-110.

[5] 黄太波,赵华伟,潘金秋,等. ZigBee 协议栈的安全体系综述[J]. 山东科学,2012,25(2):60-66.

[6] 杨 斌.基于 AES 的 ZigBee 标准安全机制分析[J]. 计算机工程与科学,2010,32(7):42-45.

[7] 齐曰霞,韩正之. 2.4 GHz 频段无线技术标准[J]. 现代电子技术,2011,34(9):35-37.

[8] 中国建筑科学研究院建筑机械研究分院. GB/T 7588-2003 电梯制造与安装安全规范[S]. 北京:中国建筑科学研究院建筑机械化研究分院,2003.

[9] 代清友,李桂平. 电梯安全电路试验中需注意的几个问题[J]. 机电工程技术,2012,41(5):95-98.

[10] 周 林,陈 玉,冯婷婷. 基于 ZigBee 的自愈组网与协议实现[J]. 通信技术,2012,45(4):1-6.

[11] 王均晖,赵国军,顾德强,等. 无线数传在电梯监控系统中的应用[J]. 轻工机械,2012,22(3):60-63.

[编辑:洪炜娜]

(上接第 1361 页)

[2] 石维亮,王兴松,贾 茜. 基于 Mecanum 轮的全向移动机器人的研制[J]. 机械工程师,2007(6):18-21.

[3] 吕伟文. 全方位移动机构的原理和应用[J]. 无锡职业技术学院学报,2005,4(2):15-16.

[4] COONEY J A, XU W L, BRIGHT G. Visual dead-reckoning for motion control of a Mecanum-wheeled mobile robot [J]. **Mechatronics**,2004,14(9):623-637.

[5] GFRERRER A. Geometry and kinematics of the Mecanum wheel[J]. **Computer Aided Geometric Design**,2008,25(9):784-791.

[6] VIBOONCHAICHEEP P, SHIMADA A, KOSAKA Y, et al. Position rectification control for Mecanum wheeled omni-directional vehicles[C]//Proc. of the 29th Annual Conference of the IEEE. Roanoke, VA: Industrial Electronics Society, 2003:854-859.

[7] 高光敏,张广新,王 宇,等. 一种新型全方位移动机器人的模型研究[J]. 长春工程学院学报,2006,7(2):71-74

[8] 陆卫丽,卞新高,焦 建,等. 四足爬行机器人步态分析与运动控制[J]. 机电工程,2012,29(8):886-889.

[9] 林德龙. 舵机驱动仿生四足机器人设计[J]. 机械,2011,38(2):66-69.

[10] 贾巨民,刘波波,许爱芬,等. 螺旋式滚轮设计原理[J]. 机械科学与技术,2001,20(1):17-18.

[11] 关利赢,郝 鑫,常力欣,等. 万向电动叉车螺旋滚轮轮体设计[J]. 军事交通学院学报,2009,11(2):65-68.

[编辑:张 翔]

(上接第 1368 页)

[5] 牛又奇,孙建国. 新编 Visual Basic 程序设计教程[M]. 苏州:苏州大学出版社,2002:40-59.

[6] RIVERA C A, HENICHE M, TAKENAKA K, et al. Finite element modeling of the laminar and transition flow of the Superblend dual shaft coaxial mixer on parallel computers [J]. **Chemical Engineering Science**,2009,64(21):4442-4456.

[7] 冀 成,杨兆建,宋高峰,等. 多轮盘转子系统临界转速的计算方法分析[J]. 机械设计与制造,2012(12):28-30.

[8] 李建丰,徐 鸿,马 鑫,等. 有限元法求解搅拌轴临界转速[J]. 石油化工设备,2003,32(2):28-30.

[9] 张 谦,曹 磊. 基于 ANSYS 的临界转速计算[J]. 振动工程学报,2004,17(S1):234-236.

[10] 冯春亮,张高丽,封旭开,等. 基于 ANSYS 小型食品机械用电机转子模态分析[J]. 包装与食品机械,2012(4):55-68.

[11] 王建红,华茂发,周 寻. 基于 VB 和 Master CAM 的凸轮参数化设计与加工仿真[J]. 机电工程技术,2012,41(11):9-11.

[12] 张彦立,王广庆,李 曼. 基于 VB 和 ANSYS 的风机塔筒参数化建模与分析[J]. 机电工程,2012,29(2):175-176.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

张 俊,赵国军,魏君燕,等. ZigBee 无线通信在电梯轿厢控制系统中的应用[J]. 机电工程,2013,30(11):1373-1378.

ZHANG Jun, ZHAO Guo-jun, WEI Jun-yan, et al. Application of ZigBee wireless communication technology in elevator car control system[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2013,30(11):1373-1378. 《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>