

护士助手机器人磁导航方法研究*

韩金华, 王立权, 孟庆鑫

(哈尔滨工程大学机电工程学院 哈尔滨 150001)

摘要:介绍了一种用于护士助手机器人导航的磁传感系统。该机器人由直流伺服电机驱动,采用差动轮系实现转向。烧结型 NdFeB 磁钉作为固定标示物,被埋在机器人预行驶路径上形成导航线。用于检测磁钉的磁尺由 8 个磁阻传感器直线固定在有机玻璃板上组成。通过测量磁尺与导航线的相对位置,得到机器人实际行驶路径与预行驶路径的偏差角度,进而可以利用此偏差角度修正机器人的前进方向。实验结果表明:该导航方法实现简单,能比较精确地跟踪磁钉导航线。

关键词:磁阻传感器;磁尺;磁钉;护士助手机器人导航

中图分类号: TP212 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.40

Study on magnetic navigation for nurse assistant robot

Han Jinhua, Wang Liquan, Meng Qingxin

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: A magnetic sensing system used in the nurse assistant robot navigation is introduced. The nurse assistant robot is driven by DC motors and turned around by wheel system. As immovable marker, the NdFeB magnetic markers are embedded into the ground of the scheduled paths of the robot to form the navigation line. The magnetic rulers detecting the magnetic markers are consisted of 8 magnetoresistive sensors which are fastened straightly on a plexiglas plate. The deviation angle between the actual and planning paths of the robot is obtained by measuring the relative locality of the magnetic rulers and the navigation line, which is used to modify the move direction of the robot. The experimental result indicates that the navigation method is easy to be realized and make the robot track of the magnetic marker navigation line precisely.

Key words: magnetoresistive sensor; magnetic ruler; magnetic marker; nurse assistant robot navigation

1 引言

本护士助手机器人属于自主轮式移动机器人中的一种,实现的主要功能是在计算机和无线局域网的控制下,由磁、超声波或激光等导航介质引导,按预先规划的任务在医院环境中运行,执行运送医疗器械和设备、实验样品和结果、病人的药品、饮食及生活用品,处理垃圾,病房消毒等医护任务。它能减轻医护人员的劳动强度,提高病房的自动化医护水平,特别是在流行病、传染病等病房区的使用,能有效地保护医护人员,避免交叉感染^[1]。

在自主式移动机器人相关技术的研究中,导航技术是其研究核心。导航是指移动机器人通过传感器感知环

境和自身状态,实现在有障碍物的环境中面向目标的自主运动^[2]。目前提出的移动机器人导航方法有很多,如电磁导航、光反射导航、视觉导航、声音导航等,但是由于移动机器人工作环境的复杂性,每一种导航方法只能在特定的环境和特定条件下工作。而护士助手机器人的主要工作环境为医院等场所,路况大都为平地,要求导航精度高、可靠性好,比较适合采用电磁导航方法。

本文介绍了一种用于护士助手机器人导航的磁导航方法:磁钉作为固定标示物,铺设在机器人预行驶路径上形成导航线;由多个磁传感器组成的磁尺安装在机器人底盘上,在机器人沿导航线运行过程中,磁尺实时地检测磁钉与机器人的相对位置,以纠正机器人的航向,从而实

现机器人的自动导航。这种导航方法结构简单,具有很高的精度和良好的重复性,不容易受温度、光线的影响。

2 磁导航系统

2.1 磁传感器

磁传感器是一种能将磁信号转换为电信号的传感器,它利用了半导体材料的霍尔效应,用来测量与磁场及电流有关的物理量,一般由磁敏元件、运算放大器、输出电路以及外围电阻等组成^[3]。

本系统中采用的磁传感器如图1所示,它主要用于检测磁钉的磁场。磁敏元件采用了线性霍尔器件UGN3503U,它有3个引脚,工作电压为+5V,工作电流为9mA。运算放大器采用了8脚双列直插式封装的LM358,它内部包括2个高增益、独立的、内部频率补偿的双运放,适用于电压范围很宽的单电源,也适用于双电源工作方式。输出电路包含2路:开关量输出和模拟量输出。本磁导航方法中只需要检测到磁钉的磁场,不需要测量磁场强度的大小,所以只用到开关量输出。

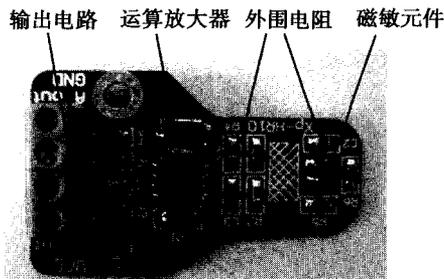


图1 磁传感器模块

Fig. 1 Module of magnetic sensor

2.2 磁尺

为了在一定范围内检测磁钉,将多个磁传感器按直线固定在一个长方形的有机玻璃板上,形成磁尺^[4],如图2所示。选用有机玻璃作为磁尺材料,能避免磁尺被磁化后对磁传感器形成干扰。护士助手机器人宽40cm,磁钉的直径为2cm,将16个磁传感器以1.7cm间距交叉固定在长32.2cm的磁尺上,所有的磁敏元件位于图2中的点划线上,这样机器人不仅能充分地检测到磁钉,而且具有足够的检测宽度。

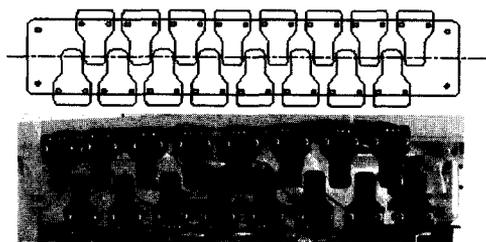


图2 磁尺

Fig. 2 Magnetic ruler

2.3 磁钉

在磁导航系统中,磁钉的用途是作为磁场发生源,埋在机器人将要行驶的路上形成固定的导航线,磁尺通过检测磁钉的磁场获取机器人的位置信息。所以,磁钉是机器人获取环境信息的介质,而磁钉的磁场是影响整个磁导航系统的重要因素。

用来制作磁钉的磁性材料有很多种,常见磁性材料的各项特性如表1所示^[5]。从表1中可以看出,烧结型NdFeB的最大磁能积比其它磁性材料的要大很多,剩磁却相差不大,所以选择烧结型NdFeB制作磁钉。由于用途不同,磁钉的形状有很多种。为方便安装,这里选用了圆柱形磁钉。磁钉半径为1cm,高度为0.3cm。沿磁钉轴线建立磁感应强度B函数^[6]:

$$B = \frac{B_r}{2} \left[\frac{d+l}{\sqrt{(d+l)^2 + r^2}} - \frac{d}{\sqrt{d^2 + r^2}} \right]$$

式中: B_r 是剩磁系数,取 $B_r = 14$; r 是磁钉半径,取 $r = 1$; l 是磁钉高度,取 $l = 0.3$; d 是距离磁钉上表面的距离。

表1 常用磁铁材料特性

Table 1 Properties of common magnet materials

材料	最大磁能积/MGoe	矫顽特性/KOe	最大工作温度/°C	剩磁/ 10^3 Gs
SmCo(烧结)	30	25	350	10
SmCo(充磁)	12	10	550	4
NdFeB(烧结)	50	35	200	14
NdFeB(充磁)	10	12	180	8
柔磁材料	2	3	100	2.5
硬铁涂氧	4	3	250	4
铝镍钴合金	9	2	150	13

图3是磁场沿磁力线高度方向的磁场分布曲线。由图3可以看出,沿磁钉高度方向,在1cm到2cm之间,磁感应强度降低得最快,2cm后变化缓慢。所以选择 d 为1cm,即将磁传感器安装在距离磁钉上表面1cm的地方,可以保证磁传感器有效地检测到磁钉。

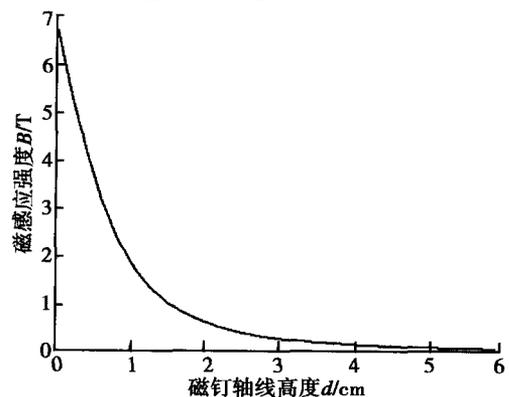


图3 磁场沿磁钉轴线的分布

Fig. 3 Magnetic field distribution of magnetic marker along axis

2.4 磁信号检测系统

磁信号硬件检测电路由磁传感器和一个单片机最小处理系统组成,以磁钉线为基准测量机器人的相对位置。

如图4所示,线性霍尔器件检测到磁信号,通过运算放大器 LM358 的放大送到开关电路中,经过比较转换成开关电平后输出,即检测到磁钉时输出低电平,否则输出高电平。

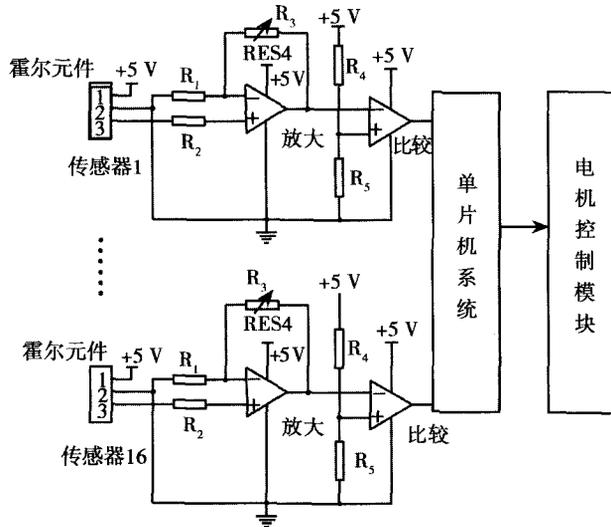


图4 磁信号硬件检测系统

Fig. 4 Magnetism hardware detection system

电路参数计算如下:

$$u_o = \beta u_i; V_{REF} = \frac{5R_5}{R_4 + R_5}; \beta = 1 + \frac{R_3}{R_1};$$

传感器输出:

$u_o < V_{REF}$, 输出高电平, 没有检测到磁钉;

$u_o > V_{REF}$, 输出低电平, 检测到磁钉;

参数说明:

u_i : 运放正向输入信号;

u_o : 比较器反向输入电压;

V_{REF} : 比较器参考电压。

该电平信号直接接入一个带有 RS485 通信模块的单片机系统的 IO 口,通过单片机对磁尺上各位置的传感器送来的电平信号进行采集并进入程序中运算,通过程序计算出机器人的位置偏差,即机器人的偏角 θ 和中心偏移量 η 。然后通过 RS485 通信总线送入电机控制模块进行机器人的位置调节。

该电路中可以手动调节增益使得磁传感器相对磁钉在某一高度下有最稳定的信号。即通过调节可变电阻 R_3 的阻值改变运算放大器的放大倍数 β ,以补偿霍尔元件和磁钉之间相对高度调节带来的信号变化。

2.5 系统结构

磁导航系统安装在护士助手机器人底盘上,底盘结

构如图5所示。

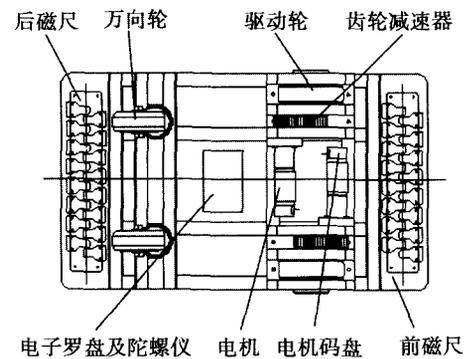


图5 系统结构

Fig. 5 Configuration of system

前面两个轮子为驱动轮,起导向作用,分别由两个直流伺服电机差动驱动;后面两个轮子为万向轮,起支撑车体的作用;用于导航的两个磁尺固定在底盘的前后端;电子罗盘及陀螺仪用来辅助磁导航系统测量机器人的前进方向角,更加精确地确定机器人的位姿,以达到最理想的纠偏效果。

图6是机器人的外观造型。

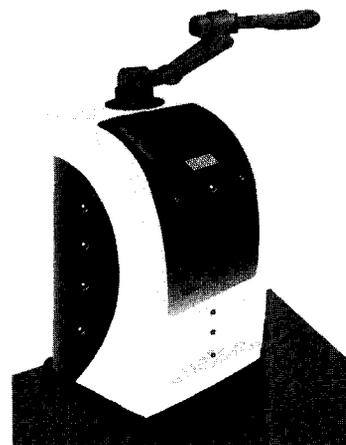


图6 护士助手机器人外观模型

Fig. 6 Appearance model of nurse assistant robot

3 磁导航算法

3.1 磁信号的采集处理

护士助手机器人在磁导航线上行驶,磁尺上的磁传感器检测到磁钉的磁信号,磁信号采集模块将采集到的信号进行计算,并将计算的结果反馈给驱动控制模块,后者根据结果确定机器人的横向偏移,然后通过控制两个驱动轮的转速来减小或消除偏差,使机器人回到正常的航线上^[7]。磁信号检测处理系统结构如图7所示。

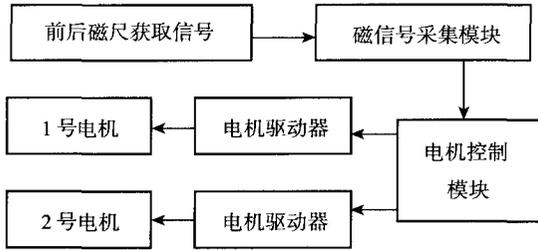


图7 磁信号检测处理系统

Fig. 7 Magnetism detecting and processing system

如图8所示,将磁尺上的16个磁传感器按顺序编上号码,每一个传感器是否检测到磁钉用一个字节的一位表示,一个磁尺的检测信息刚好用两个字节表示。设磁传感器检测到磁钉时,对应的那一位置1,未检测到的则置0。磁钉的直径为2 cm,磁尺上磁传感器的间距为1.7 cm,所以在一段很短时间内,最多有相邻的两个磁传感器检测到磁钉。

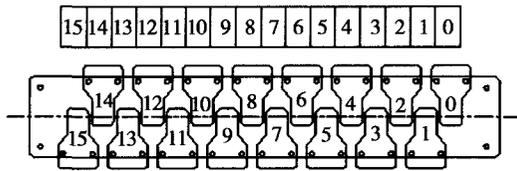


图8 磁传感器编码示意图

Fig. 8 Sketch map of magnetic sensor coding

磁信号采集模块主要包括一个8位的Mega8单片机及RS485通信模块,它不断地扫描磁尺上个传感器的引脚电平,并将两个字节的2进制信号输出给电机驱动模块处理器。为了便于识别是哪个传感器检测到磁钉,电机驱动模块处理器将此2进制数转换为10进制数据,转换的规则就是:如果2进制数的第n位为1,则转换为10进制数n,代表第n个磁传感器检测到磁钉。护士助手机器人的速度一般为0.6~1 m/s,磁尺宽度为5.8 cm,所以磁尺通过磁钉的时间大约为0.058~0.1 s。在这段时间内,如果电机驱动控制模块处理器得到的是同一个数n,则可认为第n个传感器通过了磁钉的正上方;如果得到两个连续的数n、n+1,则可认为磁钉在第n个传感器和第n+1个传感器的中间,这时取(2n+1)/2。

3.2 磁导航方法实现及纠偏

将NdFeB型磁钉等距地埋在机器人航线上,当机器人行驶在道路上时,磁尺感应埋在航线上的磁钉,并不断地将信号反馈给电机驱动模块处理器^[8]。后者根据信号判断判定机器人的位置,并产生相应的控制信号给电机驱动器。

图9是机器人纠偏示意图。如图所示,以机器人横向中心线为x轴,纵向中心线为y轴,机器人中心为原点

建立机器人运动坐标系。图中的黑点代表磁钉,包围黑点的两个长方形代表两个磁尺,排列成“二”字形。前后磁尺相距L,与y轴成一定偏角的虚线代表机器人应该遵循的导航线。通过前后磁尺检测机器人轴线偏离导航线的偏移量L₁、L₂,便可计算出机器人的偏角θ和中心偏移量η。几何关系如下:

$$\eta = \frac{L_1 - L_2}{2}, \quad \tan \theta = \frac{L_1 + L_2}{L}$$

由上式可以看出η与L无关。

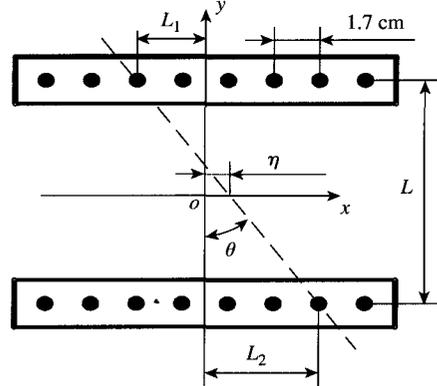


图9 纠偏示意图

Fig. 9 Sketch map of deviation rectifying

由反正切公式计算出机器人此时的行驶偏角,电机驱动模块处理器由前后横向偏差和行驶偏角,通过一定的算法计算出控制信息,并将此信息反馈给电机驱动器,通过控制1号电机与2号电机的转速达到纠偏的目的。如此不停地重复这一过程,就实现了通过磁信号实现对机器人的自动导航。

4 实验

为验证此种导航方法的可靠性,在哈尔滨工程大学机器人控制创新实验室做了多次实验。在地面按直线等距离铺设磁钉,形成一条长10 m的导航线。实验中,机器人加速度设置为0.3 m/s²,平均行驶速度为0.6 m/s,最大行驶速度不超过0.8 m/s。每次实验记录下护士助手机器人从导航线一端出发后,机器人每行驶1 m位移时,前后磁尺测得的横向偏差,并计算出相应的偏角。表2记录了多次实验中实验数据出现频率最高的一组数据。

实验结果表明机器人在前进过程在前过程中,磁传感器能有效地检测到磁钉,并能准确地将前后磁尺的横向偏差反馈给控制系统。在沿10 m直线磁钉导航线行驶过程中,机器人不断地纠偏,最大的横向偏差为3.4 cm,最大偏角为4.4°,基本满足导航精度的要求。

表2 车辆横向偏差及偏角检测结果

Table 2 Detection results of vehicle lateral offset and deviation angle

实验次数	后横向偏差 单位/cm	前横向偏差 单位/cm	偏角单位(°)
1	0	0.85	0.9
2	0.85	2.55	1.8
3	1.7	4.25	2.7
4	2.55	5.1	2.7
5	3.4	3.4	0
6	2.55	1.7	-0.9
7	1.7	0	-1.8
8	0.85	-0.85	-1.8
9	0	-2.55	-2.7
10	-0.85	-3.4	-4.4

图10给出了其中一组实验中机器人沿磁钉线巡线15个磁钉过程中的纠偏曲线,从曲线中可以看出前向偏移量明显大于后向偏移量,这是由于机器人的驱动轮在后面所致,当机器人进行纠偏时前轮是以后驱动轮连线中点为圆心向负偏差角度方向旋转的,所以会出现前轮横向偏移量较大的结果。从曲线中可以看出整个过程中偏差角度基本保持在 $\pm 1.5^\circ$ 内,满足导航精度的要求。

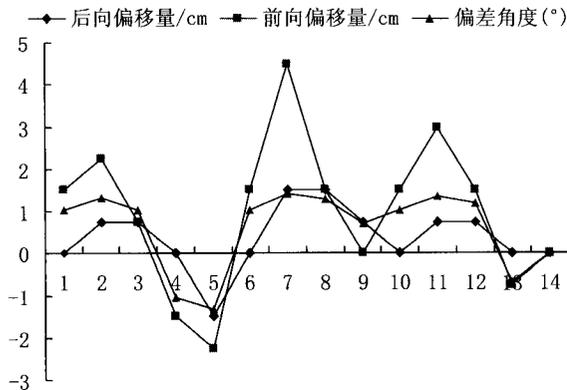


图10 车辆横向偏差及偏角误差曲线

Fig. 10 Error curve of vehicle lateral offset and deviation angle

相对于其他的导航方法,如超声波导航、声音导航在医院室内环境中受室内墙壁、障碍物以及人群和设备的噪声等影响比较大,不易实现。而视觉导航实时性差,在医院人流中导航难度极大。所以相比较而言采用磁导航方法由于是基于路标的导航方法,实现方法简单,对环境要求低、精度高、抗干扰能力强、可靠性好。

5 结 论

通过对移动机器人现有导航方法的分析,为医院用护士助手机器人提出了一种磁导航方法,并制作出磁导航系统,安装在机器人实体上进行了多次实验。实验结果表明,该导航方法在医院环境中可行性高、可靠性好,导航精度满足使用要求。该导航系统具有价格低廉、安装简单,对工作环境的要求低等优点。

在该导航方法中,由于磁传感器检测到的始终是机器人与导航线之间的相对位置信息,机器人在工作环境中路障信息无法确定,所以在下一步研究工作将多传感器技术融合进来进一步提高机器人的智能性,将护士助手机器人在实际工作环境中绝对姿态的校正与路障识别联系起来。

参考文献

- [1] 王立权,孟庆鑫,郭黎滨,等. 护士助手机器人的研究[J]. 中国医疗器械信息, 2003, 9(4): 21-23.
WANG L Q, MENG Q X, GUO L B, et al. Study on nurse assistant robot[J]. China Medical Devices Information, 2003, 9(4): 21-23.
- [2] 史恩秀,黄玉美. 自主导航小车 AGV 导航方法的研究[J]. 传感技术学报, 2007, 20(1): 233-236.
SHI EN X, HUANG Y M. The study of navigation method for AGV[J]. Journal of Transduction Technology, 2007, 20(1): 233-236.
- [3] 王立权. 机器人创新设计与制作[M]. 北京:清华大学出版社, 2007.
WANG L Q. Innovational design and manufacture of robots[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007.
- [4] 徐海贵,王春香,杨汝清,等. 磁传感系统在室外移动机器人导航中的研究[J]. 机器人, 2007, 29(1): 62-66.
XU H G, WANG CH X, YANG R Q, et al. A magnetic sensing system for outdoor mobile robot navigation[J]. Robotic, 2007, 29(1): 62-66.
- [5] LENZ J E. A review of magnetic sensors[J]. Proceedings of the IEEE, 1990, 78(6): 973-989.
- [6] MOITA F, NUNES U. The magnetic sensing ruler configuration, software structure and characterization[R]. Portugal: University of Coimbra, 2004.
- [7] 童厚健,吴仲超,吴青,等. 基于磁道钉导航的车辆自动驾驶模型的优化设计[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版, 2005, 5(29): 675-1677.
TONG H J, WU ZH CH, WU Q, et al. Optimization for control model of vehicle automated driving based on mag-

- netic markers[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2005, 5(29):675-1677.
- [8] 王春燕,李威. 磁道钉导航的智能公路传感器研制[J]. 交通与计算机,2002,20(3):10-13.
WANG CH Y, LI W. A magnetic sensing system for outdoor mobile robot navigation[J]. Computer and Communications,2002,20(3):10-13.
- [9] KAMEWAKA S, UEMURA S. A magnetic guidance method for automated guided vehicles[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1987,23(5):2416-2418.
- [10] 杨利兵,严新平,吴超仲,等. 磁道钉导航控制系统研究[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2002,08(4):454-456.
YANG L B, YAN X P, WU CH ZH, et al. Research of control system based on magnetic markers, computer and communications [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2002, 08(4):454-456.
- [11] 王志文,郭戈. 移动机器人导航技术现状与展望[J]. 机器人,2003,9(5):470-474.
WANG ZH W, GUO G. Present situation and future development of mobile robot navigation technology[J]. Robotic, 2003,9(5):470-474.
- [12] CHAN C Y. Magnetic sensing as a position reference system for ground vehicle control[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2002,51(1):43-52.

作者简介



韩金华,1990年于佳木斯工学院获工学学士学位,2001年于哈尔滨工程大学获工学硕士学位,现在哈尔滨工程大学机电工程学院机械电子工程专业攻读博士学位。
地址:哈尔滨市南岗区南通大街145号,哈尔滨工程大学机电工程学院,150001

电话:0451-82589251;E-mail:00an00@163.com

Han Jinhua received BS from Jiamusi University in 1990, and MS from Harbin engineering University in 2001 respectively. Now she is studying for PhD in the Mechatronical Engineering at College of Mechanical & Electornical Engineering, Harbin Engineering University.

Address: College of Mechanical & Electornical Engineering, Harbin Engineering University, Nantong street 145 in Nangang District, Harbin 150001, Heilongjiang, China

Tel: +86-451-82589251;E-mail:00an00@163.com



王立权,哈尔滨工程大学机电学院副院长、教授、博士生导师,哈尔滨工程大学博士,主要研究方向:机器人技术。

地址:哈尔滨市南岗区南通大街145号,哈尔滨工程大学机电工程学院,150001

E-mail:wangliquan@hrbeu.edu.cn

Wang Liquan, vice dean of College of Mechanical & Electornical Engineering, Harbin Engineering University, professor, PhD supervisor, PhD of Harbin Engineering University. His research direction is Robotic Technology.

Address: College of Mechanical & Electornical Engineering, Harbin Engineering University, Nantong Street 145 in Nangang District, Harbin 150001, Heilongjiang, China

E-mail:wangliquan@hrbeu.edu.cn