

Design of Omnidirectional Mobile Platform Control System Based on STM32 CAN Bus Control

Siqi Peng, Linxiao Tian, Yan Wang, Ming Liao, Zhilan Xiao, Kehua Zhang*

College of Engineering, Zhejiang Normal University, Jinhua Zhejiang
Email: *zhangkh207@outlook.com

Received: Sep. 10th, 2017; accepted: Sep. 23rd, 2017; published: Sep. 27th, 2017

Abstract

Omnidirectional mobile platform is driven by independent multiple Mecanum wheels. Through the combination of rotation speed and steering of the wheel set, it can move in a two-dimensional plane at arbitrary angles. Its movement is very flexible and smooth. It implements precise positioning and high precision trajectory control with fine adjustment of position, and is widely used in autonomous mobile robots. To improve the real-time and accuracy of omnidirectional mobile platform and enhance the stability and accuracy of the whole control system, the CAN bus network used in the platform, DMA data transmission, PID control and other methods were studied. Firstly, the mathematical modeling and motion analysis of the mobile platform based on the Mecanum wheel is carried out. Then, to speed up the transmission of sensor data, the platform uses DMA data transmission, and data exchange between main control and motor through CAN bus network is carried out at the speed of 1 M/S. Through repeated debugging and testing, operation is smooth during omnidirectional movement of the remote-control platform. And the platform without lag phenomenon, can quickly and accurately reach the target position. It basically meets the requirements of stable, reliable, high precision and strong anti-interference ability of the control system.

Keywords

Omnidirectional Mobile Platform, CAN Bus Network, DMA, PID Algorithm

基于STM32和CAN总线的全向移动平台控制系统设计

彭思淇, 田林晓, 王妍, 廖明, 肖志兰, 张克华*

*通讯作者。

浙江师范大学工学院, 浙江 金华
Email: zhangkh207@outlook.com

收稿日期: 2017年9月10日; 录用日期: 2017年9月23日; 发布日期: 2017年9月27日

摘要

全向移动平台采用多个麦克纳姆轮独立驱动, 通过轮组的转速和转向的组合, 可以以任意姿态在二维平面内移动, 运动非常灵活、平稳, 通过位置细微调整实现精确定位和高精度轨迹控制, 广泛用于自主移动机器人。为了提高全向移动平台控制的实时性和精确性, 增强整个控制系统的稳定性与准确性, 对该平台所采用的CAN总线网络、DMA数据传输和PID控制算法等方法进行研究。首先对基于麦克纳姆轮的移动平台进行数学建模并进行运动分析, 然后为了加快传感器数据的传输, 采用DMA数据传输, 而且主控和电机之间通过CAN总线网络以1 M/S的速度进行数据交换。经过测试, 在遥控平台全向运动的过程中, 操作流畅, 平台无卡顿现象, 并能够快速准确的到达目标位置。满足控制系统的稳定可靠、精度高、抗干扰能力强等要求。

关键词

全向移动平台, CAN总线, DMA, PID算法

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

机器人技术作为一种高新技术, 将计算机技术, 人工智能, 传感器技术, 控制论等多学科综合在一起, 是科学技术发展共同的一个综合性的科学成果。而且移动机器人平台是机器人学的一个重要分支, 是一种由运动控制器系统、信息采集系统、机械装置所组成的具有人工智能的控制系统[1]。相比于传统的移动平台, 全向移动平台在空间有限、狭窄、对机动性要求较高的场合有着明显的优势, 因此已经得到了广泛的应用, 比如装配生产行业, 仓储物流行业, 交通工具等等。

自从1973年瑞士人 Bengt Lion 发明了 Mecanum 轮后, 因其承载能力强, 通过各轮之间转速转向的配合即可实现全方位移动而广泛的应用在移动平台上, 更加的贴近于实际应用。譬如德国 KUKA 公司研发的基于 Mecanum 轮平台的五轴机械臂 youBot 机器人; 美国 AirTrax 公司将 Mecanum 轮的全向移动平台进行了商业化, 产品有 Sidewinder 系列万向行走叉车、COBRA 系列升降平台、MP2 系列平板拖车等; 德国 MIAG 公司生产的 Mecanum 轮式弹体搬运转载车等等。如图 1 所示。

目前国内 Mecanum 轮式全向移动平台的应用广泛, 但主要为运动的实现或者以全向移动为基础的多种功能的混合实现, 而对于平台的移动精度, 实时性以及平稳性的研究还不够完善[2]。为了提高全向移动平台的实时性和精确性, 增强整个控制系统的稳定性与准确性, 更好的协调各个传感器之间的通信, 引入分布式实时控制的 CAN 总线技术, 并利用 DMA 进行遥控数据的传输测试。

本文首先对移动平台的硬件构成做了简要介绍, 并对平台进行运动分析。再利用软件流程图的方式简单说明了整个控制系统的工作流程。然后重点阐述了 CAN 总线通信的实现和遥控数据的 DMA 传输。

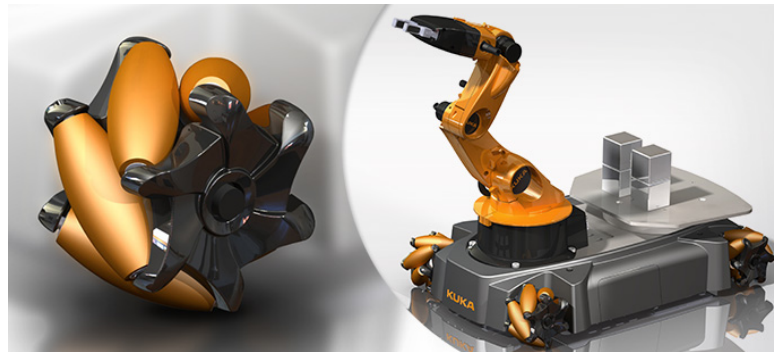


Figure 1. Application of omnidirectional mobile platform
图 1. 全向移动平台应用实例

最终对平台进行实地测试，达到预期目的。

2. 移动平台系统的构成及运动分析

2.1. 全向移动平台系统的硬件构成

全向移动平台的整个系统是基于 CAN 总线搭建的，主控 STM32 和各个电机驱动做为通信节点接入 CAN 总线，遥控系统由遥控器和接收机组成。整个平台框架结构原理图如图 2 所示。

平台使用 STM32F407 芯片作为控制系统的主控。该芯片采用了先进的 Cortex_M4 内核，拥有强大的浮点计算以及处理 DSP 指令的能力；并且拥有高达 1 M 字节的片上闪存和 196 K 字节的内嵌 SRAM；同时可以以 168 Mhz 高速运行时可达到 210DMIPS 的处理能力，以及丰富的外设都为系统的可靠性提供了更好的保障。

2.2. 移动平台运动分析

如图 3 所示，左边的图是以整车作为一个坐标系，右边的图是以轮 1 作为一个坐标系。4 个电机分别驱动 4 个麦克纳姆轮，实现独立旋转。摩擦力的方向由辊子的安装角度以及转动的方向决定。假设 4 个麦轮的转动速度为 w_1, w_2, w_3, w_4 ；整车的速度为 v_x, v_y, v_0 ；辊子的速度 $v_{g1}, v_{g2}, v_{g3}, v_{g4}$ 。以轮 1 为例， O 为底盘的中心， O_1 为轮 1 的中心。 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。

在 XOY 坐标系下，轮 1 中心点 O_1 的移动速度为：

$$v_{O_1x} = v_x - w_0L_1 \tag{1}$$

$$v_{O_1y} = v_y - w_0L_2 \tag{2}$$

在 $X_1O_1Y_1$ 坐标系下，轮 1 中心 O_1 点的移动速度为：

$$v_{O_1x} = -v_{g1} \cos \alpha + w_1R \tag{3}$$

$$v_{O_1y} = v_{g1} \sin \alpha \tag{4}$$

其中 v_{O_1x} 为轮 1 沿 x 方向移动速度，其中 v_{O_1y} 为轮 1 沿 y 方向移动速度， v_{g1} 为棍子 1 的转速。综合式(1)，式(2)，式(3)，式(4)可得：

$$\begin{cases} v_x - w_0L_1 = -v_{g1} \cos \alpha + w_1R \\ v_y - w_0L_2 = -v_{g1} \sin \alpha \end{cases} \tag{5}$$

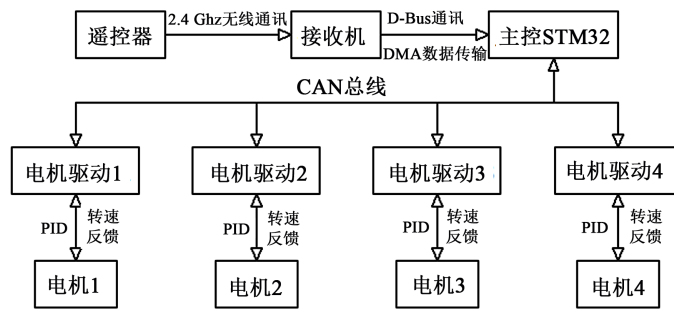


Figure 2. Frame structure schematic
图 2. 框架结构原理图

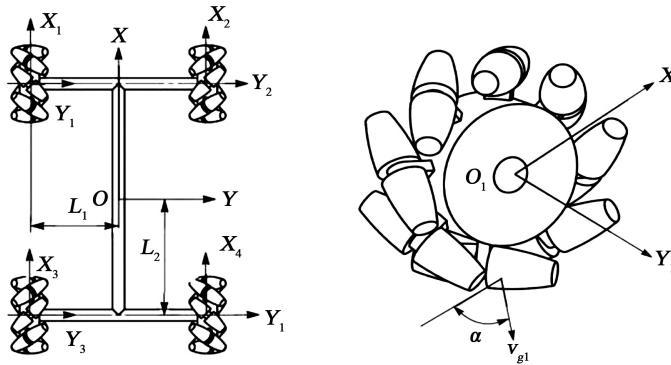


Figure 3. Body coordinate system and 1st wheel coordinate system
图 3. 车体坐标系以及轮 1 坐标系

将式(5)联立求得轮 1 的转速为:

$$w_1 = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{\tan \alpha} & -(L_1 + \frac{L_2}{\tan \alpha}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ w_0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

又因为棍子的安装角度为 45 度, 化简得:

$$w_1 = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -(L_1 + L_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ w_0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

同理分析其余 3 个轮子, 可得:

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -(L_1 + L_2) \\ 1 & -1 & (L_1 + L_2) \\ 1 & -1 & -(L_1 + L_2) \\ 1 & 1 & (L_1 + L_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ w_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

由式(8)知, 分配给四个轮子的转速和旋转方向不同, 平台就可以实现全方位移动[3] [4]。

3. 全向移动平台的控制系统

为了整个系统的稳定性和实时性, 通过搭建 CAN 总线网络, 将主控和各个电机作为总线上的各个节点, 进行数据的交换; 对于远程遥控数据的传输采用 DMA 数据传输。

3.1. 软件设计思想与整体构架

本文研究的全方位移动平台采用半自动运行的方式。系统上电后，人通过肉眼视觉上的反馈，通过遥控器控制移动平台的运动状态。软件设计流程图如图 4 所示。

首先对系统的中断优先级以及系统变量进行初始化，遥控器通过 DMA 进行数据传输，主控对接收到完整的一帧数据进行解析。之后开启 CAN 通信中断，接收到电机反馈报文后触发中断服务函数 CAN1_RX0_IRQHandler (void)，再利用 PID 控制算法计算出要赋予电机的电流值，再通过函数 CAN_Send_Msg()将数据帧发送给相对应的电机，再关闭中断，完成一次循环。

3.2. CAN 总线实现

CAN 总线的全称是 Control Area Network，属于现场总线的范畴，它是一种有效支持分布式控制或实时控制的串行通信网络。最早是由德国 BOSCH 公司设计用来解决汽车通信问题。解决了简单的点对点式通信使得电控系统电气连接线长度和接头数增加的问题，同时还提升了电控系统的稳定性和可维护性 [5]。

主控 STM32F407 和电机电调都是 CAN 总线上的节点，之间通过数据帧进行通讯，通讯波特率设置为 1 Mbps。为了对电机转速进行控制，我们将控制输出量填充到 CAN 数据帧相应的位，然后作为转矩命令发送给驱动板使其工作；同时驱动板以 1 KHz 的频率通过 CAN 总线反馈电机的运行状态。驱动板接收和反馈的数据帧格式如图 5 和图 6 所示。

从图 5 和图 6 看出驱动板反馈带有不同标识符的数据帧，主控接收到数据帧时产生中断。在中断服务函数中，利用反馈的机械角度，根据 PID 控制算法，将计算出的电流值填充到数据帧中，再通过 CAN 总线发送数据帧到电机驱动上，使之达到转速要求。硬件接线如图 7 所示。

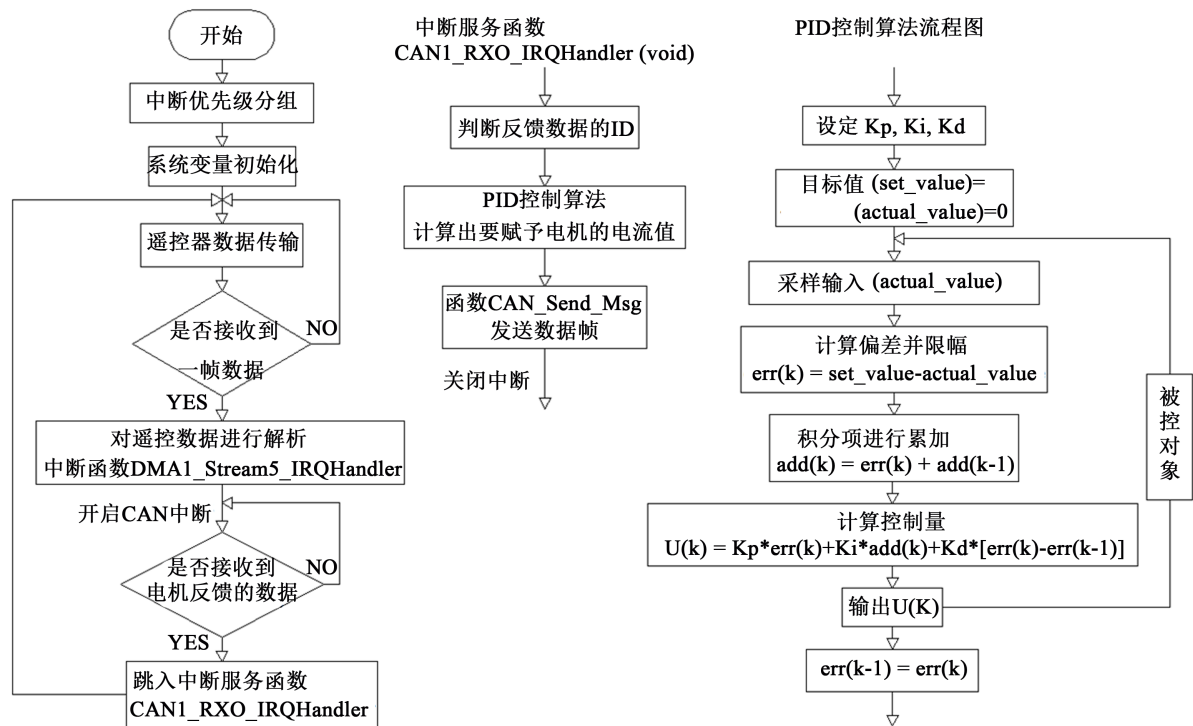


Figure 4. Software flow chart
图 4. 软件流程图

数据域	DATA[0]	DATA[1]	DATA[2]	DATA[3]	DATA[4]	DATA[5]	DATA[6]	DATA[7]
内容	电流给定 高8位	电流给定 低8位	电流给定 高8位	电流给定 低8位	电流给定 高8位	电流给定 低8位	电流给定 高8位	电流给定 低8位
驱动板ID	0×201		0×202		0×203		0×204	

Figure 5. The message format received by driver board

图 5. 驱动板接收报文格式图

数据域	DATA[0]	DATA[1]	DATA[2]	DATA[3]	DATA[4]	DATA[5]	DATA[6]	DATA[7]
内容	机械角度 高8位	机械角度 低8位	转速 高8位	转速 低8位	Null	Null	Null	Null

Figure 6. The feedback message format from driver board

图 6. 驱动板反馈报文格式图

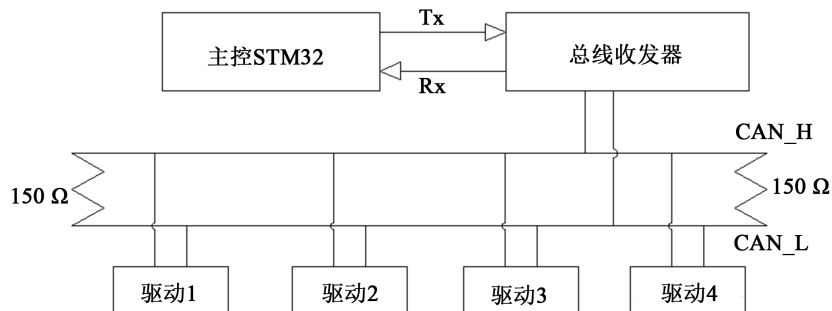


Figure 7. CAN network hardware connection diagram

图 7. CAN 网络硬件连接图

3.3. 遥控数据的 DMA 传输

遥控器的主要作用是控制全向移动平台的运动姿态，包含运动方向、速度以及运动轨迹的规划等。DR16 接收机把遥控器发送的数据传输到 STM32F407 主控通过 DMA 传输。

DMA 传输：全称是 Direct Memory Access，直接通过存储器进行数据访问。该方法最大特点是无需 CPU 干预，也没有中断处理方式那样保留现场和恢复现场的过程，在硬件上搭建了一条 RAM 与 I/O 传输数据的快捷通道，很大程度减轻 CPU 的工作负载。CPU 仅参与 DMA 初始化工作，而在整个数据传输过程中完全由 DMA 自身实现[6]。STM32 芯片 DMA 资源丰富，我们选择 DMA1 的数据流 5，4 号通道。外设基地址为串口寄存器“USART2->DR”，内存地址为自定义的数组 Buffer[]。首先串口通过 DMA 控制器向主控发出 DMA 数据请求，主控响应 DMA 请求，把总线控制权交给 DMA 控制器，之后执行 DMA 数据传输，操作结束后 DMA 控制器把总线控制权还给主控。数据从外设传输到内存中，每当遥控接收机向主控发送了一帧数据后，系统便触发中断，对遥控数据进行解析。

3.4. PID 控制算法

PID 控制器即 P (比例)，I (积分)，D (微分)控制。它是对给定值 $r(t)$ 与实际输出值 $y(t)$ 的偏差 $err(t)$ 进行比例、积分、微分运算。它的数学表达式：

$$U(t) = K_p \cdot \left(err(t) + \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^t err(\tau) d\tau + T_d \cdot \frac{derr(t)}{dt} \right) \quad (9)$$

其离散形式为:

$$U(k) = K_p \cdot err(k) + K_p \cdot \frac{T}{T_i} \cdot \sum_1^k err(j) + K_p \cdot T_d \cdot \left(\frac{err(k) - err(k-1)}{T} \right)$$

式中 K_p 为比例系数; T_i 为积分时间常数; T_d 为微分时间常数; $K_i = K_p * T / T_i$, $K_d = K_p * T_d$; T 是采样周期, $err(k)$ 和 $err(k-1)$ 分别是第 k 和第 $(k-1)$ 时刻的偏差信号[7]。位置式 PID 需要记录前面偏差的累计, 还需计算最近两次偏差的差值。比例项, 微分项, 积分项采用试凑法确定具体数值。

4. 移动平台测试

根据上述计算, 设计制作实验平台, 在平台搭建的过程中, 考虑到平台重量, 对材料的选择进行了多次测试。最终选择铝合金和标准型材作为平台的主体材料, 对于一些应力较小但是形状复杂的零部件采用 3D 打印。同时为了能够让电机转速快速达到设定转速, 对 PID 控制算法的参数进行测试, 当 $K_p = 2.0$, $K_i = 0.0$, $K_d = 0.35$ 时能够满足要求。为了能够更好的达到远程操控的目的, 选择了 DT7 & DR16 遥控接收系统, 经测试在 40 m 距离内操控平台, 在复杂路况下对平台进行实地测试, 操作过程流畅, 平台的稳定性以及实时性均达到目标要求。实验平台如图 8 所示。

5. 结束语

本文提出了一种基于 CAN 总线网络的全向移动平台的硬件和软件方案, 通过远程遥控, 在复杂环境下实现全方位的移动。主控采用 STM32F407 芯片, 利用 DMA 进行数据的传输, 保证了整个系统的稳定性和实时性。主控对遥控器发送的命令进行数据解析后, 分配给四个电机不同的转速, 从而控制平台的移动方向和速度。采用位置式 PID 控制算法, 精确控制电机转速。实际应用中, 对平台进行适当改造, 便可以应用于仓储物流, 探险救援, 科研教学等领域。

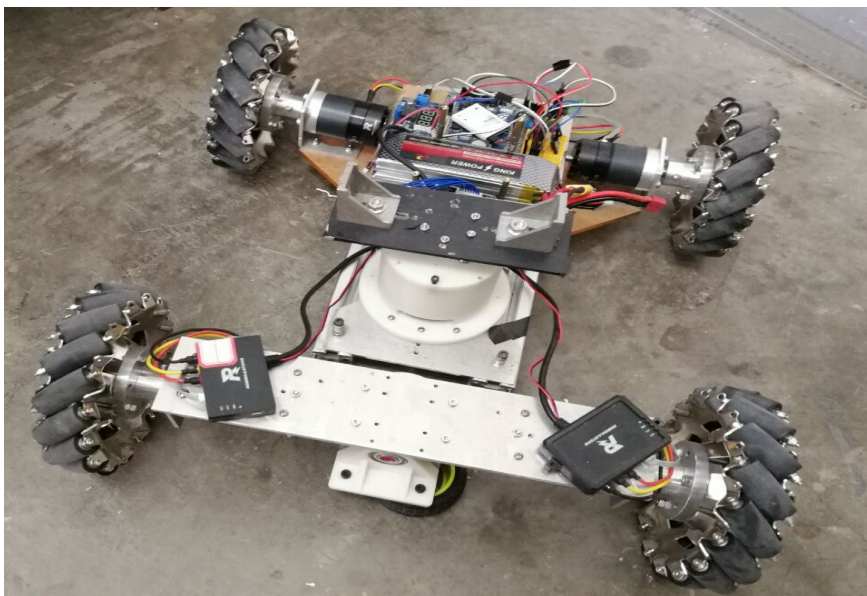


Figure 8. Omnidirectional mobile test platform
图 8. 全向移动测试平台

致 谢

本文获得 2016 国家级大学生创新创业训练计划资助(NO. 201610345026)。

参考文献 (References)

- [1] 肖建. 移动机器人分布式控制系统的研究与实现[D]: [硕士学位论文]. 广州: 暨南大学出版社, 2015.
- [2] 田青. Mecanum 轮式全向机器人位置精准控制的应用[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学出版社, 2015.
- [3] 王兴松. Mecanum 轮全方位移动机器人技术及其应用[J]. 机械制造与自动化, 2014, 43(3): 1-6.
- [4] 陈博翁, 范传康, 贺骥. 基于麦克纳姆轮的全方位移动平台关键技术研究[J]. 东方电气评论, 2013, 27(108): 7-11.
- [5] 柴文峰, 丁学明. 基于 STM32 单片机 CAN 通信控制网络设计[J]. 电子科技, 2017, 30(3): 142-145.
- [6] 魏琳, 田波. 基于 STM32F4 系列的串口 DMA 数据处理传输研究[J]. 自动化应用, 2016(8): 92-93.
- [7] 王虎, 彭如恕, 尹泉. 基于 STM32 嵌入式模糊 PID 步进电机控制系统的设计[J]. 机械工程师, 2014(11): 139-140.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: csa@hanspub.org