

基于 IMU 模块的救援机器人姿态显示系统设计

曹宇 宋爱国 纪鹏 郝小蕾 熊鹏文

(东南大学仪器科学与工程学院 南京 210009)

摘要: Mini IMU 姿态传感器中带有三轴陀螺仪和三轴加速度计,利用其模块放置在机器人可以实现机器人的姿态显示。履带式机器人在灾后进行巡检搜救,对陌生的地形情况,姿态信息显得极为重要。对此,将 Mini IMU 模块连接在机器人主控板上,在飞思卡尔 DP512 单片机 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统中,将数据整合转发给上位机,上位机软件接收到数据信息后,进行数据处理,再用 OpenGL 虚拟现实技术将机器人姿态复原在上位机中。完成整个设计后,实际让机器人进行旋转、攀爬,和在上位机中得到的数据进行对比测量实验,用误差分析的方法对实验结果分析及评估,具有较强的实时性、准确性、可靠性。

关键词: Mini IMU 姿态传感器; DP512 单片机; Ucos-II 操作系统; OpenGL

中图分类号: TP242.3 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8050

Design of rescue robot posture display system based on IMU module

Cao Yu Song Aiguo Ji Peng Hao Xiaolei Xiong Pengwen

(School of Instrument Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210009, China)

Abstract: Mini IMU owns three-axis gyroscope and triaxial accelerometer, so the robot posture can be displayed with it put in the robot. When crawler-type robot searches and rescues after catastrophe, the posture is vital to the unfamiliar topography. To solving this problem, we connect Mini IMU with main control circuit board, and the posture data within $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ operation system of Freescale singlechip are sent to control box. The control box translate the data after receive them. Finally the robot posture can be displayed by OpenGL technology on the screen of the control box. When the design is completed, the robot was controlled to rotate, climb, and comparing the data received in the upper computer. The result of experiment is analyzed and assessed according to the error analysis. The system is timely, accurate and reliable.

Keywords: Mini IMU sensor of posture; DP512 singlechip; $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ operation system; OpenGL

1 引言

近些年来,地震灾害时有发生,例如汶川地震、日本福岛地震,且震后发生核泄漏事故,这种特大地震事故不仅给城市带来毁灭性的灾害,同时也给人民的生命财产带来危害。所以,灾后搜救显得越来越重要,世界各国都开始共同讨论救援对策,研究救援技术。目前,机器人灾后搜救已经是搜救技术领域的一个热门话题^[1-2]。地震灾后,一方面,核辐射泄漏使得救援人员不能顺利地展开搜救行动,另一方,由于存在余震危险,为了保证搜救人员的生命安全,利用履带式机器人进行灾后搜救工作更加合适,美国、日本等科技强国已经在这个方面研究了很长时间,我国也逐年开始重视这方面的研究,并且取得一定性的进展。由于地震灾后,地表发生了巨大的变化,加上楼房坍塌造成的瓦砾废墟,地面难以

预测。一般进行搜救的履带式机器人虽然携带有摄像头,但是摄像头所能带来的环境感知毕竟有限,远程操作人员很难及时了解到现场机器人的姿态情况,在复杂的地形环境中不慎的操作很有可能发生翻车危险,这就要求机器人必须实时传回自身的姿态信息,操作人员一方面通过实时的姿态信息来对机器人进行下一步操作,另一方面,机器人根据自身的位姿情况来做出一定的自主判断,在危险时刻做出自主制停的判断,协助操作人员进行搜救工作。美国的 i-robot 公司做的履带式机器人自身携带三维姿态反馈信息,我国目前有多家单位研究履带式机器人,但是做姿态反馈的却为少数,基于目前现状本文基于集成 Mini IMU 模块设计了一套适合于灾后搜救履带式机器人使用的姿态测试系统,可以在搜救机器人控制器^[2]上看到机器人的实时姿态情况。最后,需要用实际测量和系统中得到的数据进行测量对比,从而对整

个系统的性能进行有效的评估。

2 系统整体设计

整个系统流程如图1所示,将Mini IMU上下、前后、左右均平行于机体放入机器人体内,以便于较为精确的采集姿态信息数据,Mini IMU将采集好的数据包通过串口传输到机器人内部单片机里,做一个简单的数据处理后再转发给机器人电台,由电台传输给机器人上位机控制箱的电台,上位机对得到的数据解算,输出机器人俯仰、航向、横滚等数据,再将数据配合OpenGL实时显示机器人姿态模型。

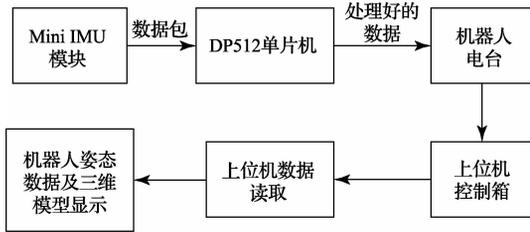


图1 系统流程图

3 系统硬件设计

3.1 Mini IMU 模块介绍

Mini IMU 选用 STM32F103T8^[3]作为主控制芯片,模块上面的传感器通过 I²C 与其相连接,同时传感器的数据中断引脚与 STM32F 的 I/O 相连。使得传感器在完成 ADC 轮换后,STM32F 在第一时间读取最新的数据,快速响应姿态变化。这样的连接使得主控器有着最大的主动权,最快地获取各传感器的状态和转换结果。模块上带有 MPU6050、HMC5883L、BMP180 等传感器芯片,完成数据采样工作。

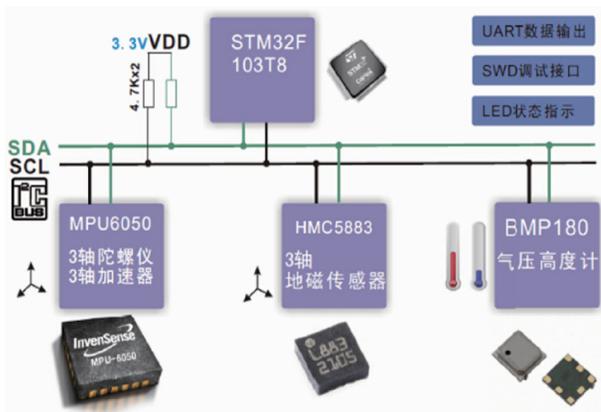


图2 Mini IMU 模块

3.2 硬件电路设计

基于MC9S12DP512芯片做最小系统的主控电路板^[4]。由于Mini IMU的数据是以TTL电平发送,所以可以直接同单片机的TXD0和RXD0的引脚相连接,这里我们用单片机的同Mini IMU的RXD和TXD相连。为了方

便测试,Mini IMU的RXD和TXD引线出来接到MAX232,将其TTL电平转换为RS232电平,这样以便于用串口线外接电脑,测试IMU模块是否正常工作。

主控板上的DP512(如图3所示)上TXD1和RXD1的串口接口同机器人的数传电台相连接,这也是上下数据传输的唯一通道;下位机通过IMU模块给上位机传输实时姿态信息,上位机给下位机传输运动指令及摄像头切换指令等。下位机中各负责控制电机手臂等电路模块不能直接和数传电台相连,它们命令由主控板转发,这里就用了主控板RXCAN0和TXCAN0接口。

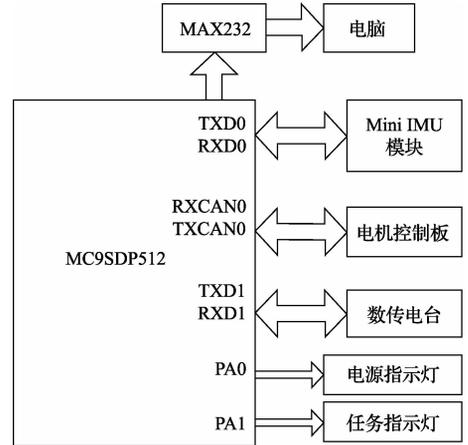


图3 DP512 连接图

3.2 嵌入式软件设计

在单片机中移植 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实时操作系统^[5-6],其基于任务优先级设计,根据任务的重要性分配优先级。IMU回传数据量大,占用的芯片资源大,所以将此任务的优先级设为最低,每发送100个数据包就要将任务挂起一次。此任务流程如图4所示,给任务中需要设置一个IMU_FLAG的标志位,在需要使用的时候置IMU_FLAG标志位为1,此任务就进行转发工作,不需要使用的时候将IMU_FLAG置0,此任务就执行一个空循环。

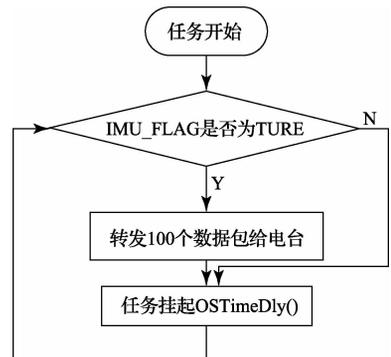


图4 任务示意图

4 OpenGL 上位机软件设计

上位机得到下位机传来的数据后,为了直观地显示机

机器人实时姿态情况, 这样用 OpenGL 技术赋予实现, OpenGL 是图形硬件的一种软接口, 大约包含了 250 种不同的函数, 可以用这些函数指定物体和操作, 创建交互性三维应用程序^[7]。

首先用 Solidwork 软件工具绘制出一个机器人的外观图, 保存成通用的 stl 格式。然后再用 explore 3D 软件将已有 stl 文件转成可以用 OpenGL 调用的 obj 文件。

整个机器人操作系统上位机软件是基于 MFC 编写而成, 在原有的程序基础上加上一个根据得到的数据绘制机器人目前 3D 姿态的子线程。

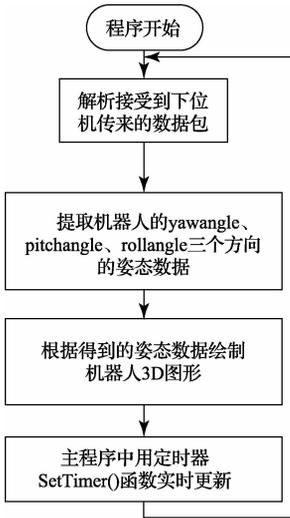


图 5 软件任务流程

任务开始后, 首先提取下位机上传的数据包, 最终提取的变量俯仰角 (pitchangle)、偏转角 (yawangle)、翻滚角 (rollangle) 是浮点型的, 要将下位机数据包里的数据用一个 UART_Get_IMU() 的函数进行解析得到需要的数据。

在 OpenGL 里绘制机器人实体姿态, 先将之前转好的机器人 3D 的 obj 文件导入, 选择机器人的几何中心画三维坐标轴作为机器人三个方向的旋转轴。

用以下三句话实现时刻姿态显示的功能:

```
glRotatef(pitchangle, 1.0f, 0.0f, 0.0f);
```

```
glRotatef(rollangle, 0.0f, 0.0f, 1.0f);
```

```
glRotatef(yawangle, 0.0f, 1.0f, 0.0f);
```

当一次绘制机器人的工作结束后, 此子线程的定时器函数: SetTime (ID_TIMER_UPDATEVIRTUAL, 50, NULL) 将虚拟机器人的界面每 50 ms 刷新一次, 保证姿态显示的实时性。

5 实验讨论

将上位机程序在机器人远程遥控控制箱上运行, 观察机器人自身姿态和上位机虚拟界面机器人姿态变化情况。

首先测试可偏航角 (yaw) 的情况: 在机器人的前端正中央的位置插上一枚红色的钉子 (如图 6), 图中为机器人

的初始位置, 沿螺钉方向用粉笔画出延长线。然后在地上用粉笔画出 45° 角和 90° 的底边, 图 7 是机器人开始时, 上位机中虚拟机器人的位置, 此时在上位机软件里可以看到 yaw 此时的数值是 359.00°。

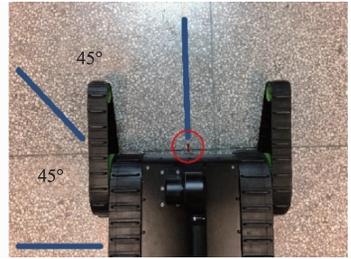


图 6 机器人起始图

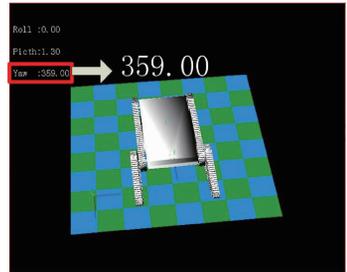


图 7 虚拟机器人起始图

之后, 让其沿着逆时针方向旋转 45°, 即机器人转到如图 8 的位置, 当红色螺钉和 45° 边重合时, 再次观察虚拟界面中机器人 (图 9) 的偏航角 (yaw) 度数, 为 44.50°。

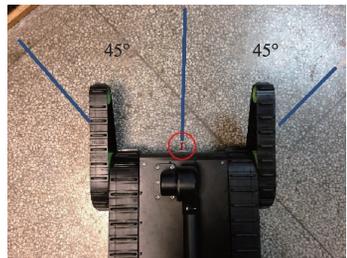


图 8 机器人转到 45° 位置

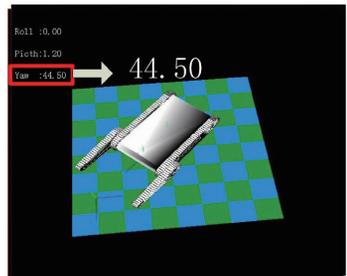


图 9 虚拟机器人转到 45° 位置

此后, 再让机器人选择 45° 到原来偏转 90° 的位置。此时, 机器人在虚拟界面里面偏航角数值为 89.60°。

测试好偏航角后, 我们再次测量其滚转角 (roll) 的可靠性, 让机器人缓慢的爬上一定坡度的楼梯, 如图 10 所示。当机器人平稳地在楼梯上稳定行驶时, 此时上位机软件里机器人情

况如图11所示,此时机器人的roll数值为 28.30° 。



图10 虚拟虚拟机器人爬楼

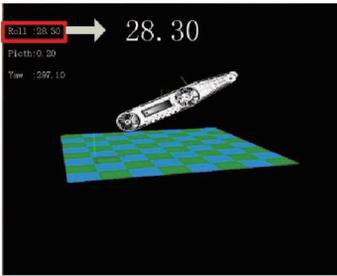


图11 机器人爬楼状态

为了测量楼梯的角度,如图所示我们量取一阶楼梯的高度,如图12所示,可知台阶高度和长度分别为 7.7 cm 和 13.6 cm 。

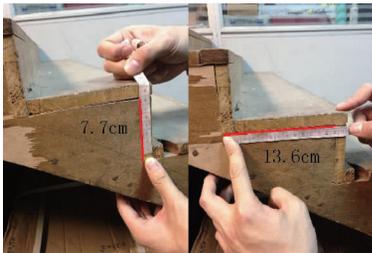


图12 测量楼梯

这样可以求出台阶的斜度为:

$$\arctan(7.7/13.6) \approx 29.5^\circ$$

得到实验数据后,检验其可靠性:

用公式^[8]:

$$e_r = \frac{|x^* - x|}{x^*}$$

计算相对误差。

偏航角起始是 -1.00° (359.00°),最后得到的数据是

44.50° ,测得的旋转角度是:

$$44.50^\circ - (-1.00^\circ) = 45.50^\circ$$

其实际旋转了 45°

所以:

$$e_r(yaw) = \frac{|45.50^\circ - 45.00^\circ|}{45.00^\circ} \approx 0.011$$

$$e_r(roll) = \frac{|29.5^\circ - 28.30^\circ|}{29.5^\circ} \approx 0.041$$

考虑到测量中会出现误差,这样的相对误差是可以接受的,测量结果较为可靠。

6 结 论

利用 Mini IMU 模块实现了机器人机体的姿态显示,通过实验结果可以看出其具有较强的适应性、可靠性和稳定性。在未来,可以将这项技术应用在机器人的导臂和机械手臂上,实现机器人姿态全方位显示在上位机软件里,直观的在遥操作的情况下,了解机器人目前姿态状况。目前这项技术可以辅助人们对机器人进行遥操作控制。在未来,可以将这个技术应用到机器人一些自主控制上,利用回传的姿态信息,设计相应的算法,达到机器人在不同的地形下行进,起到自适应的作用。另外可以增加磁阻传感器做敏感原件^[9]对机器人检测仪的灵敏度进行自修复,消除环境磁场对测量结果的影响,除此之外在机器人本身可以增加霍尔传感器、壁障传感器、测距传感器等来增加机器人的性能^[10]。

参考文献

- [1] 李宇波,朱效洲,张辉,等. 救援机器人技术研究进展[J]. 机器人技术与应用,2011(6):6-12.
- [2] 张瑞君,曹欢玲,陆涛,等. 救援机器人设计[J]. 机电工程技术,2014(4):12-13.
- [3] 熊鹏文,宋爱国. 一种环境侦察机器人的控制器[J]. 南京信息工程大学学报:自然科学版,2011(6):423-426.
- [4] 唐跃林,郑徐豪,吴德超. 一种基于 ARM 处理器 STM32 的手持式智能化自动扶梯同步率测试仪研制[J]. 国外电子测量技术,2014(8):65-68.
- [5] 张立云. 小型环境感知遥操作机器人关键技术研究[D]. 南京:东南大学,2014.
- [6] 孙彩玲,宋杰,袁航. 嵌入式指纹识别控制电路设计[J]. 电子测量技术,2013(9):74-78.
- [7] 王建斌,靳小强,王军阵. 嵌入式管道超声导波检测系统设计[J]. 电子测量技术,2012,35(10):73-76.
- [8] 陈琳,戴骏,冯俊杰. 基于 OpenGL 的多机器人仿真环境[J]. 组合机床与自动化加工技术,2014(9):10-13.
- [9] 张玉华,贾利民. 新型智能车辆检测仪灵敏度自修复与自校准技术研究[J]. 仪器仪表学报,2011,32(5):1177-1182.
- [10] 许萍,王勤. “智能小车”控制器的设计和应用[J]. 电子测量技术,2012,35(11):67-71.

作者简介

曹宇,1991年出生,在读硕士,主要研究方向为测控技术和智能系统。

宋爱国,教授,博士生导师。主要研究方向为机器人感知与遥操作机器人技术、力触觉人机交互与虚拟现实技术、脑-计算机接口技术、康复医学工程与康复机器人技术、微弱信号检测与处理。

纪鹏,在读博士,主要研究方向为发育神经网络和机器人智能算法。