

文章编号: 1002-0446(2002)01-0055-03

一种移动机器人超声波导航系统

童 峰¹ 许天增²

(1. 东南大学无线电工程系 南京 210096; 2. 厦门大学海洋学系 厦门 361005)

摘 要: 本文设计了一种用于移动机器人的超声波导航系统, 介绍了系统的工作原理及结构, 并进行了样车实验。实际的导航实验表明: 系统可用于室内结构环境中的移动机器人导航。

关键词: 移动机器人; 导航; 超声波测距

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

A ULTRASONIC NAVIGATION SYSTEM FOR MOBILE ROBOT

TONG Feng¹ XU Tian-zeng²

(1. Radio Eng. Dept. of Southeast University; 2. Oceanography Dept. of Xiamen University)

Abstract: The design, work principle and system construction of a ultrasonic navigation system of mobile robot are presented in this paper. Practical navigation experiments on demo robot show that it can meet the need of mobile robot working in constructive environment.

Keywords: mobile robot, navigation, ultrasonic ranging

1 引言(Introduction)

机器人已经越来越广泛的应用于工业、农业、国防、科学实验、服务业等人类社会的各个方面。其中移动机器人由于具有更大的使用灵活性而正在成为机器人技术研究的新的热点和重点。

导航就是实时确定运动平台(导弹、飞机、轮船、人造卫星等)的方位并指引其沿正确路线运动, 移动机器人的导航技术是移动机器人研究中的一项目关键技术。超声波探测手段具有安装使用方便、成本低、抗电磁干扰能力强、不受光线烟雾影响、时间信息直观等特点^[1,2], 本文介绍了在863项目“超声地形障碍检测系统”中高精度超声波测距研究^[3]的基础上开发的一种可用于固定及自由路径移动机器人的超声波导航系统^[4]。

2 系统导航原理(Principle of navigation)

我们采取的导航方式是信标导航。测量机器人位置的原理为(以基本的2D情况考虑): 如图1中以AB中点O作为系统的坐标原点, 在A、B点设置超声波接收信标, 在机器人C上设置发射信标, 用三点

法(trilateration)进行位置测量, 可得机器人坐标:

$$y_C = \frac{D_{CA}^2 - D_{CB}^2}{4L}$$

$$x_C = \pm \sqrt{\frac{D_{CA}^2 + D_{CB}^2 - 2L^2 - 2y_C^2}{2}}$$

3 高精度超声波测距处理方法(Process method of high-precision ultrasonic ranging)

由系统的方位测量原理可知, 角度测量和方位测量的精度都取决于超声波距离测量。因此, 超声波距离测量的精度直接影响系统的导航精度性能。

我们采用常用的渡越时间原理(TOF), 以信号单程传输、无需经过反射的发射-接收模式进行超声波测距。由于两点之间直线最短, 这样也可以抗经其他物体处而来的干扰反射波, 提高系统的工作稳定性。

根据信号理论^[5], 相关处理方法是窄带噪声背景中窄带信号时延估计的最大似然处理方法, 它具有抗噪声性能好, 时延估计精度高的优点, 也是确知信

号条件下的最佳或准最佳接收机相关法, 为了提高测距精度及抗干扰性能, 我们采用相关法进行距离测量。

同时, 采用该方案还可利用发射的导航超声波探测前方障碍物, 进行障碍回避。

相关法对接收信号和标准信号进行相关处理, 取相关峰出现时刻为 TOF 时刻, 这里我们采用的标准波形是预先存储的在一固定距离处的接收波形, 因此实际上属于脉间相关。

在发射功率一定因而信噪比一定的情况下, 相关法的测距精度取决于系统带宽, 而常用的通用气介超声换能器(如系统采用的 T/R40-16 系列)存在带宽窄(3dB 带宽 3KHz)的问题, 造成相关峰不尖锐, 严重限制了相关法测距的精度。为此, 我们采用一个用 LMS 算法训练好的 FIR 横向滤波器进行换能器的均衡处理^[5], 如图 3 所示较好地扩展系统带

宽, 从而锐化了相关峰, 达到了提高测距精度的目的。

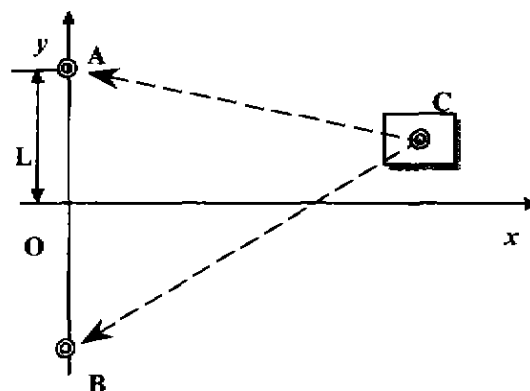


图 1 系统方位测量原理

Fig. 1 Principle of position measurement

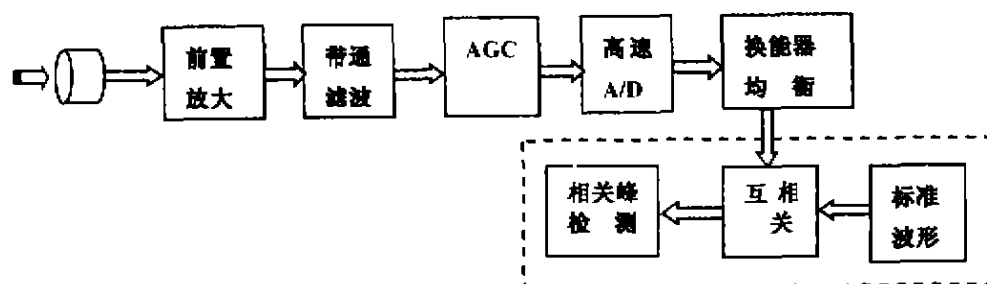


图 2 相关测距系统接收机框图

Fig. 2 Block diagram of correlation ranging system's receiving processor

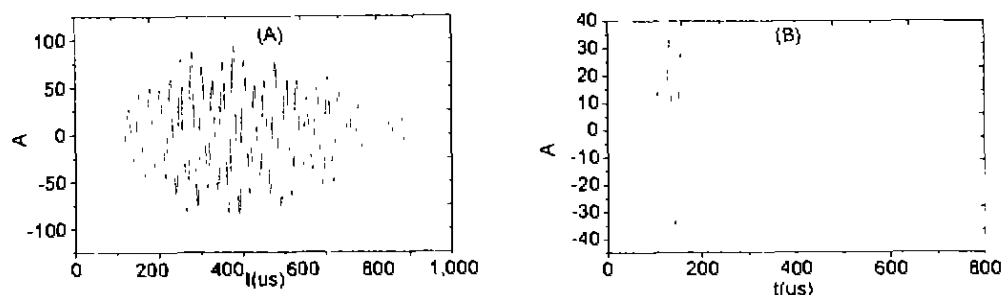


图 3 换能器均衡前(A) 和均衡后(B)的测距信号接收波形

Fig. 3 Receiving signal waveform before(A) and after(B) transducer equalization process

经 500Ksps A/D 采集, 均衡、相关处理后的实时超声测距精度在 3m 内可达到 1mm, 系统采用带缓存的 PC 打印机接口, 全部数字处理可在 PC 或 DSP

内完成, 便于移植到机器人的处理器系统中。

为了补偿由于温度引起的测距误差, 系统采用了温度实时校正的措施。

4 换能器反射器及同步信号设计 (Design of transducer reflector and synchronizing signal)

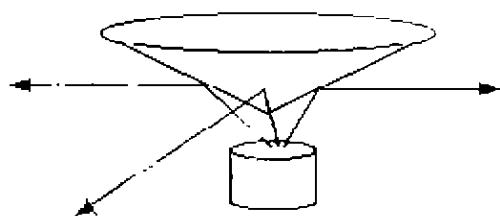


图 4 换能器反射器示意图

Fig. 4 Picture of transducer reflector

我们采用的是 T/R40-16 通用气介超声换能器,该换能器的指向性均较强, -6dB 角为 25 度,影响了导航应用时的自由路径移动机器人工作区域的设计。因此,我们设计了如图 4 所示的圆锥状反射器用于形成全方向性的超声波发射。

同时,系统采用无线同步脉冲作为 TOF 的计时起点,即在发射换能器发射超声波测距脉冲的同时无线发射模块发射一同步无线脉冲,接收端以接收到的无线脉冲作为计时起点,无须用信号线传输同步信号,方便了移动机器人的运动。

5 系统导航实验结果 (Results of system navigation experiment)

在实验室对超声波导航系统实验样车进行了各项导航实验,实验结果^[3,6]如下:

(1) 直线路径跟踪导航:

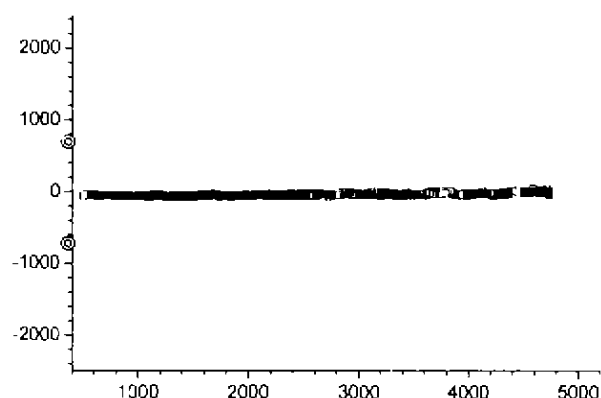


图 5 室内安静空气中导航结果 (L=750mm) (单位:mm)

Fig. 5 Navigation experiment result in in-room silent air (L=750mm) (unit:mm)

(2) 自由运动路径导航

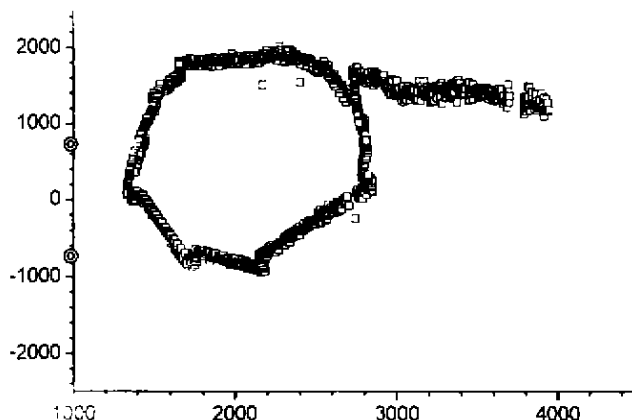


图 6 室内安静空气中导航结果 (L=750mm) (单位:mm)

Fig. 6 Navigation experiment result in in-room silent air (L=750mm) (unit:mm)

(3) 系统导航性能

- 5m 范围内直线导航精度为:垂直轴线 $\pm 1\text{cm}$ 轴线 $\pm 2\text{cm}$;

- 10m 范围内直线导航精度为:垂直轴线 $\pm 5\text{cm}$ 轴线 $\pm 3\text{cm}$;

- 1m^2 范围内自由导航精度为:横向 $\pm 1\text{cm}$ 纵向 $\pm 2\text{cm}$

- 25m^2 范围内自由导航精度为:横向 $\pm 5\text{cm}$ 纵向 $\pm 3\text{cm}$;

- 具有对机器人正前方 $\pm 30^\circ$ 距离内障碍物的探测能力。



图 7 实验室导航样车示意图

Fig. 7 Picture of navigation demo vehicle in lab

6 结论 (Conclusion)

由于采用了发射-接收模式的 TOF 测距原理及换能器均衡提高精度处理,系统达到了较高的工作

(下转第 61 页)

4.3 控制器调试中出现的主要问题及解决方法

对于一个成熟的控制系统,最重要的因素之一就是系统稳定。而对于通信部分而言,稳定的含义在于低误码率,甚至是0误码率。在系统调试初始阶段,为了达到设计要求通信速率($\geq 525\text{Kbps}$),并考虑为实际通信量留有足够的裕量,将通信速率设置在1Mbps。这样,微控制器和CAN通信控制器都采用了16M晶振。然而,这种结构导致了高的误码率(千分之一到二)。究其原因,由于微控制器相对于CAN通信控制器的高速读写操作,使得在读写过程很容易产生误码。而对于这样的问题,有两种解决方法。其一就是降低微控制器的运行速率,在试验中,将微控制器的晶振速率降到12M或8M,而保持CAN通信控制器晶振速率(16M)不变。这样,当微控制器读写CAN通信控制器时,微控制器有足够的时间等待数据总线上的信号完全稳定,从而降低通信误码率。另一种解决方法是在不改变微控制器的运行速率情况下,将CAN通信控制器上的片选信号与微控制器上的READY信号相连接,在每次微控制器读写外设时插入设定好的等待周期,这样做的目的也是使微控制器等待数据信号稳定。通过多次20万次整型数据的通信试验,误码率都为0,验证了

这两种方法的有效性。

5 结论(Conclusion)

基于CAN总线构成自主式双足步行机器人控制系统,可以方便地实现对机器人步行控制,并具有结构简单、可靠性高、安装维护方便等特点。实验表明,基于现场总线构造递阶分布式控制系统,并利用总线实现协调层与执行层之间的通信,对提高系统的可靠性具有积极的作用。

参考文献 (References)

- 1 阳宪惠. 现场总线技术及其应用. 清华大学出版社
- 2 冯元琨,王振宇,陆玉昌,杜继宏. 机器人. 四川教育出版社
- 3 Philips Semiconductors, SJA1000— Stand-alone CAN Controller-data Sheet
- 4 邹宽明. CAN总线原理和应用系统设计. 北京航空航天大学出版社

作者简介:

- 方海军 (1977-),男,硕士研究生,研究领域:机器人控制,机器人控制器开发。
孙政顺 (1945-),男,副教授,研究领域:计算机控制,计算机管理系统。
杜继宏 (1943-),男,教授,研究领域:计算机控制,机器人控制,智能控制。

(上接第57页)

稳定性、较大的工作范围和较高的导航精度;因为位置测量采用了三点式工作原理,导航精度受到了机器人位置和发射信标间距等因素的影响,使用时可根据机器人运动情况合理设置发射信标间距、设置接收信标。

由于系统采用超声波测量,安装、使用方便,可适应于室内结构性环境中工作的清扫、搬运、导游、保安、护理等各类移动机器人导航。

参考文献 (References)

- 1 钟道昌等. 三点式超声测距测角装置. 测控技术, 1999, (4): 39-41
- 2 景旭文等. 单片机控制的超声波视觉识别系统. 电子技术应用, 1994, (6): 7-10
- 3 童峰,许天增. 一种移动机器人超声导航传感器. 中国2000年机

器人学大会报告, 2000

- 4 鞠德航,林可详,陈捷. 信号检测理论导论. 北京:科学出版社, 1977:107-132
- 5 童峰. 自动导引车(AGV)超声导引系统研究. 厦门大学博士论文, 2000

作者简介:

- 童峰 (1973-),男,2000年毕业于厦门大学海洋学系,获工学博士学位。现在东南大学无线电工程系信息与通讯博士后流动站工作。主要研究领域:声信号处理、高精度超声测距,机器人超声波传感系统,水下高速率数据通讯。
许天增 (1936-),男,教授。主要研究领域:水声遥测遥控,水下速率数据传输,高精度超声检测,机器人超声波传感系统。