

简 报

机器人多路超声波环境探测器的研制^{*}

罗本成 原 魁 刘晋东 刘贤华

(中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学实验室, 北京 100080)

(2001 年 9 月 18 日收稿; 2001 年 12 月 2 日收修改稿)

摘 要 在自主式移动机器人的定位导航中, 实时探测周围环境信息的传感器系统是至关重要的。介绍了一种基于单片机的多路环境探测器, 阐述了系统的工作原理与软硬件设计, 分析了误差产生的原因, 给出了相应地处理方法。基于此开发了 SMAJ 自主移动小车, 实验验证了系统的实效性。

关键词 移动机器人, 超声波传感器, 单片机, 多传感器融合

中图分类号 TP242

1 引言

在自主移动机器人系统(autonomous mobile robot system), 机器人需要实时地收集环境信息, 以实现避障、环境地图建立(map building)及定位, 然后进行路径规划等工作。这些任务必须依靠能实时感知环境信息的传感器系统来完成。为了在复杂环境中获取有效的信息, 机器人系统往往安装种类各异的传感器。常用的有红外传感器、超声波传感器和 CCD 传感器等。其中, 超声波传感器以其性价比高、硬件实现简单等优点, 被广泛地应用到机器人感知系统中^[1, 2]。在实际应用中, 超声波传感器存在一定局限性, 常常是配合其他传感器以实现机器人的准确定位及灵活避障等功能。为实现这些功能, 我们开发了基于 ADuC812 单片机的多路超声波探测系统, 并在此基础上开发了自主移动小车 SMAJ (small mobile autonomous jeep)。

超声波探测原理比较简单^[3, 4], 一般是采用时差法。即:通过检测发射的超声波与其遇到障碍物后产生回波之间的时间差 Δt , 求出障碍物的距离 d 。(计算公式为: $d = c\Delta t/2$; 其中 $c = 331.4 \times \sqrt{1 + T/273}$ 为超声波波速, T 为环境摄氏温度)。有了上述信息, 机器人就可以初步地判定周围环境障碍物的分布情况。

2 系统的硬件设计

超声波探测系统主要由超声波发生电路、超声波接收电路、红外传感器接口电路和机器人电机换相调速等模块组成, 如图 1 所示。系统的核心为 ADuC812 单片机, 主要完成信号的发射与接收, 信息融合及控制自主移动小车 SMAJ 等功能。移动机器人在运动中需要实时地了解环境信息, 常常根据实际需要将传感器均匀地布置在机器人四周, 从而构成环境探测系统。

2.1 超声波的发射

超声波发射部分主要由激励信号发生电路、缓冲升压放大和超声波换能器等环节构成。实验表明, 为有效探测机器人周围的环境信息, 除了尽量使超声波发射频率达到 40 kHz 的最佳工作频率外, 缓冲升压

^{*} 国家高技术研究发展计划 863 资助项目
罗本成, 男, 1974 年 4 月生, 博士生; E-mail: bencheng. luo@mail. ia. ac. cn

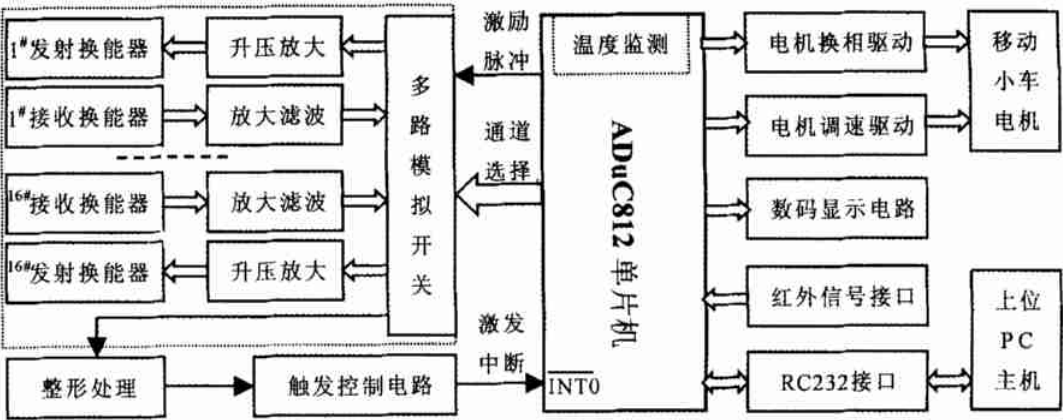


图 1 系统硬件结构框图

Fig 1 Structure flowchart of system(SMAJ) hardware

驱动也非常关键^[5]。超声波发射过程是:首先由 ADuC812 单片机控制多路模拟开关(CD4051),循环启动 16 路发射电路,经 P2.5 口产生脉宽为 25 us 的 40 kHz 的调制脉冲波,再经电感、电容耦合升压电路产生幅度达 60 V 的瞬间高能激励信号,激发换能器产生超声波信号。图 2 为示波器观察到的信号波形图。从图 2 中可以看出,超声波在发射的瞬间,有部分声波会直接串入接收端产生“强”的虚假反射波。为了有效地避开“虚假”信号,需要进行软件延时处理,从而导致所谓的探测“盲区”问题。

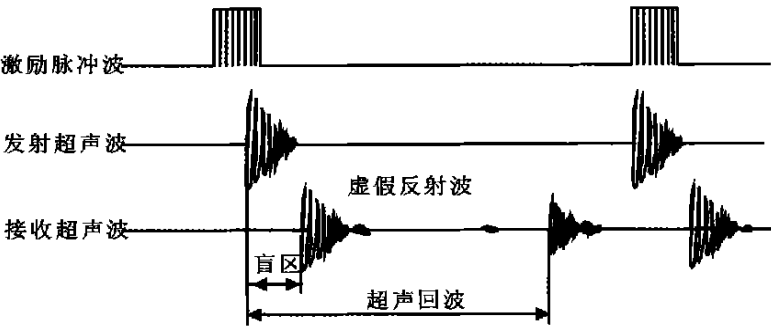


图 2 超声波发射与接收工作过程示意图

Fig 2 Process of receiving & transmitting ultrasonic

2.2 超声波的接收

超声波的接收与发射必须协调一致工作,才能保证信号准确灵敏地接收。该部分主要由接收换能器、放大滤波、整形触发输出等环节组成。由于超声波在传播中,其能量会随传输距离的增大而减小,从远距离障碍物反射的回波信号一般比较弱(为 mV 级),所以需要经过多级信号放大处理。本系统采用了三级放大处理,将信号放大约 150 万倍,然后经整形电路输出,如图 3 所示(图 3 中省略了多路模拟开关)。第一级为初级放大,选用了通用运放 LM358 对接收的弱信号进行 100 倍左右的放大处理。为防止“强”虚假反射波串入后对电路的冲击影响,采用两个二极管 D1、D2 作为 0.7 V 的限幅保护处理;第二级位谐振选频放大电路,放大 40 kHz 左右的超声波信号,同时滤出其他频率的干扰信号;接着,经过由二极管 D3、D4 及电容构成的整形电路,对信号进行第三级放大整形处理,形成正相脉冲波,最后激发由三极管 TR2 构成的脉冲输出电路产生中断申请信号,使 ADuC812 的 INT0 口响应中断,并停止高速计数器 T2 的计数。

外部 INT0 服务程序主要完成信号的接收与信号处理。首先关闭中断功能,以免触发脉冲的多次引发中断;接着,根据 T2 的当前计数值,计算出超声波在空气中传播的时间;然后,读入 ADuC812 内含的温度监测模块求出的环境温度值,利用公式 $d=c\Delta t/2$ 计算障碍物分布的距离。机器人根据这些信息,就可以进行实时地运行控制。如果需要与上位 PC 机进行通讯,可将求出的距离信息转化为 ASCII 码,然后融合其他传感信息,调用通讯模块将当前信息发送给上位机。上位机则调用信息融合模块形成机器人环境模型,进行机器人的运动规划。具体见图 5 所示。

4 超声波探测精度和实时性问题

一般而言,由于超声波传感器存在固有的局限性,探测的精度不会很高。同时,由于多路超声波电路循环触发,不可避免地会涉及到探测的实时性问题。此外,超声波探测精度还受环境温度、发射角辐射范围和障碍物表面特性等因素的影响。这些都是需要注意的问题。

4.1 探测的精度问题

- 精度要求随实际应用场合的不同而不同。为提高超声波探测精度,我们采取了如下措施:
- (1)尽量提高超声波发射的强度,并融合邻近传感器信息,以提高障碍物定位的准确性;
 - (2)采用 ADuC812 内部的温度监视模块,实时地对测量数据进行温度修正处理;
 - (3)利用红外传感器方向性好的特点,在每两组超声波传感器之间安置一个红外接近传感器,探测距离根据实际情况进行选择。一定程度上克服了超声波探测中存在“盲区”和由于物体表面特性、形状导致的多次回波问题^[1];
 - (4)适当采用动态跟踪技术,结合自回归 AR 滤波技术对采样值进行实时地修正^[6,7];但在非静态环境以及实时性难以保证的情况下,一般不宜采用。

由于超声波是以扇形辐射发送的,在 200cm 以上的测距受环境影响很大,很难保证测量精度。表 1 为 100cm 范围内的测量结果。

表 1 100cm 范围内测量数据
Tab. 1 Measure results within 100cm range

	cm											
实际距离	25	35	45	50	55	60	69	80	85	90	95	100
测量距离	24.69	34.96	45.06	50.13	55.01	69.98	79.96	85.2	90.47	95.28	100.1	
测量误差	-0.31	-0.04	+0.06	+0.13	+0.01	+0.01	-0.02	-0.04	+0.2	+0.47	+0.28	+0.1

4.2 探测的实时性问题

探测的实时性对于自主式移动机器人而言是至关重要的。由于多路超声波组不能同时发射(否则会产生“混叠效应”),这样 16 路超声波循环一次需要 $16 \times 60 = 960\text{ ms}$,这对系统的实时性极为不利^[1]。考虑到机器人在各个阶段对实时性要求不同,即:在环境建模阶段对实时性要求不是很高,但对周围环境的完备性知识要求却比较高;在机器人自主运动阶段,则对探测的实时性要求比较高,环境知识的完备性上却相对较低;而且,机器人运动时更关心运行前方的环境情况。因此,将传感器(如图 6 所示)进行布局,其中 12 个黑色小方块代表红外接近传感器,白色标号的小方块分别代表 0~15 号超声波传感器组。从图 6 中可以看出,16 个传感器是奇偶相间布置,机器人前部安装了 7 组超声波传感器,后部仅安装了 3 组超声波传感器。当机器人进行 map-building 时,按顺序依次激发超声波传感器组,并融合红外传感器信息等其他

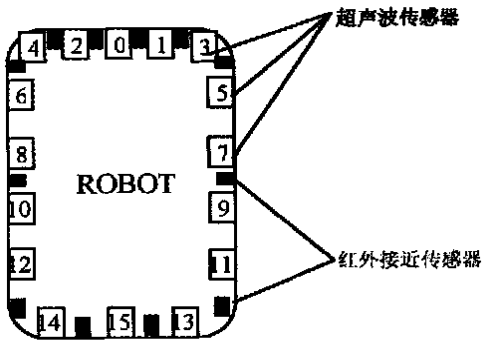


图 6 机器人的传感器布局示意图
Fig 6 Sensors displacement of mobile robot

传感器信息,就可以比较准确地建立环境模型;当机器人自主运动时,则可实时地开启与移动方向相关的传感器组(如前进时,可以仅仅激发 0~4 号传感器组,甚至只有 0 号传感器组),以提高探测的实时性,而对机器人的自主运动不会产生很大的影响。

总之,采用上述处理方式后,系统探测精度和实时性得到了比较大地提高。经实验表明,系统探测的盲区"为 25 cm 左右,有效探测范围为 5.0 m 以上,测量分辨率为 0.5 cm 左右,测量误差可控制在 ± 3 mm。系统投入到 SMAJ 自主移动小车中,运行可靠、实时性好,而且供电简便、功耗较低。当然,对较远的障碍物探测时,其精度会有所下降,但已足以满足移动机器人对环境建模和实时避障要求。

5 结 论

超声波传感器价格低廉、硬件实现简单,通过信息融合处理可以较准确地反映环境信息,所以在自主式移动机器人系统中得到了广泛应用。本系统采用高集成度的单片机 ADuC812,以简单的硬件电路实现了多路超声波探测功能,系统的测量精度达到了应用要求。此外,系统还具备 RS232 接口和 I²C 总线接口,既可独立作为机器人环境探测器,也可作为传感器部分,同上位机进行实时地信息交互,实现更加复杂的决策控制功能。下一步工作是在此基础上进行移动机器人的定位和导航研究。

感谢武汉大学电气学院的舒乃秋教授提出的建设性意见!

参 考 文 献

[1] E Gonza lez. Uncertainty Treatment in a Sureface Filling Mobile Robot. International Workshop RUR 95 Dec. 1995, Proceedings 294~305

[2] Giuseppe Oriolo. Real-Time Map Building and Navigation for Autonomous Robot in Unknow Environments. IEEE Tran SMC Part B: Cybematics, 1998

[3] 王小平. 非介入式智能超声波测量计. 半导体技术, 2000, 5:50~52

[4] 纪良文. 机器人超声波测距数据的采集与处理. 电子技术应用, 2001, 4:16~18

[5] 苏长赞. 实用遥控技术手册. 北京:人民邮电出版社, 1996

[6] Ashraf Elnager. Motion Prediction of Moving Objects Based on Autoregressive Model. IEEE Tran SMC Part A: System and Human, 1998, 803~810

[7] Andrew Kiruluta. Predictive Head Movement Tracking Using a Kalman Filter. IEEE Tran SMC Part B: Cybematics, 1997, 326~331

Development of Robot Multi-Channel Ultrasonic Environment Finder

LUO Ben-Cheng YUAN Kui LIU Jin-Dong LIU Xian-Hua

(Complex System and Intelligence Science Lab., Institute of Automation of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract A real-time sensor system plays a critical role for autonomous robot navigation, and location as well. In this paper, a MCU based multi-channel ultrasonic environment finder for autonomous robot is introduced. Some reasons caused the measure error are analyzed, and methods to cope with it are also addressed. By taking advantage of the finder, a small mobile autonomous jeep named SMAJ is developed, experiments show its practicability.

Key words mobile robot, ultrasonic sensor, micro-controller unit, multi-sensor fusion