

基于嵌入式定位系统的研究

朱 宇, 张 鑫, 李 斌

(西安科技大学 计算机学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 文中主要介绍了基于超声波传感器的目标定位系统, 对系统中存在的干扰进行分析, 并且改进了抗干扰算法. 设计了由 S3C2440A 微处理器, 超声波传感器, 温度测量电路以及液晶显示屏等组成的嵌入式定位系统, 以 Linux 操作系统为软件平台, 主要设计了系统控制程序和定位运算程序. 该系统可以满足在室内以及一些对精度要求较高的特殊及恶劣环境下的定位, 具有良好的计算能力, 可扩展性, 方便实施.

关键词: 嵌入式; 超声波; 定位系统; Linux

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)04-0180-04

The Research of Positioning System Based on Embedded System

ZHU Yu, ZHANG Xin, LI Bin

(College of Computer Science and Technology, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: The applications of Embedded wireless sensor is very broad. This paper describes ultrasonic sensor-based targeting system principle, analysis of the interference present in the system and improved anti-jamming algorithm. We use S3C2440A micro-processor. This system composed by ultrasonic receiver and transmitter module, temperature measurement module and LCD module. We use Linux operating system as software platform. the main design of the system control program and the position calculation process, the system Achieved in indoor as well as some of the special and high precision positioning in harsh environments. The system has good computing ability and has good scalability and adaptability.

Key words: embedded system; ultrasonic; positioning system; Linux

1 引言

嵌入式系统已经广泛地应用到当今各个领域, 将嵌入式系统与超声波测距和定位算法相结合实现定位, 具有成本低, 定位精度高等优点. 由于超声波具有以下几方面的明显优势: (1) 相对于声波, 超声波具有定向性好、能量集中、在传输过程中的衰减小的特点; (2) 相对于光学方法, 超声波的波速小, 可以直接测量较近目标的距离, 纵向分辨率较高; 对色彩、光照度、电磁场不敏感, 适应范围广; (3) 超声波传感器结构简单, 体积小, 信息处理简单可靠, 易于小型化与集成化^[1]. 超声波定位因其成本低、结构简单且易于实现而有了越来越多的应用^[2]. 将超声波与定位系统结合应用于某些对精度要求高, 或极端

恶劣环境下的定位以及路径还原越来越受到人们的重视. 本设计以 ARM9 系列的嵌入式芯片为硬件平台, 移植 Linux 操作系统作为系统软件平台, 将超声波传感器, 接收电路模块、信号处理电路模块、定位算法、滤波算法有机的结合起来.

2 定位原理

超声波定位是基于超声波测距的一种非接触式距离测量的方法, 其原理如下: 利用超声波在空气中的传播速度为已知, 记录超声波发射时间和接收时间, 根据发射端到接收端的时间差计算出发射器到接收器的实际距离. 测距公式表示为: $L = C * t$, 式中 L 即为发射器到接收器之间的距离, C 为超声波的传播速率, 常温下超声波在空气中的传播速度为

340m/s, t 为从发射点到接收点的时间差. 假设在一个固定的参考坐标系中, 在原点 O 与 X 轴上的 A 点、 Y 轴上的 B 点分别安装上 3 个超声波接收器, 在被检测的物体上安装 1 个超声波发射器, 这些传感器与处理器通过 I/O 接口连接, 通过中断程序控制超声波发射时间, 接收器在收到超声波后响应中断, 确定接收时间. 被检测物体在 A 点坐标为 (x, y, z) , 3 个超声波接收器坐标为 $O(0, 0, 0)$ 、 $A(a, 0, 0)$ 、 $B(0, b, 0)$, L_1 、 L_2 、 L_3 为 C 点分别到 O 、 A 、 B 三点的距离:

$$L_1 = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$L_2 = \sqrt{(a-x)^2 + y^2 + z^2}$$

$$L_3 = \sqrt{x^2 + z^2 + (b-y)^2}, \text{联解式得:}$$

$$x = \frac{L_1^2 - L_2^2 + a^2}{2a}, y = \frac{L_1^2 - L_3^2 + b^2}{2b}$$

$$z = \sqrt{L_1^2 - x^2 - y^2}$$

即测量出 L_1 、 L_2 、 L_3 就可利用上式求出 x 、 y 、 z 的值, 得到被检测物体在三维坐标中的位置, 实现定位. 如图 1 所示.

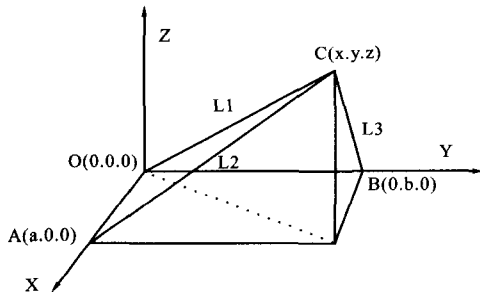


图1 定位原理图

3 误差干扰控制

目前的误差控制及滤波方法基本是基于以下几种方法: 计算方法、数理统计、傅里叶变换等^[3]. 在实际应用中使用最小二乘法进行曲线拟合较为常见, 但由于最小二乘法对于动态数据的误差估计较差, 并不能完全满足需要. 文中通过对几种方法的结合设计出一种新的算法. 首先对信号进行小波分析, 然后使用最小二乘法对观测数据进行数学处理, 然后数据进行定位计算, 同时对经过最小二乘法处理过的数据使用卡尔曼滤波进行迭代运算, 该算法的改进在于将不同方法的优点相结合, 达到较好的预期. 如图 2 所示.

首先本系统采用小波分析对观测数据进行处理, 小波分析运用傅里叶(Fourier)变换的局部化思想, 进行时空序列分析的一种数学方法.

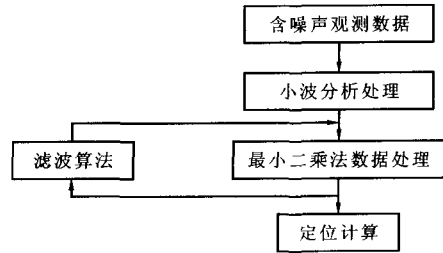


图2 算法流程图

$$W_0 d = W_0 f + \varepsilon \cdot W_0 z \quad (1)$$

式中, d 表示观测数据向量, f 是真实信号向量, z 是高斯随机向量^[4].

其次, 在使用小波分析对观测数据进行初步处理后, 再使用最小二乘法对数据进行数学处理. 最小二乘法适用于对常值向量或随机向量的估计, 由于使用最优指标是使量测估计的精度达到最佳, 估计中不必使用与被估计量有关的动态信息与统计信息, 甚至连量测误差的统计信息也可不必使用, 所以估计精度不高, 但这种方法最大优点是算法简单, 在对被估计量的量测误差缺乏了解的情况下可以使用, 同时最小二乘法对于匀速运动模型下的误差控制非常精确.

$$\frac{\partial e}{\partial v} = 2 \sum_{i=1}^n (t_i + \Delta t)(v t_i + v \Delta t - d_i) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial e}{\partial \Delta t} = 2 \sum_{i=1}^n (v t_i + v \Delta t - d_i) v = 0 \quad (3)$$

式中, d_i 指某路超声波信号在空间传播的计算距离; v 为超声波信号在空间传播的实际速度; t 为该路超声波信号在空间传播的实际时间; Δt 为该路电路硬件引起的电路延时时间^[5].

为了克服使用最小二乘法估计误差的不足, 使用迭代方法对观测数据使用卡尔曼滤波进行数据平滑, 观测数据经过最小二乘法的数学处理后, 再利用有偏的卡尔曼滤波(Kalman filter)方法, 平滑测量的数据.

卡尔曼滤波方程组为:

$$W(n | n-1) = F X(n-1) \quad (4)$$

$$X(n) = X(n | n-1) + K_g(n)(Z(n) - H X(n | n-1))$$

$$p(n | n-1) = F P(n-1) F^T + C Q C^{-1}$$

$$K_g(n) = P(n | n-1) H^T (H P(n | n-1) H^T + R)^{-1}$$

$$P(n) = (1 - K_g(n) H) P(n | n-1) \quad (5)$$

式中, $X(n) = [d(n) v(n)]^T$, $d(n)$ 为距离, $V(n)$ 为速率; $W(n-1)$ 为系统噪声; $F = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$; $C = \begin{bmatrix} 0 \\ T \end{bmatrix}$.

通过 MATLAB 仿真滤波算法并进行比较,如图 3 所示。

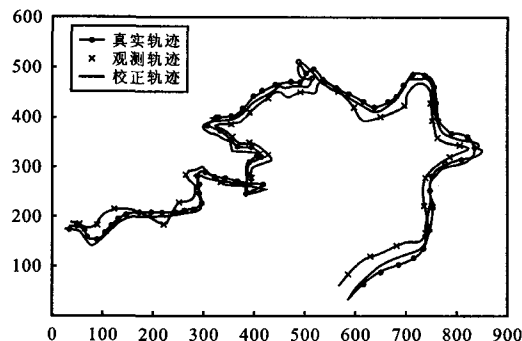


图 3 算法仿真结果

通过滤波算法处理后系统误差的得到有效控制,经过该算法处理的校正数据较观测数据更加贴近实际数据,达到预期目标。

4 系统软硬件设计

4.1 系统硬件设计

定位系统硬件主要由控制芯片、超声波发送模块、超声波接收模块、温度测量电路和液晶显示模块组成。超声波传感器与发送和接收电路组成超声波发送和接收模块,模块输入输出端通过 I/O 接口与嵌入式系统相连接,通过 I/O 接口读取温度,液晶屏通过 LCD 专用 DMA 连接。硬件结构图如图 4 所示。

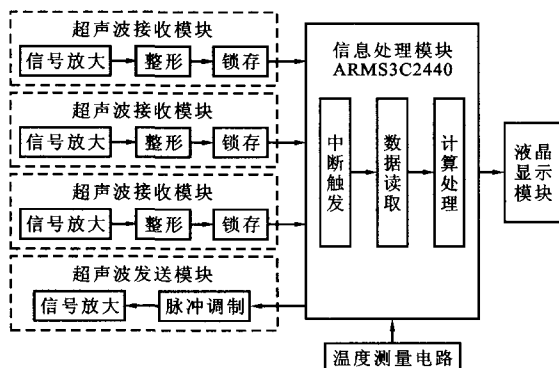


图 4 硬件结构图

控制芯片采用了三星公司推出的 ARM9 微处理器 S3C2440A, 是一款为手持设备和一般类型应用提供的低价格、低功耗、高性能小型微控制器的解决方案。超声波发生模块使用的是压电式超声波发生器探头, 压电式超声波发生器实际上是利用压电晶体的谐振来工作。由发射模块中产生 40kHz 的方波经过放大, 驱动超声波传感器发射超声波, 发射驱动电路其实就是一个信号放大电路, 本模块所选用的是 74HC04 集成芯片。超声波接收端接收到超声

波后, 转换为电信号, 此时的信号比较弱, 必需经过放大, 本系统采用了 LM741 对接收到的信号进行放大。温度测量电路的设计是由于超声波在空气中的传播速度由空气密度决定, 空气密度主要受温度影响, 所以准确测量超声波传输环境的温度, 对于准确测量超声波在空气中的传播时间至关重要。

$$C = C_0 + 0.607 \times T^{\circ}\text{C} \quad (6)$$

式中, C_0 为零度时超声波传输速度 332m/s; T 为实际温度 ($^{\circ}\text{C}$), 在进行定位数据计算时必须加以修正。DS18B20 温度传感器是美国 DALLAS 半导体公司推出的一种改进型智能温度传感器, 测温范围为 $-55 \sim 125^{\circ}\text{C}$, 最大分辨率可达 0.0625°C 。DS18B20 与嵌入式系统 I/O 接口相连可以直接读出被测温度值, 具有低成本和易使用的特点。显示系统配置为 3.5 英寸 NEC256K 色 TFT-LCD (薄膜晶体管液晶显示器) 显示屏, 分辨率为 240×320 , 带触摸功能。

4.2 系统软件设计

系统程序设计主要包括: 发射控制程序, 主要负责超声波脉冲信号的产生; 接收控制程序, 主要负责接收信号的控制和处理; 中断服务程序; 测温数据的读取程序; 数字滤波及定位算法, 主要负责数据滤波, 以及将数值带入算法方程中求解; 显示程序, 主要负责将计算结果在液晶屏上显示。在超声波接收控制程序设计中, 通过实现对 I/O 中断循环查询, 程序可以非常方便的将三路接收信号加以区分, 同时设置了接收标志符, 只有当三路接收数据同时到达后再解方程组, 由于干扰和数据传输中丢失问题带来的影响显著减少, 因此有效提高了实际定位效果。如图 5 所示。

在嵌入式系统软件设计的过程中, 与传统的单片机最大的不同就是可以移植操作系统, 使软件设计层次化, 从与硬件相关的 BSP 到实时操作系统内核 RTOS, 到上层文件系统、GUI 界面, 以及用户层的应用软件各部分可以清晰地划分开来, 改变了传统单片机在软件设计时将应用程序与系统程序、驱动程序等全部一起混合编译, 提高了系统的可扩展性, 软件维护简单方便。根据 S3C2440A 芯片进行修改, 建立引导装载程序 BOOTLOADER, 移植专门面向 ARM9 系列的 Linux 操作系统, 在嵌入式系统中, 由于 Flash 的空间有限, 必须采取某些措施对 Linux 的文件系统进行裁剪^[7]。接下来添加了液晶显示模块驱动:

```
void LCD_Init(void) { }; void Clear_Screen(U16
```

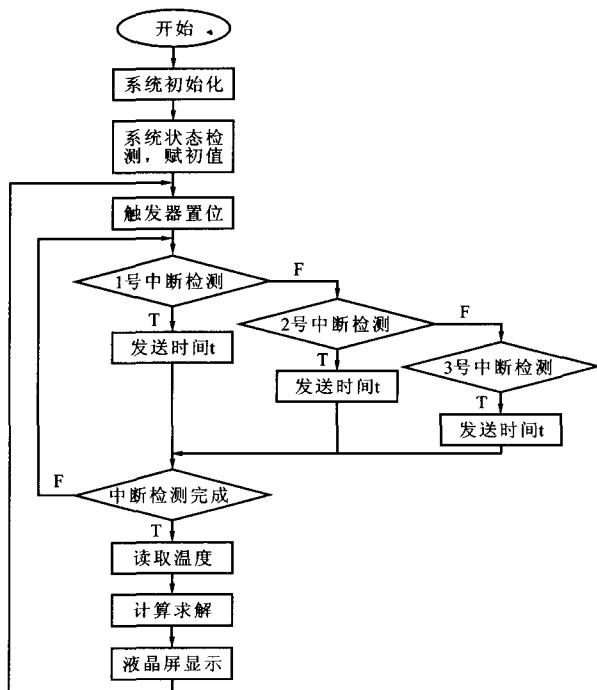


图5 程序主流程图

```
color16) {};
```

```
void CleanScrn_Memcpy(U16 color16) {};
```

```
void PowerControl(char state) {}
```

超声波传感器模块、和温度测量模块等硬件驱动:

```
void Test_CPLD_IO(void) {}
```

然后进行调试修改。软件开发流程包括下面几个步骤:(1)编写源代码:编写C语言源代码;(2)程序编译:使用专用编译器编译程序;(3)软件仿真调试:将软件运行情况在SDK中仿真;(4)程序下载:通过JTAG方式下载到目标板上;(5)软硬件测试、调试:通过JTAG等方式联合调试程序;(6)下载固化:程序无误,烧录到目标板上。

5 测试与结果分析

本系统可以通过调整超声波发射与接收电路以及增加信标节点应用于不同场所,为运动物体提供路径跟踪与还原,应用前景广阔。在实验室中的测试区域为100cm×100cm的范围内,采用了3个信标节点,一个主控节点和一个可移动的小车来构建定位系统,将3个信标节点放置在距离测量物体100cm的平面内,系统中所有信标节点的时间必须与主控节点同步,信标节点和主控节点可以相互通信。在试验过程中对信标节点进行实际测量,发现距离与测距误差成正比,这主要是由于超声波信号和射频信号受到环境干扰以及非视距传播特性引起的。对系统50次采样得到以下结果,误差基本控制

在5cm,达到预期结果。如图6所示。

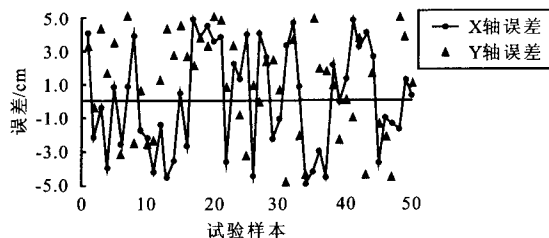


图6 实验结果

6 结束语

文中对超声波信号进行处理,降低了噪声的影响,建立在ARM与Linux平台上实现超声波定位系统的设计,并对设计进行了阐述。该系统可以根据环境和具体要求对电路,扩展设备,滤波算法及定位算法作适当改进,并且由于使用嵌入式系统搭载液晶屏提高了该系统的移动性,便捷性。该系统适用于各种环境条件下的无接触定位,适合在水文水位测量、障碍物躲避以及AGV(车辆自动导航)等领域的应用,特别是恶劣环境中使用,定位精度可达厘米级,具有相当广阔的推广前景。

参考文献:

- [1] 张银霞,魏振春,张儒瑞,等. 基于超声波定位的机车监控与导航系统[C]// 2009全国第20届计算机技术与应用(CACIS)学术会议. 南宁: CACIS, 2009.
- [2] 雷鸣雳,周功道,冯祖仁. 基于伪码相关技术的超声波一无线电定位系统[J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(3): 101—105.
- [3] 高尚,别小川,秦斌. 计算方法[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2009.
- [4] 杨坦. 小波多尺度分析在图像、信号处理中的应用研究[D]. 广州: 中山大学, 2005.
- [5] 朱运利. 超声波定位系统的参数研究[J]. 机电产品开发与创新, 2006, 19(2): 128—130.
- [6] 秦永元. 卡尔曼滤波与组合导航原理[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2007.
- [7] 盛惠兴,王海滨,姚家坤. 嵌入式Linux系统的开发与优化[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(6): 100—102.

作者简介:

朱宇男, (1955—), 副教授. 研究方向为嵌入式系统、计算机监测与控制。

张鑫男, (1980—), 硕士研究生. 研究方向为嵌入式系统。

李斌男, (1979—), 硕士研究生. 研究方向测试计量技术及仪器。