

先对单片机以及 SC1128 芯片初始化,包括通信速率以及捕获门限的设置等。初始化完成后,系统进入等待状态,等待 PC 机发送的数据引起的串口中断或是电力线上传来的信号经过 SC1128 解调解扩后引起的外部中断。中断到达后,则转入相应的中断子程序。PC 机发送的数据到达并产生串口中断后,单片机开始接收并存放在数据存储器中,直到接收完一个数据帧后把该帧数据转发给 SC1128 芯片,经过其扩频调制后发往电力线上,数据发完后,系统进入接收状态;当 SC1128 从电力线上接收到数据,经过解调解扩后产生外部中断,单片机开始接收并存储。每次的外部中断传输一比特,直到单片机接收到一个数据帧后,判断该帧是否正确,如果正确,则发送给 PC 机,否则,把该帧丢弃,之后系统进入接收状态。

由于数据是以数据帧形式传输的,每个帧又包括帧头,帧长,数据区,校验和,以及帧尾五部分。不管数据来自 PC 机还是来自 SC1128 芯片,单片机总是先通过中断接收每个数据帧的五部分,经过检错判断后再通过中断转发该帧的五部分。因此我们定义十个通信状态,接收数据帧的五个部分为前五个通信状态,发送数据帧的五个部分为后五个通信状态,初始通信状态值设定为 0 这样我们设计一个通信控制子程序采用查询通信状态值的方式并结合串口中断子程序以及外部中断子程序即可实现上述的设计思想。

### 2.3 主程序设计

软件主程序的功能是:对单片机和 SC1128 进行初始化,开中断,然后循环调用通讯控制子程序等待中断信号的到来,如果有串口中断或是外部中断到来,则根据通信控制子程序查询到的当前通信状态的值转入相对应的中断子程序中。下面我们详细介绍通讯控制子程序。该子程序主要实现四个功能:

(1) 查询当前的通信状态,如果处在接收的五个通信状态中,则等待中断并继续保持接收状态,如果查询到当前状态为接收的第五个通信状态即整个数据帧接收完毕,则转入发送状态。

(2) 对发送的方向进行判断,由于通讯方式为半双工,单片机在该通信系统起到一个存储转发的作用,必须对其转发的方向进行判断,如果单片机刚接收到的数据帧是来自 PC 机的,那么就应该向 SC1128 转发;如果单片机收到的数据来自 SC1128,则向 PC 机转发。我们定义一个通信标志即可判断方向。

(3) 当单片机转发完毕所有的数据,或者通过检错功能发现错误帧时要把单片机设置为接收初始状态,即接收数据帧的第一个通信状态,开始准备接收新的数据帧。

(4) 如果经过一段时间,查询到有通讯状态但是没有中断产生,说明数据丢失,同样要把系统通信状态初始化为第一个状态。

在该流程图中我们定义一个 rCom\_Byte\_Timer 字节通讯定时器,当有数据接收或者发送时,定时器中的值应该大于 0,如果定时器的值为 0,则说明数据收发完毕;或者通信过程中出现了错误的帧,这两种情况都要让通信状态恢复到初始状态值 0。cCom\_Direction\_Flag 是我们定义的通信中断源标志位,如果值是 0,表示通信中断源是串口,即串口中断;如果值是 1,表示中断源是外部引脚,即外部中断。

### 2.4 串口中断子程序

串口中断子程序分为发送中断子程序和接收中断子程序,对于每一个通信状态我们都设计了相应的中断服务程序。因此在串口中断子程序中要先判断产生的中断是接收中断还是发送中断,然后根据通信状态控制子程序查询到的当前通信状态转入相应的中断服务子程序,每执行完一个中断服务子程序后就要把当前通信状态值加上一个整数,即指向下一个要进行的通信状态,即等待中断处理数据帧的下一个部分。

### 2.5 外部中断子程序

同串口中断子程序类似,外部中断子程序也分为发送子程序和接收中断服务子程序两部分,对应的每个通信状态也都设计了相应的中断服务程序,最大的差别就在于,串口中断每次传送一个字节,而外部中断每次传送一个比特,工作时序请参阅 SC1128 芯片资料,要注意的就是发送状态时在外部中断产生前把要发送的数据位送到 TX 引脚。

### 3 结束语

利用电力线进行通信对充分利用现有资源,减小通信系统建设成本,扩展通信业务,实现家庭自动化等方面都起到重要的作用。随着越来越多的人对它的关注,和越来越多的研究投入,新的技术不断的涌现,相信不久电力线通信将会被大面积的使用,而相应的低压电力线数据通信将成为家庭联网、家庭自动化的主要通信方式,必有很好的发展前景。▲

#### 参考文献

- [1] 尤麦峰,梁计春,直接序列扩频和跳频扩频,装甲兵工程学院学报,2001,(1)
- [2] 周耀文,低压电力用户远程自动抄表系统,电力自动化设备,1999,19(2):42-43

作者简介:苏辉(1977-),女,助理工程师;崔治国(1977-),男,助理工程师;李健(1977-),男,助理工程师。

文章编号:1671-1041(2005)06-0052-03

## 基于互相关理论的时差法超声波流量检测系统

吴晓庆,李艾华,李芳

(第二炮兵工程学院,陕西 西安 710025)

摘要:介绍一种时差法超声波流量检测系统。系统以两超声探头同侧 V 型安装方式,采集顺、逆流回波信号经插值后作互相关处理,由互相关函数的峰值得出两回波信号的时差,间接测出流量。插值算法的引入,提高了回波信号的时间分辨率实现了微小时差的测量。该系统测量精度高,统计特性好,在液压系统的测量中取得了较理想的效果。

关键词:超声波;流量检测;互相关;时差  
中图分类号:TH814 文献标识码:A

### Time-difference ultrasonic flow detection system based on

### cross-correlation theory

WU Xiao-qing, LI Ai-hua, LI Fang  
(The Second Artillery Engineering Institute, Xian 710025)

Abstract: A time-difference ultrasonic flow detection system is introduced, whose two transducers are operated on unilateral V-mode. After the up-stream and down-stream echo signal been sampled, interpolated and cross-correlated, time-difference of the echo signal is gained in accordance with the peak of the echo signal's cross-correlation function. Through the time-difference, the flux of the detected pipe can be mensurated indirectly. The introducing of interpolation improves the time-resolution of the echo signal and the

收稿日期:2005-06-30

measure of minute time-difference is realized. The system with high precision in detection and good statistic characteristic behaves well in the flux detection of hydraulic system.

Key words: Ultrasonic; Flow Detection; Cross-correlation; Time-error

## 1 引言

液压系统传动比大、运行平稳、响应快等特点,在各种机械设备及自动控制系统中得到了广泛的应用。流量是反映液压系统状态的主要参数之一,是液压系统故障诊断的基础。超声波管外测量通过检测超声波回波信号即可得到流量信息,具有不破坏流体流动,没有机械惯性,瞬态响应快、动态测量能力强、安装方便等优点,广泛的应用于液体、气体的流量检测。

超声波流量检测是通过检测流体流动对超声脉冲的作用以测量流速进而转化成流体流量的。根据对信号检测的原理超声流量检测可分为传播速度差法(直接时差法、时差法、相位差法和频差法)、波束偏移法、多普勒法等。时差法流量检测又分过零平均法和互相关法。互相关流量测量技术是以随机过程互相关理论为基础发展起来的一种超声波流量检测技术。随着FFT算法的快速发展极大的提高了在频域内进行互相关运算的速度,促进了互相关流量测量技术的发展。

## 2 测量原理

时差法超声波流量检测原理如图1所示,一对超声波换能器采用管外V型安装方式,换能器安装时前端面的距离为L。

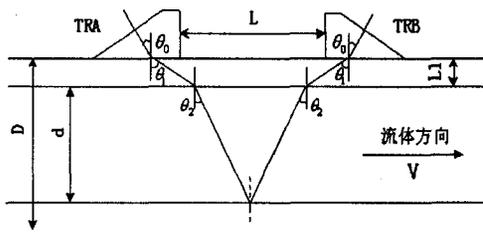


图1 流量测量原理示意图

在图1测量方案中,超声波换能器TRA和TRB在控制电路的作用下,将同时发射超声波脉冲,并同时接收对方发射的超声波信号。超声波换能器的K值决定了超声波信号入射角 $\theta_0$ 的大小,而管道材料和K值将共同决定 $\theta_1$ 的大小, $\theta_2$ 将由管道材料和被测流体的类型所决定。

超声波信号发射后以 $\theta_0$ 的角度穿过换能器斜楔,在换能器界面发生折射后,超声波以 $\theta_1$ 的角度穿过管壁,在管壁与被测流体的分界面上发生第二次折射,此后超声波信号以 $\theta_2$ 穿过被测流体达到对面的管壁内侧面,经反射后超声波信号按相反的顺序进入另外一个换能器。

根据流体力学理论可知,只要测得流体的线流速并加以校正,获得面流速的大小,就可得到流量Q。设超声波顺流和逆流到达接收探头的时差为 $\Delta t$ ,静止流体中的声速为 $C_0$ ,通过推导可以得到流体流速的计算公式:

$$v = \Delta t \cdot C_0^2 / 4 \cdot d \cdot \text{tg} \theta_2 \quad (1)$$

图1中,TRA为超声波换能器;D管外径;d为管内径;L换能器前端面的距离。

两通道高速数据采集卡同时采集两探头接收到的数据,得到采集序列 $ch1(n)$ 和 $ch2(n)$ ,序列中点的序号与采样周期的乘积即是该点代表的时间。通过分析处理 $ch1(n)$ 和 $ch2(n)$ ,可以精确地测得 $\Delta t$ ,而 $\theta_2$ 是一个由换能器、管道材料、管壁和流体性质确定的量,利用折射定律计算得到,同时利用声速与温度拟合公式,计算出 $C_0$ ,最后由式(1)准确求出流体流速V,进而求得流量Q。

## 3 系统的硬件设计

采用时差法测量时,获取精确的顺、逆流时差 $\Delta t$ 是完成流量测量的前提。在硬件实现上,传统的时差法是设计一个超高速计时

器,该方法有两个缺点:(1)以发、收波形的某一点的值来计算时差,使计算结果分散性较大;(2)系统的测量精度、时间分辨率受计数频率的影响较大。

将高速数据采集处理系统引入到液压系统超声波流量测量,用信号处理算法求时差,使时差成为一个统计量,有效地克服了超声波传统时差法测量精度差和不能测量小管径、低流速流体的流量的缺点,提高了时差测量的分辨率和精度。

超声波流量检测系统硬件电路主要由超声波探头、超声波多路发射接收板、高速数据采集及信号处理板、嵌入式PC主板、EL液晶显示屏、薄膜式操作键盘及快速固联装置构成,系统硬件结构框图如图2所示。



图2 超声波流量检测系统硬件结构框图

系统的工作原理为:嵌入式PC发出控制信号,超声波收发系统工作,超声波探头1、探头2同时发射超声波脉冲,经过一段时间后,探头1、探头2发射的超声波信号分别进入对方换能器。在接通超声波发射电路的同时,嵌入式PC发出控制信号,高速数据采集系统工作,以40MSPS的采样速率自动完成超声波信号采集,并将数据存放在高速缓存中,实时记录下两个探头上所出现的一切信号。一次信号采集完成后,数据被送入嵌入式PC进行分析处理,完成流量计算,并以数据和图表的形式输出。快速固联装置完成两个超声波探头与被测管路的快速联接。

## 4 回波信号处理

### 4.1 互相关法求回波信号时差

超声波信号在产生、传播、接收及转化的过程中,难免会受到流体内部的随机扰动及硬件电路的干扰而引入噪声,但是从检测模型的分析中可知,两通道的回波信号仍应具有很好的相似性。由数据采集通道所得的回波经归一化处理后信号如图3所示。

由于声波在液体中传播的速度在1500m/s左右,尤其对于小管径低流速的流量检测,两回波的时差在纳秒数量级上甚至更小。为了提高时差的计算精度,对所采集到的回波信号进行样条插值,使插值后的数据长度为原来的20倍,以提高回波信号的时间分辨率。

经过插值后两通道信号分别为 $ch1(m)$ 和 $ch2(m)$ ,对它们进行互相关运算得互相关函数 $R_{1,2}(m)$ ,如图4所示。

$$R_{1,2}(m) = \sum_{n=-M}^M ch1(n)ch2(n+m), \quad \text{其中 } m = -M, -M+1, \dots, M \quad (2)$$

式中, $M$ 为插值后数据长度。

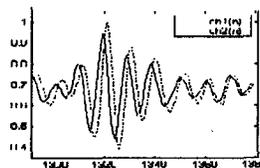


图3 两通道回波信号

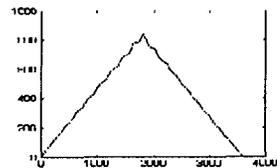


图4 两通道回波信号互相关

由互相关理论可知,当互相关函数取得最大值时,即为两通道回波信号全局最相似点。设系统的采样频率为 $f_s$ ,回波段信号经插值后数据长度为 $M$ ,若相关函数在 $N$ 点处取得最大值,则由式(3)可得两通道的时差 $T$ 。当 $T$ 为正时,通道一滞后于通道二;当 $T$ 为负时,则反之。

$$T = (N-M) / 20f_s \quad (3)$$

### 4.2 频域内互相关函数算法

系统由(2)式对采集的信号进行互相关运算,如果直接在时域中进行计算,则须进行 $M^2$ 次乘法运算和 $M(M-1)$ 次加法运算,当

超声回波信号的数据较长时,尤其经过插值运算以后,其运算量就变得非常大,降低了系统流量检测的实时性和系统刷新频率。维纳-辛钦定理提供了一种互相关函数的快速算法,其原理是由互功率谱密度函数  $S_{1,2}(m)$  间接的得到互相关函数  $R_{1,2}(m)$ 。

$$S_{1,2}(m) = CH1(m)CH2(m)/M, M=1,2, \dots, M \quad (4)$$

式中:  $CH1(m)$  为  $ch1(m)$  的频谱;  $CH2(m)$  为  $ch2(m)$  的频谱;  $S_{1,2}(m)$  为  $CH1(m)$  和  $CH2(m)$  的互功率谱密度函数。

对  $S_{1,2}(m)$  作 IFFT 变换,即可从互功率谱密度函数求得互相关函数。

$$R_{1,2}(m) = \text{IFFT } S_{1,2}(m) \quad (5)$$

该算法只需  $(M/2)\log_2^M$  次乘法运算,比在时域内直接计算互相关函数算法快 5-100 倍。

## 5 试验结果及分析

本系统在以液压试验台为基础的流量测试上获得成功。当管路内径  $d > 15\text{mm}$  时,若两探头安装距离确定,两通道回波信号时差随流量增加呈线性增加,流量的测量精度超过  $\pm 1\%$ 。多组测量结果的方差小,可重复性好,为 0.5%。当被测管路内径过小时,如  $d < 15\text{mm}$ ,超声波信号穿过被测流体的时间很短,有用的回波信号可能会被淹没在发射始波区域的各种杂波中,所得到的  $\Delta t$  可能存在较大的偏差,测量误差增大,可重复性变差。

## 6 结束语

系统将互相关理论应用于两通道回波的时差计算,有效克服了以回波某一点值来计算时差导致的计算结果的分散性和不可重复性。与过零平均算法时差计算相比,解决了对回波精确定位要求高的问题,通过两通道回波全局最相似来计算时差,具有更好的统计特征。引入的高速实时信号处理技术和 FFT 算法保证了回波时差计算的实时性和系统的刷新频率。试验结果表明,该系统测量精度和可重复性满足一般工业要求,尤其适用于液压系统的流量检测和故障诊断。●

### 参考文献

- [1] 中国机械工程学会无损检测分会. 超声波检测(第二版). 机械工业出版社, 2000.
- [2] 马大猷, 沈墟. 声学手册[M]. 科学出版社, 1983.
- [3] 王爱明. 液压流量、压力超声检测技术研究[D]. 第二炮兵工程学院硕士学位论文, 2003.
- [4] W. Q. Yang, M. S. Beck. An intelligent cross correlator for pipeline flow velocity measurement. Flow Measurement Instrument, 1997, 8(2):77-84

作者简介: 吴晓庆(1981-),男,浙江龙游人,在读硕士,主要从事机电设备状态监测及诊断;李文江(1966-),男,教授,博导,主要从事机电设备故障诊断与维修;李芳(1979-),男,在读硕士,主要从事机电设备状态监测及诊断。

作者声明: 自愿将本文稿酬捐为“仪器仪表用户杂志爱心助学基金”

文章编号: 1671-1041(2005)06-0054-03

# 串行数据采集无线数据传输模块的设计

李文江, 杨昌胜

(辽宁工程技术大学 电气工程系, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 以 AT89C2051 单片机为核心, 设计了一个用串行 A/D 转换器 MAX1226 进行数据采集, 单片无线收发芯片 PTR2000 进行数据传输的模块, 给出了硬件构成、软件设计及部分程序。该模块电路简单、使用方便, 有采样精度高、可靠稳定、功耗低等优点, 能较好地实现数据的串行采集和无线传输, 应用在工业数据采集、工业控制、医疗监护等场合。

关键词: 串行 A/D 转换; 无线数据传输; 单片机; MAX1226

中图分类号: TN919.3; TN79.2 文献标识码: A

## Design of a module for serial data collection and wireless data transmission

LI Wen-jiang, YANG Chang-sheng

(Department of Electrical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, 123000, China)

Abstract: This paper presents a new module based on AT89C51, in which the serial A/D converter MAX1226 is applied for data collection and wireless receive and transmission chip PTR2000 is applied for data transmission, meanwhile this paper provides the hardware structure, software design and some procedures. This module has the advantages of easy circuit, convenience to use, high sample accuracy, reliability and low power. It is suitable to use in the field of industrial data collection, industrial control and medical supervision, by which the serial data collection and wireless data transmission can be achieved better.

Key words: Serial A/D conversion; Wireless data transmission; MCU;

收稿日期: 2005-07-12

MAX1226

### 1 引言

在计算机工业控制系统中,经常要用到 A/D 采集卡进行 A/D 转换,占用的总线多,布线安装不便,一般价格较高。本文介绍一种以 AT89C2051 单片机 [1] 为核心,采用 12 位串行 A/D 转换器 MAX1226 构成的采样模块,该模块的采样数据由单片机串口 [2] 经无线收发器 TPR2000 后发送到远端的无线接收器,再经工控机串口 COM1 或 COM2 传给上位机(工业 PC 机),形成一种串行数据采集无线数据传输的方式。整个模块电路简单、使用方便、性能价格比高,而且功耗低、采样精度高、速度快、可靠性好,值得应用参考。

### 2 主要器件介绍

#### 2.1 多通道串行 A/D 转换芯片 MAX1226

MAX1226 是 MAXIM 公司 2003 年推出的一种低功耗、可进行温度补偿并带有采样保持功能的多通道 12 位逐次逼近型串行模数转换器。它内置基准电压源、时钟电路和温度传感器,具有 8 个模拟输入通道,可实现输入通道扫描、输出数据平均和自动关断功能,此外,该芯片还具有一个高速的串行接口。与其它的模数转换器相比,MAX1226 具有较多的功能,且工作方式灵活多样,可应用于系统监视、数据采集、病人监护、工业控制等多种领域。

MAX1226 的主要特点如下:

- (1) 所有输入通道均可按单端或差分方式进行配置,单端方式下可配置为 8 个通道,差分方式下可配置为 4 个通道;
- (2) 转换速率可达 300kSPS,此时的功耗仅为 1.8mW;
- (3) 在整个温度范围内不会丢码,精度为  $\pm 1\text{LSB INL}$  和  $\pm 1\text{LSB DNL}$ ;