

基于参数估计法的互相关流量测量系统

杨萍, 边旭辉, 张玉杰

(陕西科技大学 电气与信息工程学院, 西安 710021)

摘要: 为了提高直接利用互相关函数的极大值求取渡越时间 τ_0 的精度, 故采用参数估计法求取流动噪声的脉冲响应函数即参数模型的尖峰位置, 该算法是对参数模型中的 h 不断地修正, 算法收敛时得到 τ_0 ; 该系统主控器采用多核处理器 OMAP3530, 将随机信号采集、人机交互、通信接口驱动等任务在 ARM 上运行, 而参数估计法的任务由 DSP 来承担, 提高系统的实时性; 实验数据表明, 参数估计算法的测量误差均在 1% 左右, 可以有效地提高测量精度, 具有一定的工程应用前景。

关键词: 参数估算法; 互相关; 渡越时间; OMAP3530

Cross-correlation Flow Measurement System Based on Parameter Estimation Method

Yang Ping, Bian Xuye, Zhang Yujie

(College of Electric and Information, Shanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: In order to improve accuracy of the time-of-flight using cross-correlation function maximum, parameter estimation method is used to calculate peak position of model impulse response function which is the flow noise parameter model. Parameter h in the model is constantly revised in this algorithm. The numerical τ_0 is obtained when the algorithm is convergent. The multi-core processors OMAP3530 is the main controller for the system. The tasks of the random signal acquisition, man-machine interface and communication interface driving are accomplished in ARM. The parameter estimation method program is achieved by DSP. Thus real-time performance of the system is improved. The experimental data show that, it has high precision by using the parameter estimation method to obtain τ_0 . It has certain engineering application prospects.

Keywords: parameter estimation; cross-correlation; time-of-flight; OMAP3530

0 引言

流量测量被越来越多的应用于石油化工、生活供水和工业生产等领域。相关流量测量技术是以随机过程的相关理论为基础的一种流动参数检测技术, 它在解决两相流体以及多相流体的流动参数测量问题上具有巨大的优势^[1]。对于传统互相关函数算法, 当换能器的尺寸变大时, 会由于换能器信号的自相关函数的卷积涂污作用, 使得两信号的互相关函数的峰值区变得平坦, 直接利用互相关原理来计算渡越时间, 则分辨率会明显下降。上游和下游换能器的距离及实际的流体不完全满足“凝固”模型, 这些因素都会影响计算的精度^[2]。因此必须寻求一种新的互相关算法, 本文就采用参数估计法来实现互相关的参数计算。

1 超声波相关流量计的测量原理

互相关流量测量在沿管道轴线相距 L 的截面上安装上游换能器和下游换能器, 主要的是依据超声波入射到流体后, 在流体中传播的超声波就载有流体流速的信息^[3-4], 通过参数估计法计算渡越时间 τ_0 , 从而算出流体的流速和流量。

参数估计法的互相关流量测量原理如图 1 所示。在参数估

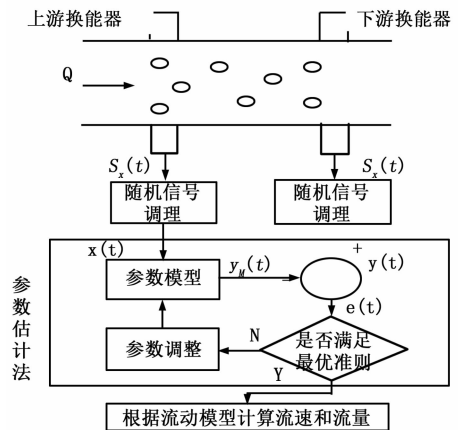


图 1 参数估计法的互相关流量测量图

计法中, 首先要设定系统的参数模型, 把上游换能器的输出 $S_x(t)$ 经过调理电路后得到的 $x(t)$ 作为这个模型的输入, 通过模型中各参数的共同作用, 转换成输出 $y_M(t)$ 。将 $y_M(t)$ 与下游换能器经调理电路得到的输出 $y(t)$ 进行比较, 从而不断地修改参数模型中的参数, 使其差值 $e(t)$ 的某一准则函数达到最优, 其中 $e(t) = y(t) - y_M(t)$ ^[5]。

参数估计法中, 对于平稳流动的流体, 流动噪声传递过程的模型可以近似为一个延时过程, 也就是流动噪声从上游换能器到下游换能器的传递过程可以用脉冲响应函数 h 来表示, 即参数模型, 其向量表示为 $h = [h_0, h_1, \dots, h_{M-1}]^T$, 其中 M

收稿日期: 2013-12-09; 修回日期: 2014-02-19。

基金项目: 西安市科技计划项目(CX1259(2))。

作者简介: 杨萍(1979-), 女, 陕西省长安县人, 讲师, 主要从事控制理论、信号检测与处理的研究。

是数学模型的维数。可以利用最优算法调整模型中的参数使得准则函数 $e(t)$ 的均方值达到最小。其中：

$$y_M(t) = \sum_{m=0}^{M-1} h_m(t) \cdot x(t-m) \quad (1)$$

从式 (1) 可以看出, t 时刻的模型输出 $y_t(t)$ 与该时刻前 M 个输入信号 $x(t), x(t-1), \dots, x(t-M+1)$ 有关, 而 $h_0(t), h_1(t), \dots, h_{M-1}(t)$ 可以看成输入的权重。对于理想的流体来说, 下游换能器的接收信号只是上游换能器的延迟, 因此 $y(t)$ 应该和输入 $x(t), x(t-1), \dots, x(t-M+1)$ 中的某一个值相等, 所以, $x(t-m)$ 所对应的权重 $h_m(t)$ 就是最大的。由寻优算法得到 h 的最大元素的序号 m 和采样周期相乘, 就可以计算出 τ_0 , 因此把计算互相关函数 $R_{xy}(\tau)$ 最大值就转化成求模型向量 h 类峰值处位置的问题, 两者计算结果的对比如图 2 所示。参数估计法中的模型向量 h 的类峰形状要比 $R_{xy}(\tau)$ 尖锐许多, 从而有效地提高了计算渡越时间的分辨率, 所以用 h 的尖峰位置计算渡越时间 τ_0 的分辨率比相关法高很多。

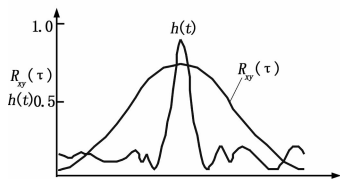


图 2 互相关函数和参数估计法结算结果对比

对于理想的流体体积平均流速 v_p 可以用相关速度 v 来表示^[6], 则信号在该系统中的传播速度 v 可以按式 (2) 计算:

$$v = L/\tau_0 \quad (2)$$

L 为上、下游换能器的距离, 最后根据流速计算流体的流量。在理想流动状况下, 则流量 Q 的计算公式为:

$$Q = v \times \frac{1}{4K} \pi D^2 \quad (3)$$

其中: D 为管道内径, K 为流速分布补偿系数。

2 互相关流量测量系统的组成

流量测量的硬件如图 3 所示。首先主控制器控制超声波发射换能器开始工作, 上下游的超声波接收换能器就接收载有流速信息的两路信号, 对其进行滤波和放大后, 经过 A/D 后送到 OMAP3530 中, 最后主控制器调用内部的 DSP 完成参数估计法的互相关运算, 得到渡越时间 τ_0 , 再进行温度、声速和流速补偿等, 计算出管道内流体的流速和流量送显示。

本系统的主控制器选用 TI 的多核处理器 OMAP3530, 其内部采用 720 MHz ARM CORTEX-A8 内核与 520 MHz TMS320C64+ DSP。一般的控制、流量测量接口等直接在 ARM 上运行。而参数估计法的互相关运算则是启动 DSP 核来完成, 可以实现从 memory 到 memory 的算法处理, 系统中超声波发射控制、信号采集、存储器管理、人机交互、输出驱动等任务由 ARM 来完成, 而相关数据处理任务由 DSP 来承担, 最大发挥 OMAP3530 的性能, 提高系统的实时性。

3 流量测量系统软件设计

测量系统中, ARM 作为主处理器, 控制整个系统的运

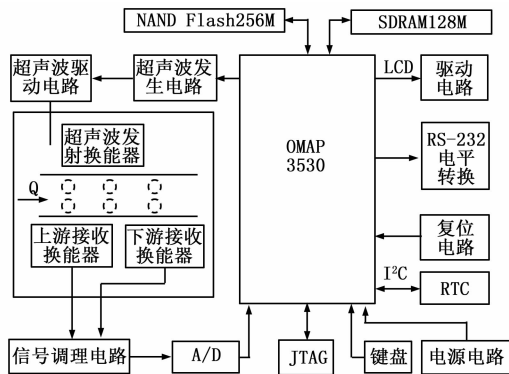


图 3 相关流量测量系统的硬件框图

行, 而 DSP 作为协处理器, 主要完成算法程序^[6-7]。系统上电后, ARM 首先控制发射换能器产生超声波, 启动 A/D 采样接收换能器接收的数据。由于 OMAP3530 开发板上外部 RAM 空间, 即 DDR 存储区, 是 ARM 和 DSP 共享存在的, 在系统设计时, 为了防止双核访问内存冲突, 把 ARM 和 DSP 使用的内存严格物理地址分开, ARM 是用低端地址, DSP 分配的是高端地址, 并且预留出 2MB 的共享内存用来数据交互, 这个 2MB 的共享内存是由 DSPLink 来管理完成数据交互的, 因此采样的数据保存于低端地址, 当数据溢出时产生中断, DSP 读取数据并进行参数估计法运算, 将运算结果存于共享内存中, 供 ARM 进行显示和接口控制。

3.1 ARM 软件设计

本系统采用 Windows Embedded CE 6.0 操作系统。可执行文件是在 PC 机上使用 VS2005 来进行开发的, 其任务是定义输入输出缓存区的和缓存区大小以及输入缓存区赋值操作, 然后调用 DSP_Create、DSP_Execute、DSP_Delete 3 个 API 函数就可从用户定义的输入输出缓存区中实现与 DSP 数据的交换^[8]。由 ARM 控制 DSP, 进行 DSP 程序的装载与启动, 并控制超声波信号的产生及接收数据, 读缓冲区数据及显示等功能。

3.2 DSP 软件设计

DSP 上主要运行参数估计法程序, 在 DSP 分配的高端地址中开辟一个队列, 队列长度等于数学模型维数 M 的整数倍, 将最新的 t 时刻的信号 $x(k)$ 存于队尾, 队列的所有数据都向前推进, 去除最老的数据。这样当前队列中就存储的是 t 到 $t-M+1$ 时刻的数学模型的输入, 再根据式 (1) 得到 $y_M(t)$, 算出 $e(t)$, 从而完成对参数的调整, 将得到的 τ_0 和 ARM 进行数据交互, 其流程如图 4 所示。

3.3 双核交互

ARM 和 DSP 的通信是建立在 DSPLink 之上的, 由于 DSPLink 是跨平台的, 也是由 ARM 部分和 DSP 部分组成, 其中在 ARM 端, 包括基于 OS 的驱动和供应用调用的库文件。DSP 端必须要用 DSP/BIOS, DSP 的可执行代码需要包含 DSPLink 的库文件。这些底层的繁琐的操作都已经封装在提供的函数中。

在 ARM 端调用以下 3 个函数可以启动 DSP, 下载 DSP 可执行文件、启动运行 DSP 端代码、关闭 DSP 等操作。3 个函

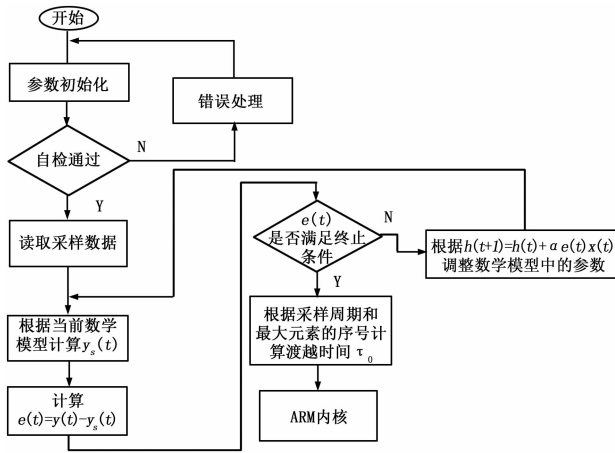


图 4 DSP 程序流程图

数分别是:

- 1) DSP_Create (IN Char8 * dspExecutable, IN UInt8 * inbuf, IN Char8 * strBufferSize, IN UInt8 processorId)
- 2) DSP_Execute (IN UInt8 processorId, UInt8 * * outbuf)
- 3) DSP_Delete (UInt8 processorId)

DSP 算法流程如图 5 所示, ARM 端调用 DSP 的流程如图 6 所示。

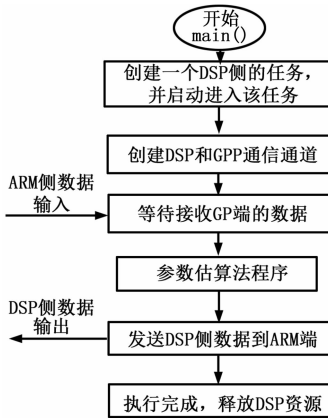


图 5 DSP 算法流程图

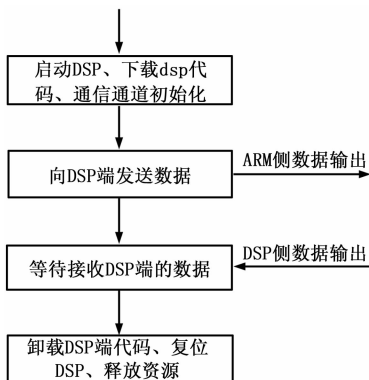


图 6 ARM 端调用 DSP 的流程图

4 实验结果

超声波在管道中的传播过程是确保超声波换能器只接收到一束回波, 同时考虑到超声波的发射率和透射率, 因此测试系统超声波换能器的发射角度选取 30° [9-10]。为了保证符合“凝固”流动模型, 要保证 $L = (0.5 \sim 2) D$ (D 为管道直径)[11], 本实验管道内径 30 mm, 因此通过设置流量测量装置的参数, 每增加 1cm 测量一次, 同时测得超声波在空气中的传播速度为 341 m/s, 测量的数据如表 1 所示, 由表可见误差均在 1% 左右, 测量精度高。

表 1 测量结果与理论值的对比及误差

两换能器距离 L/cm	理论渡越 时间/ms	参数估计法计算的 渡越时间/ms	相对误差/ (%)
2	5.714	5.647	1.17
3	8.571	8.466	1.23
4	11.429	11.299	1.14
5	14.286	14.152	0.94
6	17.143	16.944	1.16
7	20.000	19.750	1.25

5 结束语

超声波流量测量系统采用参数估计法的进行互相关运算, 可以解决由于超声波换能器尺寸、测量距离及流体本身等因素造成的测量精度不高的问题。系统选取 OMAP3530 为主控制器, 接口控制在 ARM 上运行, 而参数估计法的互相关运算则是启动 DSP 核来完成, 提高系统的实时性。本系统已通过实验室试验阶段, 结果表明系统性能稳定可靠, 测量精度高。

参考文献:

- [1] 李 芳, 李艾华, 吴朝军. 神经网络改进算法在超声波流量测量中的应用 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (2): 163-164.
- [2] 周 昱. 流量测量的相关算法的分析与仿真 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [3] 张 震, 汪斌强, 朱 珂. 流量测量的关键技术分析与研究 [J]. 计算机应用研究, 2009, 26 (9): 3442-3447.
- [4] 刘竹琴, 白泽生, 白宗文. 一种差压式液体流量检测仪的设计 [J]. 仪表技术与传感器, 2011, 23 (11): 23-24.
- [5] 桂永芳, 傅 新, 鲍 敏. 基于互相关理论的超声波气体流量测量电路系统 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2004, (4): 15-18.
- [6] 罗长海, 孟志军, 王沛东, 等. 基于超声波的八路巡检流量计设计 [J]. 自动化与仪表, 2013, (8): 50-54.
- [7] 周立功, 等. ARM 嵌入式系统应用技术笔记——基于 LPC2300 [M]. 广州: 广州致远电子有限公司, 2008: 154-198.
- [8] 田 泽. 嵌入式系统开发与应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [9] 江 杰, 罗长海. 超声波流量计换能器参数的选择 [J]. 自动化仪表, 2012, 33 (10): 76-79.
- [10] 李国政, 康兰昆. 气体超声波流量计 [J]. 油气田地面工程, 2009, 28 (4): 74-75.
- [11] 蔡武昌. 流量检测技术和传感器设计若干趋势 [J]. 自动化仪表, 2007, 28 (9): 33-35.