

基于 DSP 的实时互相关测速系统设计与实现*

刘晓杰¹, 宋占伟², 张 旻¹

(1. 江苏技术师范学院, 江苏 常州 213001;

2. 吉林大学, 吉林 长春 131012)

摘要: 根据相关测速原理, 利用相关差值法的信号处理方法, 设计一种基于 DSP 的非接触式智能实时测速系统。系统采用模拟电路对红外传感器采集的模拟信号进行处理, 利用 DSP 强大数据处理能力实现对信号数字化采集、运算处理和结果显示等功能。实验测试结果表明, 系统测量误差较小, 结构简单, 稳定性高, 抗干扰性强, 测速范围较宽。

关键词: 速度测量; 相关理论; 峰值搜索; DSP

中图分类号: TP368.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)14-0090-03

Design and implementation of the DSP-based real-time speed measurement system by the cross-correlation method

Liu Xiaojie¹, Song Zhanwei², Zhang Min¹

(1. Jiangsu Teachers University of Technology, Changzhou 213001, China;

2. Jilin University, Changchun 131012, China)

Abstract: According to the cross-correlation principle of vehicle speed measurement, the intelligent non-contact speed measurement system in real-time based on DSP is designed, which is on the basis of the cross-correlation signal processing method. The analog circuit is applied in this system to sample and process the signal of the infrared sensors. To utilize the powerful data processing capability of digital signal processor (DSP), the system functions are finished, which include the signal digitization sampling, the data processing, the results display, and etc. It is shown by experimental results that the speed measurement error of system is small. The system has some advantages, such as the simple architecture, high stability, well noise immunity capacity, wide speed measuring range.

Key words: speed measurement; correlation theory; peak search; digital signal processor

以往, 速度测量系统普遍采用单片机和转速传感器相结合的结构, 其稳定性和快速响应性较差。针对这一缺点^[1], 本系统利用信息相关理论结合电子技术来设计和开发测速装置, 可实现对任何运动物体速度的非接触式测量, 具有测量精度高、装置电路简单、成本低以及智能化等特点, 因此可在汽车测速、产品检测线测速和管道流量检测等许多领域内得到广泛应用^[2]。

1 测速原理

应用信息相关理论来测量物体运动速度的基本原理是: 物体运动过程中, 物体同一位置上的信息在不同时间依然保持相同的特性。通过在某时间内, 利用对固

定位置上的两个信息采集点进行连续采集, 所采集到的两组信号具有相关特性^[3]。对两组信号进行相关运算, 即可找出两组采集信号的时间间隔, 从而计算出该物体运动速度^[4]。沿车辆运动速度方向, 在车辆底部相隔一定距离安装两个传感器 Y_1 和 Y_2 , 如图 1 所示。通过 Y_1 、 Y_2 获得车辆运动相对地面表面的特征信号 $Y_1(t)$ 和 $Y_2(t)$, 如图 2 所示。

在上游传感器 Y_1 和下游传感器 Y_2 之间距离比较小的情况下(一般小于 30 cm), 可以近似认为车辆在 D 距离区间内匀速行驶。互相关信号 $Y_1(t)$ 和 $Y_2(t)$ 之间仅仅是一个运动车辆同一点, 通过上游传感器 Y_1 和通过下游

* 基金项目: 吉林省科技支撑计划重点项目(20100314); 校博士启动基金项目(KYY09008)

应用奇葩

Example of Application

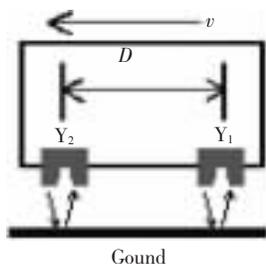


图1 传感器安装位置图

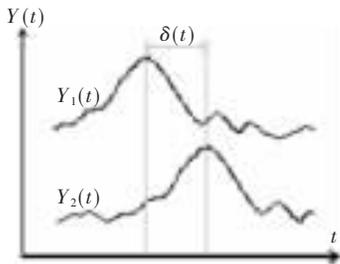


图2 传感器的采集信号

传感器 Y_2 的时间延时 $\delta(t)$ ，称为“渡越时间”。通过互相关算法即可求得渡越时间 $\delta(t)$ ，从而获得目标车辆运动速度：

$$v = \frac{D}{\delta(t)} \quad (1)$$

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T Y_1(t) Y_2(t+\tau) dt \quad (2)$$

$$Y_2(t) = Y_1(t - \delta(t)) \quad (3)$$

求渡越时间 $\delta(t)$ ，需作 $Y_1(t)$ 和 $Y_2(t)$ 的互相关函数，在式(2)中代入 $Y_2(t) = Y_1(t - \delta(t))$ 的关系，则有下式：

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T Y_1(t) Y_2(t - \delta(t) + \tau) dt \quad (4)$$

由式(4)可知，在时间 τ 等于渡越时间 $\delta(t)$ 时，互相关函数 R 取得最大值。实际应用时不可能取时间无穷大，故一般用有限时间的积分代替上式，这样就有

$$R(\tau) = \frac{1}{T_f} \int_0^{T_f} Y_1(t) Y_2(t+\tau) dt \quad (5)$$

求得的互相关运算结果图形如图3所示。

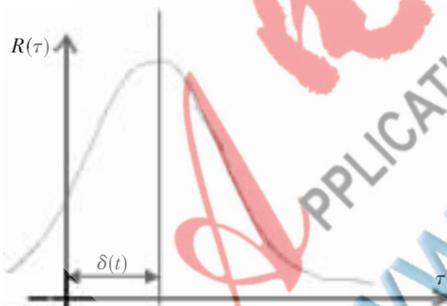


图3 互相关运算结果图

2 嵌入式 DSP 测速系统硬件设计

由于一般车辆在正常行驶时速度在 20 km/h~200 km/h 之间，通过 30 cm 距离的时间为 54 000 μ s~5 400 μ s，只要数/模转换时间与 MCU 互相关运算时间小于 1 000 μ s，即可完成车辆实时相关测速^[5]。

选用 32 bit 数字信号处理器 TMS320F2812 作为控制运算核心，它能工作在 150 MHz 工作频率，其具有 150 MIPS 处理能力，128 K \times 16 bit Flash 存储器，16 通道 12 bit 的 ADC，无需外接 ADC 转换器，2 个标准的 RS232 串行通信接口和一个 SPI 串行接口，自带有看门狗电路等多种片内外设资源，可充分满足系统设计需要。系统硬件设计方案如图4所示。

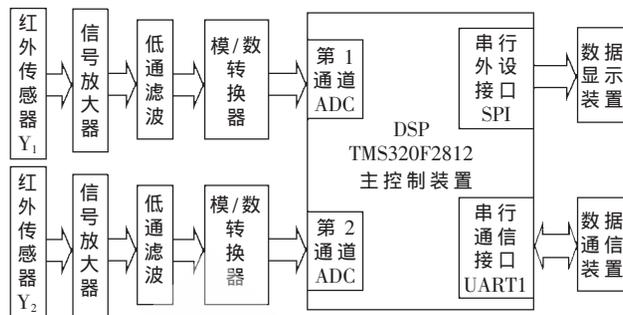


图4 系统硬件设计方案图

3 系统软件开发设计

(1) 实时互相关函数运算

在数字化的处理中，若选定采样周期为 T ，采样时间范围为 N ，互相关函数的点数为 m ，则上下游被测信号表示为离散的 $Y_1(nT)$ 和 $Y_2(nT)$ ， n 为整数^[6-8]。其互相关函数表示为：

$$R(mT) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Y_1(nT) Y_2(nT+mT) \quad (6)$$

通过找出使 R 取得最大值的点 $m=m_0$ ，即得渡越时间为 $\tau=m_0 \cdot T$ 。

(2) 峰值搜索

在实时测量方式下，全部互相关函数值的运算以及峰值在各阶段的搜索，都是与被测信号的采样值数组 $Y_1(j), Y_2(j)$ 的采样同时进行的。在两个被测量信号连续输入采样操作之间，必须计算出 N_k 个互相关函数增量。可见， N_k 个累加和的值作为最后结果保存在 N_k 个存储单元中，可以采用扫描法进行峰值搜索。在搜索到峰值之后，延时时间 τ 也就确定，结合两传感器间已经固定的 30 cm 距离即可计算出该车辆的当前行驶速度。

(3) 系统软件策略

由于 DSP 处理器 TMS320F2812 工作频率高达 150 MHz，且通过利用 TI 提供的开发工具包可使其程序运行代码具有很高的效率。该系统软件策略采用基于 DSP 处理器 BIOS 的实时多任务编程方法设计了 6 个实时工作任务模块，通过主调度模块来自动控制任务模块的工作，系统软件策略设计主流程如图5所示。

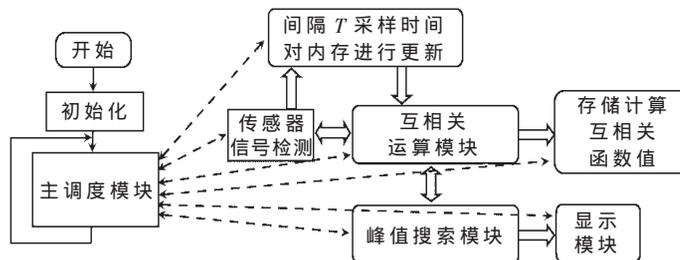


图5 系统软件设计主流程图

4 实验测量结果

在实验测试中，以电机转盘线速度为标准速度值，利用该系统来实测电机转盘线速度的显示数据值和标准速度值对比，记录测试实验结果，如表1所示。

表 1 测试实验数据

测量序列	标准速度/(km/h)	测量速度/(km/h)	绝对误差/(km/h)	相对误差/%
1	10	10.09	0.09	0.900 0
2	20	20.16	0.16	0.800 0
3	30	29.85	-0.15	-0.500 0
4	40	40.23	0.23	0.575 a
5	50	50.42	0.42	0.840 0
6	60	59.54	-0.46	-0.766 7
7	70	70.42	0.42	0.600 0
8	80	80.71	0.71	0.887 5
9	90	89.47	-0.53	-0.588 9
10	100	100.61	0.61	0.610 0
11	110	110.55	0.55	0.500 0
12	120	119.48	-0.52	-0.433 3
13	130	129.68	-0.32	-0.246 2
14	140	140.41	0.41	0.292 9
15	150	150.67	0.67	0.446 7
16	160	159.48	-0.52	-0.325 0

对实验结果的分析表明,该系统测量的最大相对误差为 0.9%, 小于 1%。通过长时间对该系统的测试显示,其工作稳定性强,可靠性高。

本文探讨了利用信息相关理论,结合嵌入式 DSP 系统来设计和开发了车辆实时互相关测速系统。利用测速装置实测电机转盘线速度的实验结果表明,本文提出的测速系统测速可达 190 km/h,所提出的方案和具体实现方法是可行的,它能实现对任何运动物体线速度的非接触式测量速度,其系统具有装置电路简单、成本低廉和智能化等优点。

参考文献

- [1] CUI L.Implementation for the high precise measurement of vehicle speed based on single-chip microcomputer[J]. Computer Applications, 2006, 26(6): 321-322.

[2] CHEN M, HE J H, CHEN L Y. Comprehensive error analysis of the velocity-meter based on cross-correlation[J]. Acta photonica sinica, 2007, 36(10): 1914-1919.

[3] CAI S C, SHI W K, BI H R. Experimental setup on the cross correlation method for velocity measurement on virtual instrument technology[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2006, 25(10): 1197-1199.

[4] ZHOU Y, WEI P. A real-time image correlating speedometer based on FPGA parallel processing[J]. Optical technique, 2006, 32(1): 108-110.

[5] SHAO H Z, LIN J R, XU Y L, et al. A high quality laser system of detecting velocity[J]. Journal of Instrument, 2004, 25(8): 257-258.

[6] 朱玉龙, 梁俊睿, 毕浩然, 等. 相关测速综合实验的设计与开发[J]. 实验室研究与探索, 2007, 26(11): 17-18.

[7] 吴伟亮, 陈汉平, 吴志锋. 提高相关测速中亚时间采样间隔精度的数学处理方法[J]. 计算机仿真, 2002, 19(2): 93-96.

[8] 阚哲, 邵富群. 基于静电传感器相关测速精度探讨[J]. 化工自动化及仪表, 2010, 37(3): 69-72.

(收稿日期: 2011-02-27)

作者简介:

刘晓杰, 男, 1978 年生, 博士, 讲师, 主要研究方向: 信号与信息处理及嵌入式系统应用。

宋占伟, 男, 1962 年生, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 信号与信息处理、非线性系统控制、混沌的控制与同步。