

汽车自动变速器输出轴 角加速度检测通道的设计与实现*

董铸荣^{1,2}, 梁松峰¹, 贺 萍¹

(1. 深圳职业技术学院 汽车与交通学院, 广东 深圳 518055;
2. 北京交通大学 机电控制工程学院, 北京 100044)

摘要: 针对汽车自动变速器换挡冲击的原因, 设计了汽车自动变速器性能检测实验台的输出轴角加速度检测通道, 包括通道结构、信号处理硬件电路以及对应的检测软件程序; 针对相应的信号处理电路, 采用牛顿插值法, 推导了角加速度计算公式, 并建立了角加速度数学模型; 编写了基于牛顿插值法的角加速度算法的LabVIEW软件程序; 通过台架实验, 采集相应的输出轴实验数据, 对算法程序进行了分析, 并将结果与Matlab的计算结果进行了比较。研究结果表明, 该检测通道的软、硬件设计具有较好的实时性和准确性。

关键词: 自动变速器; 检测实验台; 角加速度; 牛顿插值法; LabVIEW; Matlab

中图分类号: U467.3; TH133.2; TH39 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)08-0890-04

Design and realization of detection channel for angular acceleration of AT output shaft

DONG Zhu-rong^{1,2}, LIANG Song-feng¹, HE Ping¹

(1. Department of Automotive and Transportation Engineering, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China;
2. School of Mechanical, Electronic and Control Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Aiming at the causes of automobile automatic transmission shift shock, output shaft angular acceleration detection channel for automobile automatic transmission performance testing bench was designed, including channel structure, signal processing hardware circuits and corresponding detection software program. Aiming at corresponding signal processing circuits, Newton interpolation method was adopted to deduce angular acceleration calculation formula and establish angular acceleration mathematical model. LabVIEW software program of angular acceleration algorithm based on Newton interpolation method was developed. Corresponding output shaft test data was acquired by means of bench test, algorithmic program was analyzed and compared with calculation results of Matlab. The results indicate that both the software and hardware design of the detection channel have good real-time attribute and accuracy.

Key words: automatic transmission(AT); test-bed; angular acceleration; Newton interpolation algorithm; LabVIEW; Matlab

0 引 言

汽车自动变速器是当代汽车重要的部件之一。自动变速器检测实验台是变速器制造厂家与变速器维修厂家用于测试自动变速器综合性能指标的重要工具^[1]。同时作为汽车自动变速器职业教育与培训的主要工具, 要求实验台具有教学内容突出、测试自动

化程度高、项目多、实时性强且安全可靠的特点^[2]。

自动变速器的各种故障中, “换挡时汽车振动”是常见故障之一。造成汽车振动的原因主要有两类: ①外部原因, 主要是来自变速器装配误差; ②内部原因, 主要是换挡不平顺, 存在冲击, 导致换挡时汽车冲击振动。对变速器输出轴角加速度进行检测是故障判断的一个重要依据, 如果换挡过程比较比较平顺, 加

速度比较小,则可排除换档存在冲击的可能,如果换档时变速器角加速度比较大,伴随汽车振动,则可初步判断换档工况存在异常,需要对自动变速器电磁阀、油路等进行进一步检查^[3-5]。

本研究将介绍自动变速器输出轴加速度检测通道结构、底层硬件设计、LabVIEW 软件设计以及实验数据分析。

1 自动变速器输出轴加速度检测通道的结构

当前存在着两种角加速度测量技术:通过特殊敏感元件(角加速度计)的直接测量和间接测量,间接测量主要是通过使用一些微分电路或一个计算算法来对速度进行微分^[6]。本研究采用间接法设计检测通道,其结构如图1所示。检测通道在输出轴上安装了一个圆盘,边沿均匀地打上了80个小孔,电磁式转速传感器中心正对着小孔的圆心来安装。圆盘旋转一周,将会在电磁式转速传感器上感应出80个周期的正、负交替波形,周期与转速成反比,幅值随着转速的增加而增大。通过检测传感器输出波形的频率可以计算出角速度,通过分析角速度的变化可以计算出输出轴的角加速度。

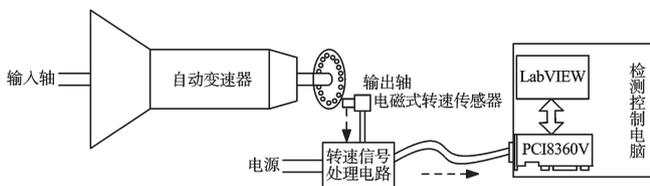


图1 检测通道的结构设计

转速信号处理电路在对转速信号作滤波、放大、标准化处理后,产生频率与转速信号一致、电压为0 V 或者 4.5 V 的脉冲。该脉冲被送至数据采集卡 PCI8360V 的计数通道,LabVIEW 通过读取 PCI8360V 的计数器获知单位时间内的新增脉冲数量,本研究由此计算出转速信号的频率,进而计算加速度。

2 转速信号的处理

转速信号处理电路如图2所示。转速传感器的信号经过滤波后送入U1A跟随电路,U1A的1端输出幅值为0.3 V~1.2 V 的脉冲波形,U1B为过零比较器,在7号角输出-10 V 或者+10 V 的电压,这个电压经过三极管电路后转换为4.5 V 与0 V 的电压送往数据采集卡。

3 角加速度计算方法

3.1 角速度的计算

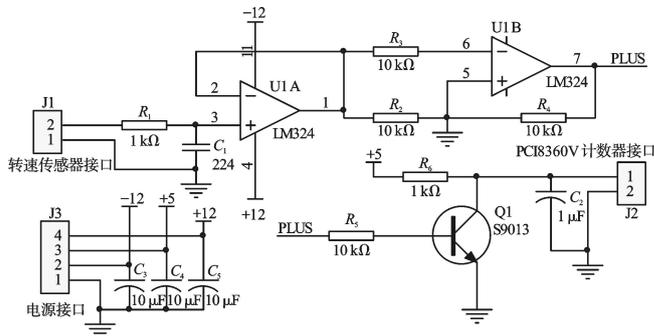


图2 转速信号处理电路

角加速度的计算首先要求取角速度,系统以0.1 s 的周期读取计数器的值,设在 t_n 时刻读取的计数器值为 c_n , 则 t_n 时刻的角速度 ω_n 可以用下式计算出:

$$\omega_n = \frac{(c_n - c_{n-1}) \times \frac{2 \times 3.14}{80}}{0.1} = 0.785 \times (c_n - c_{n-1}) \quad (1)$$

当然,计数器的容量是有限的,计数的过程肯定有溢出现象,系统需要作出判断并且作特别处理。

3.2 牛顿插值法描述

为降低系统的硬件成本,检测系统一般采用软件处理方法^[7]。通过一组测量数据求表达该组数据的近似表达式,并通过该表达式求任意给定点的函数值。检测系统可采用不等点距的牛顿插值法,其优点是运算次数少,节点改变时使用方便^[8-9]。

设函数 $\omega = f(t)$ 在 $n+1$ 个相异的点 t_0, t_1, \dots, t_n 上的函数值分别为 $\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_n$ 。

1 阶均差:称 $\omega_0 - \omega_1 / (t_0 - t_1)$ 为 $f(t)$ 关于节点 t_0, t_1 的1阶均差,记为 $f[t_0, t_1]$ 。

2 阶均差:1 阶均差 $f[t_0, t_1], f[t_1, t_2]$ 的均差,即: $f[t_0, t_1] - f[t_1, t_2] / (t_0 - t_2)$ 。

称为 $f(t)$ 关于节点 t_0, t_1, t_2 的2阶均差,记为 $f[t_0, t_1, t_2]$ 。

n 阶均差:递归地用 $n-1$ 阶均差来定义 n 阶均差,即:

$$f[t_0, t_1, \dots, t_n] = \frac{f[t_0, t_1, \dots, t_{n-1}] - f[t_1, t_2, \dots, t_n]}{t_0 - t_n} \quad (2)$$

称为 $f(t)$ 关于 $n+1$ 个节点 t_0, t_1, \dots, t_n 的 n 阶均差。

牛顿插值公式描述为:

$$N_n(t) = f(t_0) + f[t_0, t_1](t - t_0) + f[t_0, t_1, t_2](t - t_0)(t - t_1) + \dots + f[t_0, t_1, \dots, t_n](t - t_0)(t - t_1) \cdot \dots \cdot (t - t_{n-1}) \quad (3)$$

3.3 利用牛顿插值公式求角加速度

本研究需要求取时间 t_0 处的角加速度 α_0 , 即:

$$\alpha_0 = \left. \frac{d\omega}{dt} \right|_{t=t_0} = \left. \frac{df(t)}{dt} \right|_{t=t_0} \quad (4)$$

因此,本研究需要对牛顿插值公式求取1阶导数^[10-11],推导如下:

$n = 1$ 时:

$$\alpha_0 = f[t_0, t_1] \quad (5)$$

$n = 2$ 时:

$$\alpha_0 = f[t_0, t_1] + f[t_0, t_1, t_2](t_0 - t_1) \quad (6)$$

$n = 3$ 时:

$$\alpha_0 = f[t_0, t_1] + f[t_0, t_1, t_2](t_0 - t_1) + f[t_0, t_1, t_2, t_3](t_0 - t_1)(t_0 - t_2) \quad (7)$$

由数学归纳法可以得到, $n = n$ 时:

$$\alpha_0 = f[t_0, t_1] + f[t_0, t_1, t_2](t_0 - t_1) + f[t_0, t_1, t_2, t_3](t_0 - t_1)(t_0 - t_2) + \dots + f[t_0, t_1, t_2, \dots, t_n](t_0 - t_1)(t_0 - t_2) \cdot \dots (t_0 - t_{n-1}) \quad (8)$$

3.4 算例

各阶均差的计算数据(其中各阶均差已经由第 1、2 列数据计算得出)如表 1 所示。

表 1 各阶均差的计算

t_i	$f(t_i)$	1 阶均差	2 阶均差	3 阶均差
0.0	90			
0.1	97	$f[t_0, t_1]$ 70.00		
0.2	99	$f[t_1, t_2]$ 20.00	$f[t_0, t_1, t_2]$ -250.00	
0.3	104	$f[t_2, t_3]$ 50.00	$f[t_1, t_2, t_3]$ 150.00	$f[t_0, t_1, t_2, t_3]$ 1 333.33

已知表 1 数据, 求取 $n = 1, 2, 3$ 时, 在时刻 0.0 s 处的角加速度:

$n = 1$ 时, $\alpha_0 = f[t_0, t_1] = 70.00$;
 $n = 2$ 时, $\alpha_0 = f[t_0, t_1] + f[t_0, t_1, t_2](t_0 - t_1) = 95.00$;
 $n = 3$ 时, $\alpha_0 = f[t_0, t_1] + f[t_0, t_1, t_2](t_0 - t_1) + f[t_0, t_1, t_2, t_3](t_0 - t_1)(t_0 - t_2) = 121.67$ 。

4 LabVIEW 的编程实现

按照前面的推导, 本研究编写了 LabVIEW 程序, 如图 3 所示。简述如下:

(1) “角速度缓存”是前端软件用来存储角速度的一维数组 $[\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_{210}]$, 该数组有 211 个元素, 前后

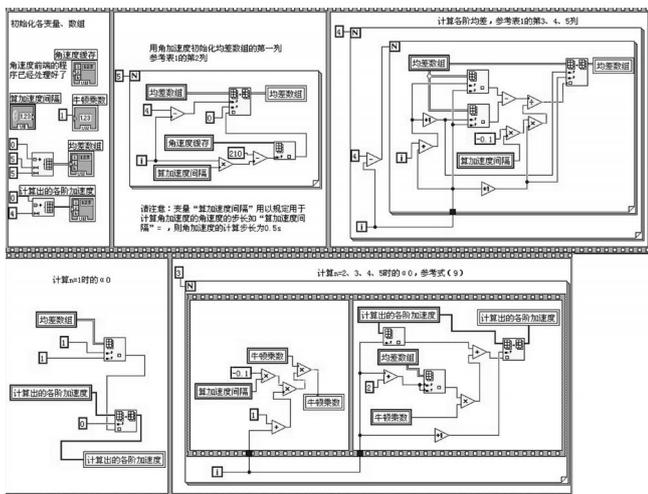


图 3 牛顿插值法的 LabVIEW 实现

两个角速度采样的时间间隔为 0.1 s, 因此, 数组时间跨度为 2.1 s, 最近的角速度值为 ω_{210} , ω_0 为 2.1 s 前的角速度。

(2) “算加速度间隔”为用于计算角加速度均差的角速度的步长, “均差数组”的定义如表 2 所示, 第 1 列为“算加速度间隔”=5 时选取的角速度。

(3) “均差数组”是一个 5×5 的二维数组, 用来存储角速度与各阶均差, 例如, 当“算加速度间隔”=5 时, 其定义如表 2 所示。请注意, 这时 $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$ 间的时间间隔不再是 0.1 s 而是 0.5 s。

表 2 “均差数组”的定义

ω_{210}				
ω_{205}	$f[t_0, t_1]$			
ω_{200}	$f[t_1, t_2]$	$f[t_0, t_1, t_2]$		
ω_{195}	$f[t_2, t_3]$	$f[t_1, t_2, t_3]$	$f[t_0, t_1, t_2, t_3]$	
ω_{190}	$f[t_3, t_4]$	$f[t_2, t_3, t_4]$	$f[t_1, t_2, t_3, t_4]$	$f[t_0, t_1, t_2, t_3, t_4]$

(4) “计算出的各阶加速度”是一个 1×4 的一维数组, 定义如下:

$$[\alpha_0(n=1), \alpha_0(n=2), \alpha_0(n=3), \alpha_0(n=4)]$$

5 实验数据分析

为了检验通道设计的有效性, 笔者做了 3 项实验:

实验一, 输入转速固定, 变速器在 2、3、4 挡键来回切换, 测量“算加速度间隔”分别为 5、10、15、20 时的“计算出的各阶加速度”的波形以及数据;

实验二, 变速器的挡位固定在 4 挡, 不断地改变输入转速, 测量“算加速度间隔”分别为 5、10、15、20 时的“计算出的各阶加速度”的波形以及数据;

实验三, 选取各组数据, 运用 Matlab 进行数值微分运算, 求取其角加速度, 与实验数据比对, 检验数据的准确性。

下面介绍数据的分析结果:

(1) “计算出的各阶加速度”阶数越高, 求出的加速度抖动越大。在实验二中, “算加速度间隔”=15 的条件下输出的波形图如图 4 所示。图 4(a) 为角速度, 图 4(b)、4(c) 分别为 2 阶角加速度和 4 阶角加速度, 可以看出, 4 阶角加速度的抖动明显增加。

(2) “算加速度间隔”越大, 计算出的加速度的滞后越大, 加速度的抖动会减小但是实时性与准确性降低。在实验二中, “算加速度间隔”分别为 20 和 5 下测得的波形如图 5 所示。图 5(a) 是“算加速度间隔”为 20 的角速度, 图 5(c) 为其对应的 1 阶角加速度曲线, 图 5(b) 是“算加速度间隔”为 5 的角速度, 图 5(d) 为其对应的 1 阶角加速度曲线。通过对比可以发现, 间隔为 5 时算得的加速度和间隔为 20 时算得的加速度比较起

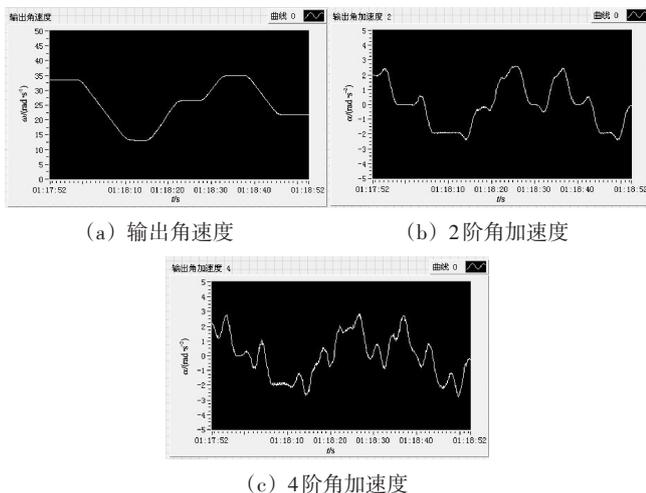


图4 阶数对加速度的影响

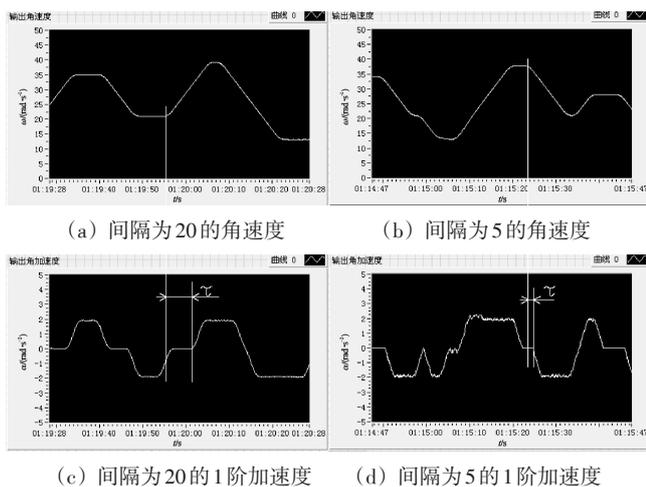


图5 算加速度间隔对计算结果的影响

来,其滞后要小近4倍,但抖动比较厉害。

(3) 各种情况的数据和 Matlab 比较如图6所示,经比较发现使用牛顿插值法计算变速器输出角加速度比较合适的选择是选择“加速度间隔=5”,并取其一阶加速度值。图6的数据的来自实验一,变速器输入转速为 1 075 r/min时,调节变速器挡位在 2、3、4 挡间

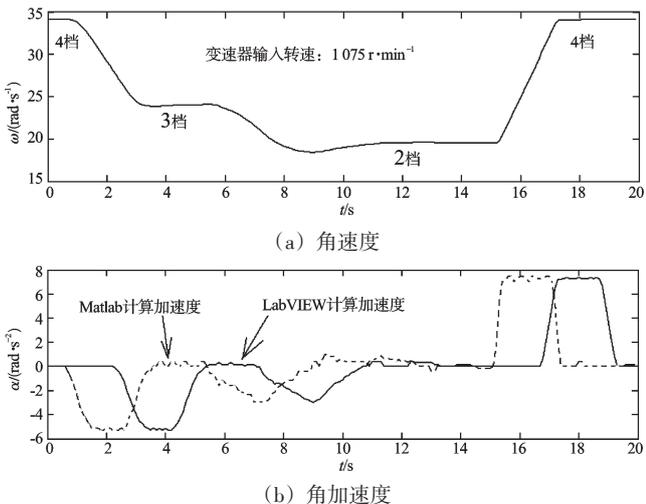


图6 与 Matlab 计算结果的比较

变化,把这一过程中的角速度与一阶加速度数据保存下来。Matlab 根据角速度的值用数值微分的方法求取导数,得到角加速度,将这些数据在图5中以曲线的形式输出。经过比较后可以发现:

① LabVIEW 的计算值要略为滞后于 Matlab 的计算值,原因是 LabVIEW 计算时的步长是 0.5 s,而 Matlab 的步长为 0.1 s;

② LabVIEW 的计算结果和 Matlab 的计算结果基本吻合,如果把 LabVIEW 的曲线向前平移消除滞后,会发现,它和 Matlab 的曲线基本重合在一起。

③ LabVIEW 的数据消除了加速度的抖动。通过比较两条曲线可以看到,LabVIEW 的曲线消除了 Matlab 曲线中抖动的部分。

6 结束语

本研究的创新点在于采用牛顿插值算法,根据汽车自动变速器性能检测特点,推导出输出轴角加速度数学模型,以 LabVIEW 为开发软件,实现了检测通道的设计。本研究综合了计算机控制、检测技术与汽车自动变速器技术等,实现了汽车自动变速器检测机电一体化,可对角加速度进行实时控制与检测,提高了数据检测的精度和速度。

参考文献 (References):

- [1] 董铸荣,贺 萍. SZPT-ATTE-1 型汽车自动变速器检测台的研制[J]. 实验室研究与探索,2007,26(10):24-26.
- [2] 郑尧军,陈开考,骆美富. 自动变速器实验台测控系统的研究[J]. 机电工程,2009,26(7):19-22.
- [3] 董铸荣,贺 萍. 汽车自动变速器综合性能台架试验项目设计[J]. 汽车技术,2007(7):31-33.
- [4] 贺 萍. 汽车自动变速器综合性能检测台架试验项目的国内外现状与研究[J]. 实验室研究与探索,2007,26(12):24-26.
- [5] 陈晟闽,王若平. 自动变速器故障的动力流分析法[J]. 拖拉机与农用运输车,2010,37(2):97-99.
- [6] 孙丰甲,彭 军. 角加速度测量[J]. 计测技术,2007,27(2):1-3.
- [7] 张振祥,陈永清. 基于线阵 CCD 的轴承外圆表面缺陷检测[J]. 轻工机械,2010,28(4):70-72.
- [8] 蔡艳平,李艾华,胡重庆,等. 平稳小波自适应去噪用于曲轴瞬时角加速度测量[J]. 振动、测试与诊断,2010,30(3):310-314.
- [9] 韩九强. 现代测控技术与系统[M]. 北京:清华大学出版社,2011.
- [10] 刘月凡,谭振武,刘月兰. 牛顿插值在计算机上的实现[J]. 信息技术,2002(8):63-64.
- [11] 汤宝平,何启源,魏玉果,等. 基于角加速度的复合计算阶次跟踪方法[J]. 机械工程学报,2008,44(8):148-147.

[编辑:张 翔]