

基于 DSP 的数字式探纬检测设备研制

张 波, 史伟民, 吴震宇

(浙江理工大学现代纺织装备技术教育部工程研究中心, 杭州 310018)

摘 要: 针对喷气织机探纬器漏检率较高及可靠性较低等问题, 采用红外反射式光电传感器, 在 DSPT-MS320VC5509 硬件资源的基础上, 以自适应滤波 LMS 算法处理信号, 研制具有高速、高实时性的数字探纬检测设备。经样机测试结果显示: 此方法大大降低了探纬器的漏纬率, 提高了探纬设备工作的稳定性及寿命。数字式探纬检测设备提出了一种全新的探纬检测方法。

关键词: TMS320VC5509; 数字探纬器; LMS 算法

中图分类号: TS103.337 **文献标识码:** A

0 前 言

喷气织机的纬线是依靠气源的喷冲将其从经线的左端传送到经线右端的适当位置。在织造过程中, 由于气压的波动或其它干扰因素, 容易造成纬线传送断线, 不到位或传送过量而超限等现象。无论哪种情况发生, 都将导致次品。为此, 必须对纬线信息进行精确检测, 以便使故障得到及时控制和处理。

喷气织机探纬器作为一种光电传感器, 在织机运行过程中长时间地承受冲击震动, 因而属于一种易耗件, 消耗量较大。由于探纬器结构精巧、复杂、技术要求高, 长期以来主要依赖进口, 故开发稳定可靠高效, 且具有自主知识产权的喷气织机探纬器迫在眉睫。已开发的探纬器多是采用模拟电路对信号进行检测分析, 有一些较先进的厂商开发了基于集成电路的探纬器, 但这些探纬器仍未克服模拟电路易受温度、光线等环境因素的影响而造成的漏探、误探等缺点。本文突破传统的模拟探纬板, 设计一种数字探纬器, 以克服模拟电路的功能缺陷, 使探纬检测设备更加稳定可靠, 提高织机的探纬检测率^[1-3]。

1 数字探纬器原理

喷气织机采用箱前式光电探纬器, 探纬器安装在织机的钢筘箱座的 T 行槽中, 异形箱的箱槽后面贴有黑色的遮光膜, 用于隔离射向光电元件的外界光线, 降低环境光对光电传感器的干扰。探纬器的安装位置可以随织物穿箱幅度进行调整, 探纬器由柱状透镜、投光器、受光器、遮光板和壳体等组成。柱状透镜将投光器的光聚合成带状, 为一定长、定宽的探照光带。投光器是半导体发光二极管, 它在规定时间内 (H_1 为 $200 \sim 290^\circ$, H_2 为 $200 \sim 310^\circ$ 。角度是指织机的主轴转动一圈, 指示织机工作角度为 $0^\circ \sim 360^\circ$, 为使计量方便, 织机工作时间依据织机的主轴工作角度进行计量) 发射出照射光, 由光电晶体管和光电池组成的受光器, 把光量转换成电量。投光器和受光器同装在探纬器头端, 中间用遮光板隔开。

织机通常使用两个探纬器来判断纬线运动是否出现异常, 其中第一路探纬器 H_1 安装在布边与废边纱之间, 它是用来检测是否缺纬, 短纬等引纬故障; 另外一路探纬器 H_2 安装在正常引纬时, 纬纱头端到达范围以外的地方, 距离 H_1 约 $100 \sim 125$ mm, 用来检测纬纱是否过长或断纬。两路探纬器工作原理近似, 这里着

重分析一路探纬器的工作原理^[1]。探纬器的安装位置如图1所示。

喷气织机光电探纬器的基本工作原理是:在钢箱内的纬线,由辅助喷嘴喷出气流的带动而前进。探纬器探头的红外发射管受方波产生模块驱动发光时,在纬线有(无)抖动变化的不同情况下,反射光返回的光强度将有明显的差异,而探头内的红外接收管则会依据光强程度的不同而受到不同程度的激励,所输出信号的幅度将会有(无)明显的变化;即将光电探纬器的输出信息体现在输出信号幅值的变化上,信号处理模块将检测出此幅值变化并将其作为后续电路判别纬线未断和断的依据。

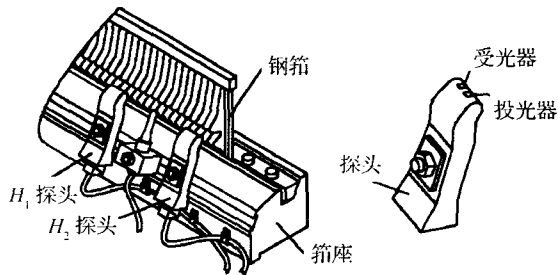


图1 探纬器安装位置示意图

为了克服传统探纬板探纬精度的不足及探纬器上的器件易老化致使检测寿命缩短等缺点,本文设计了一种数字探纬器,数字探纬器的实现原理是:输入的探纬信号经低通滤波器去除高次谐波后经模数变换器将信号数字化并送至数字信号处理器,在处理器中用数字化信号处理算法完成信号检测、自动频率检测,滤波和判决输出等功能;这种数字探纬器不仅克服了模拟探纬电路的功能缺陷,大大降低了探纬器会因器件老化,环境光干扰等外界原因造成的误差,而且还具有一定的自调整功能,使探纬检测精度有了较程度的提高。

2 DSP 硬件平台实现

2.1 硬件平台的设计要求

数字探纬检测设备的硬件系统主要由输入模拟信号的调理、DSP 处理模块及通讯接口模块组成。信号调理和 DSP 处理模块是整个系统的核心并共同决定系统的总体性能^[5]。具体的要求分析如下。

- (1) 经过调制的纱线信号频率的范围集中在 5 kHz,对动态性能的要求一般。
- (2) DSP 控制单元应能较快地处理光电信号并具备为后续软件设计提供基础的丰富的内部资源。

2.2 TMS320VC5509 简介

数字信号处理器采用 TMS320VC5509, TMS320VC5509 是 TI 公司提出的一款低功耗高性能的 16 位定点数字信号处理器,最高可以运行在 144 MHz 的主频。它基于 TMS320C55XDSP 的核,达到了 C54X 两倍的周期效率,而功耗则只有 C54X 的 1/6。采用哈佛结构,其主要特点是将程序和数据存储在不同的存储空间中,即程序存储器和数据存储器是相互独立的存储器,每个存储器独立编址、独立访问。与两个存储器相对应的是系统中设置了程序总线 and 数据总线两条总线,从而使数据的吞吐率提高了 1 倍^[6]。

2.3 硬件设计

采用箱前式红外光电反射传感器和 DSP 来完成数字信号的采集和处理,下位机硬件系统中的 A/D 转换和 DSP 处理部分在 TMS320VC5509 开发板上进行, TMS320VC5509 处理芯片控制 A/D 采集及算法处理。系统工作时,光信号经微处理后转换为电信号,并由 DSP 处理以后进行判别输出。系统原理框图如下图 2 所示。

光电接口微处理的功能是把从传感器中采集的微弱信号进行放大和滤波,以降低杂散噪声的干扰。经实验比较选定 NEC 公司的双集成运放 μPC4570 及一些外围阻容器件组成选频放大器来实现滤波功能, μPC4570 的特性是开环增益和共模抑制比很高,零漂和噪声很低,精度较高。选频放大电路的目的在于对发射来的信号进行选择,滤除干扰信号。考虑到纱线信号最高频率为 5 kHz 左右,选频放大电路的中心频率及后续滤波器的选通频率均选为 5 kHz。A/D 转换器则根据系统精度及经济性选择,采用 DSP 内部自带的 10 位 A/D 转换器。信号调理部分则采用自适应滤波器的 LMS 算法对信号进行分析,以得到输出脉冲信号。

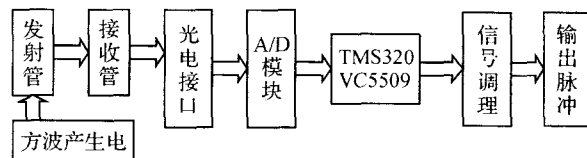


图2 系统原理框图

3 软件实现

3.1 信号采集流程

其工作流程可简述为: DSP 内部定时器输出时钟信号到 A/D 模块, A/D 模块根据这个外部时钟信号对外界输入信号进行采样, 每采样一个数据, 提供一个中断信号到 DSP, DSP 收到该中断信号后通过 DB 数据总线读取数据, 保存在 DSP 的 RAM 单元, 并通知 AD 开始下一次采样, 采样数据满后, DSP 对采样信号进行算法处理, 得到处理结果^[7-9]。织机主控器依据此信号进行判断是否发生短纬、长纬、断纬、缺纬等故障。其中 DSP 程序的主流程如图 3 所示:

3.2 自适应滤波 LMS 算法

由于织机工作环境较复杂, 且探纬头是光电器件, 易受室内或周边的荧光灯发出的高频电磁干扰、温度等因素干扰, 特别是外部光线的变化量未知, 可能造成探纬头接收管接收的光强受到干扰, 进而得到的纱线信号也收到干扰, 造成误判等现象, 故特选用自适应滤波器来处理纱线信号, 它是以最小均方误差为准则, 由自适应算法通过调整滤波器系数, 以达到最优滤波的时变最佳滤波器。

图 4 中 $d(n)$ 为期望响应, 此处选用与纱线信号相关的正弦信号; $x(n)$ 为自适应滤波器的输入, 即经过光电接口微处理及 A/D 变换后的纱线信号; \hat{d}_n 为自适应滤波器的输出, 即经过自适应滤波算法处理的纱线信号; $e(n)$ 为估计误差; 自适应滤波器的滤波过程可分为学习过程和工作过程两部分, 学习过程的主要作用是求得最佳权向量, 得到最佳权向量后, 进入工作过程, 依据学习过程中求得的最佳权向量固定滤波器参数, 使 $e(n)$ 的最小均方误差最小, 实现最优滤波。当织机探纬器的工作环境有较大变动或织机使用者需要调整探纬器的灵敏度时, 再执行一次学习过程, 使自适应滤波的权向量更新, 自适应滤波器的参数进而获得更新, 使自适应滤波器在新的工作环境下达到最优滤波效果, 以实现探纬器自动适应新的环境的功能。采用自适应滤波 LMS 算法处理的纱线信号克服了来自室内或周边的荧光灯发出的高频电磁干扰, 使高频电磁波对红外接收的干扰降到最低。是自适应滤波的权值更新公式如下。

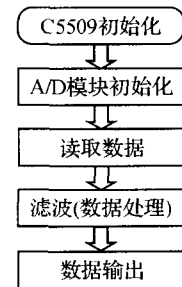


图 3 软件流程图

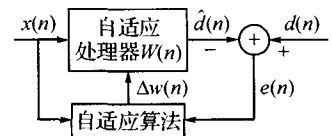


图 4 自适应滤波器原理图

定义输入向量和权向量分别为:

$$X_n = [x_n x_{n-1} \cdots x_{n-(M-1)}]^T \tag{1}$$

$$W_n = [w_0 w_1 \cdots w_{(M-1)n}]^T \tag{2}$$

某一时刻 n 的误差信号为:

$$e_n = d_n - \hat{d}_n \tag{3}$$

$$\hat{d}_n = X_n^T W_n = W_n^T X_n \tag{4}$$

则
$$e_n = d_n - W_n^T X_n \tag{5}$$

$$e_n^2 = d_n^2 - W_n^T X_n X_n^T W_n - 2d_n X_n^T W_n \tag{6}$$

假设 e_n 、 d_n 和 X_n 是统计平稳的, 对(6)式取期望值得:

$$E[e_n^2] = E[d_n^2] - W_n^T E[X_n X_n^T] W_n - 2E[d_n X_n^T] W_n$$

令 R_n 、 P_n 分别为:

$$R_n = E[X_n X_n^T] \tag{7}$$

$$P_n = E[d_n X_n^T] \tag{8}$$

若用 ξ 表示均方误差, 并考虑到(7)和(8)式则:

$$\xi_n = E[e_n^2] = E[d_n^2] - W_n^T R_n W_n - 2P_n W_n \tag{9}$$

求得最小均方误差, 将(9)式对 W 求微商, 令结果为零得:

$$\nabla_n = 0 = 2R_n W_0 - 2P_n \tag{10}$$

假设 R_n 是非奇异的, 则最佳权向量 W_0 为:

$$W_0 = R_n^{-1} P_n \tag{11}$$

则最小均方误差:

$$\begin{aligned}\xi_{\min} &= E[d_n^2] - W_n^T R_n W_n - 2P_k^T W_k \\ &= E[d_n^2] - [R_n^{-1} P_n]^T R_n R_n^{-1} P_n - 2P_k^T R_k^{-1} P_k = E[d_k^2] - P_k^T W_0\end{aligned}\quad (12)$$

LMS算法以瞬间误差平方 e_n^2 作为均方误差 e_n 的估计值,若用 $\hat{\nabla}_n$ 表示 e_n^2 对于 w_n 的梯度,则 $\hat{\nabla}_n$ 的估计值为:

$$\hat{\nabla}_n = \left[\frac{\partial e_n^2}{\partial w_{0n}} \dots \frac{\partial e_n^2}{\partial w_{(M-1)n}} \right]^T = 2e_n \left[\frac{\partial e_n}{\partial w_{0n}} \dots \frac{\partial e_n}{\partial w_{(M-1)n}} \right]^T = -2e_n X_n$$

采用这个简单的梯度估值,并利用下式:

$$W_{n+1} = W_n - u \hat{\nabla}_n \quad (13)$$

可以得到权值更新公式:

$$W_{n+1} = W_n + 2ue_n X_n \quad (14)$$

由于自适应滤波器的特性与 LMS 算法的步长 u 及信号功率都有关,要获得好的滤波特性,必须有尽可能小的步长,但小的步长又影响了算法的收敛速度,因此必须在应用中进行折衷选择^[10]。经过多次实验,选择滤波器的阶数为 96 阶,纱线信号频率为 5 kHz,采样频率为 50 kHz。选择步长因子 $u=0.0001$ 。可以较好地解决信号的检测、估计和滤波问题。

4 实验结果

利用日发的 RFJA10 型喷气织机引纬及喷嘴部分搭建探纬检测实验台,由主控制器控制纬线送出,经主辅喷嘴作用,将纬纱送至探纬检测区间,在普通日光及夜晚光线较弱等不同条件下,经有无纱线状态的反复实验,对自适应滤波取不同阶数,采用不同采样频率进行多次实验,得出实验结果。图 5(a)、图 5(b)分别为未经及已经数字滤波算法作用的信号,图 5(a)为光电接口接收的初级纱线信号,幅值较小,噪声及干扰较明显;图 5(b)则为经过放大及数字滤波作用后的信号,幅值被放大至 4 V 左右,且信号较为规则。图 6 给出了无纱线和有纱线时 MCU 所接收的不同判别信号。图 6(a)为无纱线时 MCU 接收的信号,将保持在 10 V;而图 6(b)则是有纱线变化时的最终信号,是由图 5 中经过放大及数字滤波作用后的纱线信号再经阈值判别处理后得到的,该信号将在高低电位间不断跳变,可明显观测到有纱线抖动变化。

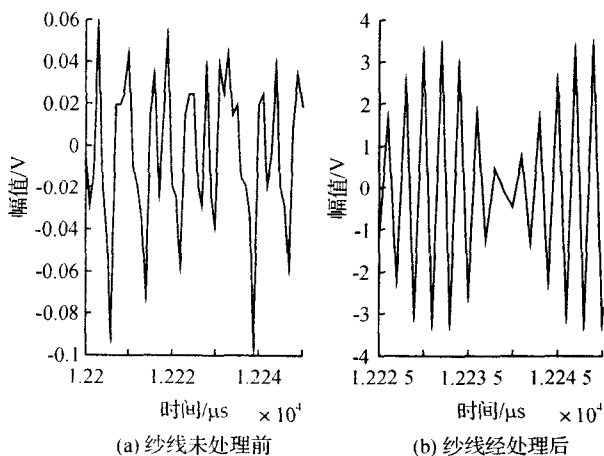


图5 信号对比图

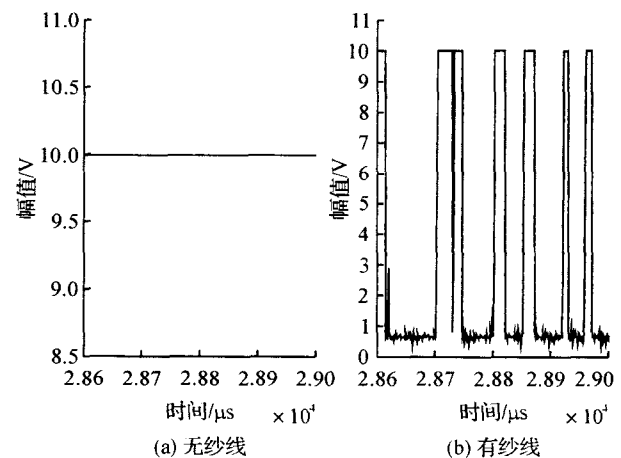


图6 MCU接收的最终纱线信号

5 结论

经实验验证,该数字探纬器不仅克服了模拟探纬电路的功能缺陷,使得探纬板参数不会因振动等外界原因造成参数误差,而且还具有一定的自调整功能。采用了数字滤波方式,实现了对低信噪比的纱线信号进行自适应谱线增强,均方误差小,提高了增强谱线和抑制噪声的能力,且克服了来自室内或周边的荧光灯发出的高频电磁干扰,使高频电磁波对红外接收的干扰降到最低。使探纬检测设备更加稳定可靠,提高了织机的

探纬检测率及使用寿命。

参考文献:

- [1] Desal D R. Photoelectric weft detector; United States; 3693671[P]. 1972-09-26.
- [2] Mamorus I, Yukihiro T. Method and an apparatus for detecting the weft yarn in a jet loom; United States; 4738284[P]. 1988-04-19.
- [3] Tsutomu S, Kanazawa. Apparatus for detecting weft yarn in jet looms; United States; 4476901[P]. 1984-10-16.
- [4] 徐 阳, 吴学平, 张 强. 喷气织机探纬器的应用[J]. 纺织导报, 2007(2): 58-60.
- [5] 彭志萍, 樊尚香, 张秋利, 等. 基于 DSP 的锅炉火焰探测器软硬件平台的设计和实验[J]. 可编程控制器与工厂自动化, 2006(9): 63-65.
- [6] 管必聪, 吕 红. 基于 TMS320VC5509 的 G. 729A 算法实现[J]. 机电工程, 2008, 25(2): 50-52.
- [7] 黄 霞, 鲍 慧, 赵 伟, 等. 基于 TMS320VC5509A 的多路同步数据采集与存储系统[J]. 继电器, 2007, 35(23): 24-27.
- [8] 刘珂含, 何培宇, 关胜平, 等. 基于 TMS320VC5509A 的图像采集与识别系统[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2008, 45(1): 48-52.
- [9] 亓淑敏, 梁文家, 张美娟. 基于 DSP 的自适应噪声消除系统[J]. 现代电子技术, 2008, 31(20): 184-185, 188.
- [10] 张艳喜, 张伯珩, 边川平, 等. 基于 LMS 算法的自适应滤波器在水声信号处理中的应用[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(12): 2830-2833.

Design of Digital Weft Detector Based on DSP

ZHANG Bo, SHI Wei-min, WU Zhen-yu

(Engineering Research Center of Modern Textile and Equipment Technology
(Zhejiang Sci-Tech University), Ministry of Education, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aimed at weft detector's high probability of miss and low reliability, opposite-type infrared-ray photoelectric sensor is used, an digital weft detector equipment with high speed and excellent real time performance is designed by employing TM320VC5509 for its abundant hardware resources and processing signals by adaptive filtering LMS arithmetic algorithm. Through weft detector's testing results, a new method of weft detecting by using digital weft detector is proposed. the probability of weft detector's missing is played down by digital weft detector equipment, thus the reliability and life of weft detector is improved.

Key words: TMS320VC5509; digital weft detector; LMS arithmetic

(责任编辑: 杨元兆)