

塔式起重机吊重检测计算模型及系统设计

杨有

(重庆师范大学计算机与信息科学学院, 重庆 401331)

摘要: 近年, 我国塔式起重机安全事故频发, 研制塔式起重机安全监测与控制系统十分必要。吊重监测是塔式起重机安全系统中最为重要的因素, 使用 51 单板机作为系统数据采集与处理核心, 合理分配与复用 I/O 端口线, 使得系统具有较高的性价比。通过定义有效采集吊重和正常波动/异常波动, 明确提出一种基于两级均值滤波的吊重数据计算方法; 基于有效数据, 描述了系统软件的处理流程。通过设定消抖延迟参数, 使得系统不仅能够保证提升塔式起重机操作安全, 而且有助于塔式起重机操作的方便性, 使得系统具有实用价值。

关键词: 塔式起重机; 吊重检测; 计算模型; 检测终端

中图分类号: TP277; TH213.3

文献标志码: A

文章编号:

近年来随着建筑业的快速发展, 我国建筑起重机在用数量急剧上升, 由此引发的事故不断增多。根据国家建设部和质监局的统计报告, 与 2005 年相比, 2006 年中国的建筑塔式起重机事故增长了 76.5%, 重大事故增加了 66%, 死亡事故增加了 61%, 直接经济损失上升了 8.6%; 与 2006 年相比, 2007 年重大塔式起重机事故增加了 20%^[1]。而且塔式起重机事故率连续多年居高不下、一直呈上升趋势, 2006 年事故率为 7.20%, 2007 年为 7.90%, 2008 年为 8.15%, 2009 年为 11.2%^[2,3]。调查显示, 众多的塔式起重机事故中, 违章操作和超载引发的事故占 80% 以上。

面对日益严峻的安全形势, 国家有关部委密集颁布了有关国家标准和规范, 比如《塔式起重机》(GB/T 5031-2008), 《起重机械超载保护装置》(GB 12602-2009), 《起重机设计规范》(GB/T 3811-2008), 《塔式起重机混凝土基础工程技术规程》(JGJ/T187-2009)和《建筑施工塔式起重机安装、使用、拆卸安全技术规程》(JGJ196-2010)等。而且, 在《建筑业 10 项新技术(2010)》第 10 大项“信息化应用技术”中, “塔式起重机安全监控系统应用技术”已经浩然在列。由此可见, 无论是从国家政策, 还是从行业管理部门, 都十分重视塔式起重机的安全运行。

从研究与开发成果来看, 我国近年推出了一些塔式起重机安全监测与控制产品。采用 dsPIC30F6012 单片机作为安全系统的核心, 使用 TJL-1S 拉力传感器, 通过对动态起重力矩进行监测, 李楠等人设计了一种塔式起重机安全保护系统^[4]。采用 2 片 AT89C51 作为控制核心器件, 对传感器进入单片机的信号进行光电隔离以提高抗干扰能力, 对采集到的重量进行延时保护以消除启动等情况下的重量冲击, 应朝龙等人设计了一种智能塔吊控制器^[5]。采用 ARM9 芯片和 WinCE6.0 操作系统, 通过编写驱动程序和置入嵌入式数据库 SQLite3.0, 杨辉等人设计和实现了一种塔式起重机安全监控系统, 具有监控重量和力矩并远程发布的功能^[6]。除此之外, 关于塔式起重机的一些理论成果也相继出现。Song Shijun 等人分析了正常运转情况下的塔式起重机机械模型, 指出塔式起重机倾斜的三个主要特征; 在这些特征的基础之上, 进而建立了塔式起重机基础倾斜模型 TFSM(Tower crane foundation slop model)^[7]。

对这些成果的分析表明, 塔式起重机安全监测与控制产品尚有如下工作可以进行: 一是现有多数产品或系统都是针对多参数(比如吊重, 回转角度和风力等)进行监测, 而塔式起重机事故的引发主要是超重, 因此缺乏只针对单参数(吊重)的廉价产品, 以满足市场的需求; 二是现有多数吊重监测系统主要采用轴销式传感器, 不仅价格昂贵而且应变片的粘贴也很难工艺化; 三是现有产品在使用中已经出现频繁影响工人操作的断电暂停现象, 需要在监测灵敏度和使用方便性之间进行更为合理的折衷。为此, 我

收稿日期: 2013-12-24 修回日期: 2014-09-17

资助项目: 重庆市教委科研项目(No. KJ130646); 重庆师范大学横向科研项目(No. 960657)

作者简介: 杨有,男, 副教授,博士, 研究方向为嵌入式技术、图像处理与识别; E-mail:565357950@qq.com

们使用 51 单片机作为监测与控制的核心，使用吊环加位移传感器采集吊重数据，提升系统的性价比；同时，对塔式起重机起吊过程的数据进行分析，通过定义有效采集数据和定义合理的数据处理模型，使用消抖延迟参数实现在保证安全的同时，也更加方便工人操作。

1 硬件设计

本系统主要功能是检测塔式起重机的起吊重量，根据不同的起吊重量控制塔式起重机的运转方式。本系统的输入只有吊重数据，输出包括吊重数据显示、声光报警、继电器控制信号和 USB 接口数据输出。图 1 列出了该系统的硬件原理^[8]。系统经过“一键校准”设定系统的工作参数，吊重数据经过传感器进行检测，实现重量信号到位移信号的转换，并输出对应电信号，该电信号经前置处理，放大到适合 ADC 所需的输入信号范围，CPU 控制 ADC 工作，采样取得吊重数据。采样数据经过 CPU 的计算或处理，输出显示数据和控制信号，其中 CPU 采用了 STC12C5A60S2 芯片。RS232 接口用于本系统和宿主机之间的连接，便于程序开发和移植；USB Host 接口用于本系统对外输出已记录数据，实现数据取证功能。

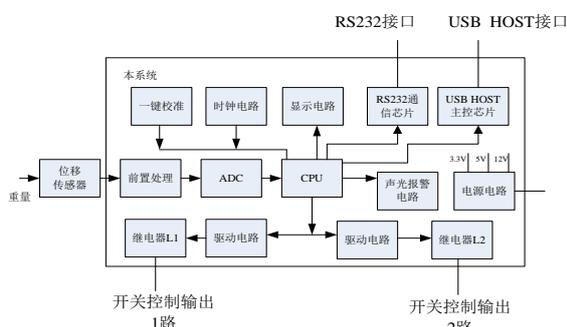


图 1 塔式起重机吊重监测与控制系统原理框

该系统中，CPU 的端口分配尤为重要。STC12C5A60S2 是高速、低功耗、超强抗干扰的新一代 8051 单片机，它具有 P0、P1、P2 和 P3 共 4 个 I/O 端口，可用于数据输入输出的只有 P0~P2，计 24 位。其它被使用的端口包括：FLASH(4 根)、USB(8+5 根)、时钟(3 根)、显示(8+4 根)、按键(2 根)、继电器(4 根)、蜂鸣器(1 根)、ADC(2 根，1 根用于输入，1 根用于基准电源，该位与显示中某位复用)。CPU 端口的使用情况如图 2 所示。

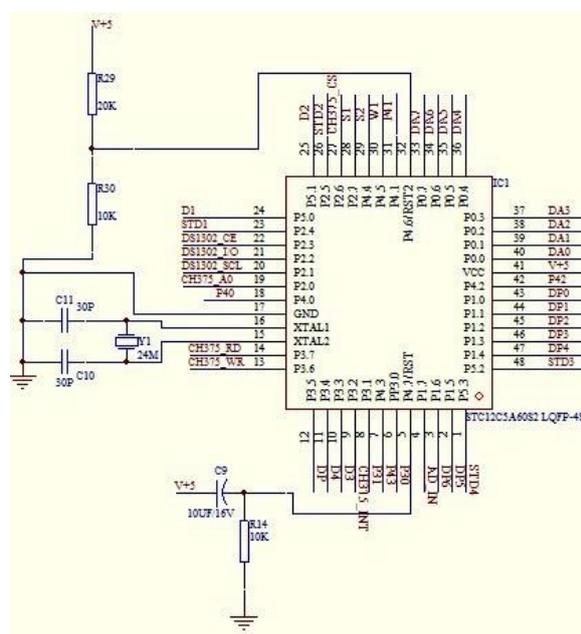


图 2 塔式起重机吊重监测与控制系统 CPU 的接口

2 数据处理模型

塔式起重机工作于室外，其重量监测与控制系统受环境干扰较大。如何采集有效的吊重数据，进而依据这些数据进行显示和控制是值得研究的。在塔式起重机起吊瞬间、在塔式起重机垂直放下货物瞬间，吊重数据会出现较大幅度的波动，这些波动数据不能直接用于显示与控制，否则塔式起重机的操作方便性会大打折扣。下面首先对有效数据、正常波动/异常波动进行定义，然后，提出吊重数据的计算模型和显示/控制模型。

2.1 两个定义

(1) 有效吊重。假设传感器检测重量为 W_i ，则定义每次有效采集吊重 W_j 为：此前 $(E-2)$ 次采集数据的均值。其计算公式为

$$W_j = \frac{1}{E-2} \sum_{i=1, E} W_i |W_i \neq W_{\max} \wedge W_i \neq W_{\min}|, \quad (1)$$

其中 E 的取值范围为正整数, 是一程序参数, 可预设, W_{\min} 和 W_{\max} 为这 E 次数据中的最小值和最大值。此定义的含义是用多个传感器检测数据作为一次有效数据, 以屏蔽电路干扰或瞬间的异常波动。其后数据模型处理的数据对象均为此有效数据, 而不是传感器数据。

(2) 正常波动/异常波动。假设实际货物重量为 W_x , 系统检测到的有效吊重为 W_j , 如果 W_j 满足下述条件:

$$W_j \in [W_x(1-\Delta W), W_x(1+\Delta W)], \quad (2)$$

则称 W_j 为正常波动, 否则称 W_j 为异常波动。其中 $\Delta W \in [\alpha_1, \alpha_2]$, 一般预设 $\alpha_1 = 1\%$, $\alpha_2 = 4\%$, ΔW 为一程序参数, 在系统调试时确定。此定义用于判断有效吊重数据是否处于许可的波动范围, 为下面的数据处理模型提供依据。值得注意的是, W_x 需要通过计算得到, 是一个计算值或估计值。

2.2 吊重数据计算模型

在(2)式中, 实际货物重量 W_x 从何而来是值得思考的。 W_x 的计算结果不仅要用于显示, 而且要用于控制, 该计算模型的优良程度决定了系统的性能。

考虑到塔式起重机一次工作过程分为起吊、运转和放下货物三个阶段, 每个阶段的起重特性曲线存在差异, 因此我们采用图3所示的两级层次计算过程。一级层次是有效吊重数据 W_j 的计算, 二级层次是实际货物重量 W_x 的计算。图中 Δt_{ADC} 、 Δt_{EX} 和 Δt 分别代表两次采样的间隔时间、1次有效吊重的计算周期、和1次 W_x 的计算周期。

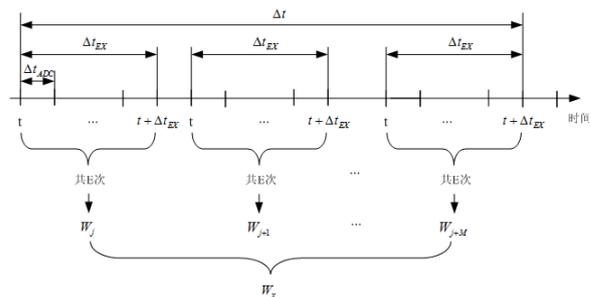


图3 两级均值滤波计算方法

定义 W_x 为: 某个时刻 $(t + \Delta t)$ 之前的一个时间段 Δt 内系统采集到的 W_j 的均值。 W_j 为每次采集的有效吊重数据。即

$$W_x = \frac{1}{M} \sum_{t_x \in [t, t+\Delta t]} W_j, \quad (3)$$

其中 M 为时间段 Δt 内采集有效吊重数据的次数。特别地, 在刚开始起吊时, Δt 并未形成, 此时取该时刻 t_x 之前所有有效采样数据的均值即可。比较(1)式和(3)式, 不难发现(3)式没有峰值处理的因素, 这是因为 W_x 强调持续时间而非断点, 符合起重曲线的变化规律。

2.3 有效数据处理流程

有效数据的处理流程分为正常波动的处理流程和异常波动的处理流程。

假设在 t_x 时刻, 系统获得的有效吊重值为 W_{t_x} , 实际货物重量为 W_x , 在 t_x 之前的 Δt 时间段内, 采集的有效吊重数据为: $W_j (j=1, 2, \dots, M)$, 则定义有效数据的正常波动处理流程为:

- 1) 更新 W_x : 用 W_{t_x} 代替 W_1 , 按(3)式重新计算 W_x ;
- 2) 显示 W_x ;
- 3) 根据 W_x 输出控制信号。

如果在 t_x 时刻, 系统获得的有效吊重值 W_{t_x} 属于异常波动, 即 W_{t_x} 超出了此时(2)式规定的范围, 则进入下述有效数据异常波动处理流程:

- 1) S0: $W_x = W_{t_x}$, 置异常波动标志 $EX = "1"$ (有效);
- 2) S1: 判断 W_{t_x} 异常波动的持续时间能否超过一个时间阈值 T_1 ;
- 3) S2: 如果超过, 则计算 T_1 时间段内采集到的有效吊重均值, 并赋值给 W_x , 显示和输出控制信号;
- 4) S3: 如果没有超过, 则忽略 $t_x \sim t_x + T_1$ 时间段内的有效采样值。进入下次采样。

上述流程中, T_1 为一程序参数, 还可以折算成系统程序中的采样次数, 它提供了波动的延时保护功能。 T_1 值越大, 系统削掉的峰值越多, 显示数据越稳定, 控制输出变化越少, 从而对塔式起重机操作的影响就越小; T_1 值越小, 显示数据跳动次数增加, 系统越灵敏, 一旦系统采集的 W_{t_x} 超过额定限度, 可能产生切断电源的控制信号, 从而影响塔式起重机操作。根据经验, T_1 可预设 1.5~2 s。

上述流程的 S1 中, 采取了如下两项处理措施: 在 $t_x \sim t_x + T_1$ 时间范围内, W_x 不变; 在 $t_x \sim t_x + T_1$ 时间范围内, 如果某次 W_{t_x} 属于非异常波动, 则置 $EX = "0"$, 回到正常处理流程, 而且 $t_x \sim t_x + T_1$ 时间范围内采集到的数据丢弃, 显示和输出控制没有变化。

3 结论

基于 51 单板机, 设计和实现了一种塔式起重机的吊重检测与控制系统。通过合理分配和复用 STC12C5A60S2 芯片的 4 个 I/O 端口线, 满足了系统检测和控制在功能需求, 提升了系统的性价比。通过定义有效采集吊重、正常波动和异常波动, 奠定了吊重数据处理模型的基础。吊重数据处理模型采用两级层次均值滤波方法, 适应吊重曲线的规律。由于在吊重数据处理模型中引入延迟消抖参数, 不仅保证

了操作的安全性，而且也方便了个人操作。

参考文献:

- [1] Song S J, Qiao C F, Wang J Y, et al. The study of tower-inclination feature model under the normal state of tower crane[C]//2010 International Conference on Digital Manufacturing & Automation. Changsha: IEEE Computer Society, 2010:828-835.
- [2] 李守林. 塔式起重机安全信息化监督管理技术[J]. 施工技术, 2011, 3:11-13.
Li SL. Security information monitoring and management of tower crane[J]. Construction Technology, 2011, 3:11-13.
- [3] 黄世国, 袁晓. 建筑施工安全综合评价体系的研究与应用[J]. 西南大学学报, 2012, 34(7):130-135.
Huang S G, Yuan X. Research and application of construction safety comprehensive assessment system[J]. Journal of Southwest University: Natural science edition, 2012, 34(7):130-135.
- [4] 李楠, 任德志, 徐丽萍, 等. 塔式起重机数字化安全保护系统的设计与开发[J]. 机床与液压, 2010, 38(18):73-75.
Li N, Ren D Z, Xu L P, et al. Design and development of digital security protection system for stacker crane[J]. Machine Tools & Hydraulics, 2010, 38(18):73-75.
- [5] 应朝龙, 王诚成, 周亮. 基于 51 单片机的智能塔吊控制器设计[J]. 电子测量技术, 2010, 33(4):94-97.
Ying CL, Wang CC, Zhou L. Design of intelligent tower crane controller based on 51 MCU[J]. Electronic Measurement Technology, 2010, 33(4):94-97.
- [6] 杨辉, 刘海龙, 高子洁. 基于 ARM9 及 WinCE6.0 的塔机安全监控系统[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(1):78-80.
Yang H, Liu H L, Gao Z J. Tower crane safety monitor system based on ARM9 and WinCE6.0[J]. Computer Measurement & Control, 2012, 20(1):78-80.
- [7] Song SJ, Wang JY, Qiao C F. The study on tower crane foundation slope model based on inclination feature[C]//2011 International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet). Xianning: IEEE Computer Society, 2011: 900-907.
- [8] 杨有, 尚晋. 可远程控制的塔式起重机安全监控记录装置[P]. 中华人民共和国专利, 2013: ZL 2013 2 0763721. 9.
Yang Y, Shang J. Remote control security monitoring and recording device of tower crane[P].

Chinese Patent, 2013: ZL 2013 2 0763721. 9.

Computing Model and System Design of Tower Crane Weight Monitoring Terminal

YANG You

(School of Mathematics and Computer Science, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: More and more tower crane accidents occurred these years. It's necessary to study on the safety system of tower crane in this situation. Weight monitoring is an important factor of this class of the system. The proposed system has a high performance-cost ratio because it used 51 single chip as the core component of data sampling and processing. I/O ports were assigned appropriately and multiplexed in the design. Two factors of the sampling effective weight and the normal/unusual fluctuation were defined firstly. Then, based on mean filter of two levels, a model to calculate the actual weight was put forward. Based on this effective weight, the data processing flow of system software was described. In the flow, a parameter called shaking-elimination delay time was defined. The experiments show that the method of the model and the processing flow could support the tower crane safety and did not affect the workers operation of tower crane. The proposed system is valuable actually.

Keywords: tower crane; weight detection; computing model; monitoring terminal

(责任编辑 游中胜)