

基于 ARM 和数据融合技术的网络化矿井安全监测系统^①

The network mine safety monitoring system based on ARM and data fusion technology

付 华 刘亚宁 (辽宁工程技术大学 电气与控制学院 葫芦岛 125105)

摘要:随着国家对煤炭安全生产的日益重视,在该领域非常需要一种低成本低功耗高性能的基于网络化的井下瓦斯安全系统。这里介绍了一种基于三星公司 32 位 ARM 处理器的用于煤矿环境监测的解决方案,提出了硬件实现方案和相关的软件实现方法,系统中采用神经网络技术来对多传感器状态进行判别,提高采集数据的可靠性,同时采用两层多传感器数据融合技术来处理数据,通过 ARM 良好的网络集成性能实现监测分析的网络化,使系统具有良好的性价比。

关键词:ARM 多传感器 神经网络 数据融合 煤矿安全

随着国际能源的紧张状况不断加剧和煤价的快速增长,造成许多煤矿超能力超负荷生产,对煤炭生产安全造成了极大的隐患。因此寻求一种低成本,低功耗,高性能的网络化监控解决方案就显得十分必要。本文采用目前流行的 ARM 嵌入式技术加以相关数据融合方法,设计出一种性价比较高的煤矿环境监测方案。本设计通过煤矿井下各种传感器(如:瓦斯传感器,甲烷传感器,风速传感器等)进行数据采集,在 ARM 中进行相应的处理,对当前环境进行监控并通过网络送到远程监控 PC 进行进一步数据融合和趋势分析,实现监控的网络化。

1 总体设计思想

本系统的数据采集部分主要由 CPLD 进行控制。先由现场的各种传感器组对多种监测量进行采样、保持,再通过多路采样开关将信号送入 A/D 转换器转换为数字信号并存入 FIFO 中,当 FIFO 中存放的数据达到一定数量后,由 CPLD 产生中断请求通知 ARM 读取 FIFO 中的数据。此外,CPLD 还负责采样通道的切换,A/D 转换器的启/停等控制。在数据处理部分中处理器 ARM 将数据读入后先根据数据判断传感器组的

状态以推测出传感器是否出现故障,实时显示传感器状态信息并做出相应的处理,然后将数据进行传感器级数据融合,再把融合的结果通过以太网接口传送到远程监控 PC 上进行决策级融合和趋势分析。本系统利用 ARM 高性能处理器实现上述功能,这样可以减轻远程 PC 的运算压力,减少网络传输的数据量,通过现场高速的嵌入式处理器的运用提高了监测的实时性,优化了整个系统的性能。总体结构图如图 1。

2 算法与原理

矿井下环境监测需要多种传感器(如瓦斯传感器,甲烷传感器,风速传感器等)进行测量,为了提高准确性又需要若干个同种传感器测量同一个参量。系统依次对每个同种传感器组进行数据采集和处理。这里的算法部分只对一个同种传感器组的情况进行说明,其它传感器组类同。

2.1 传感器状态的神经网络判别

这里通过采集的数据对传感器状态进行判别以减少由于某些传感器的故障给融合结果带来的影响。现场工作人员可以根据显示的判别结果来维护传感器组。为了减小 ARM 的运算压力,提高时效性,我们可

① 1、国家自然科学基金项目:70572070 2、辽宁省高校优秀人才基金项目:2005219005
3、辽宁省科技攻关项目:2005219005;2006220019 4、辽宁省自然科学基金项目:2051206

以将神经网络的训练挪到 PC 机上并且选取适当的历史数据进行,然后将训练好的网络参数添加到 ARM 的应用程序中来还原网络。这里使用 3 层神经网络: a 层为输入层,输入神经元的数目等于传感器个数 k ,神经元的输入对应每个传感器的输出, b 层为由两层神经元组成的隐含层,第一层为 $2k$ 个神经元,第二层有 k 个神经元, c 层为输出层,有 k 个神经元,其输出对应的每个传感器的状态。训练方法采用 BP 算法进行训练,当传感器正常或输出与其他同类传感器输出无明显差异时对应的输出为 1;反之为正常,对应输出为 0。

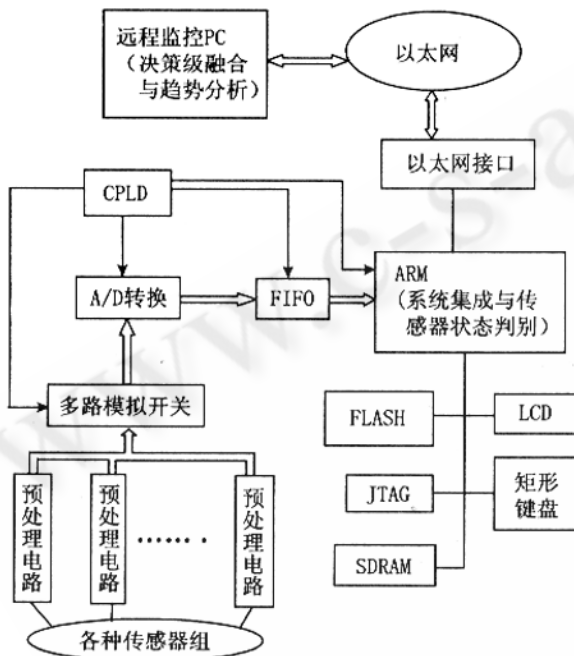


图 1 系统总体结构图

实际应用中神经网络的输出反映传感器的状态为:

$y_i > T$, 认为第 i 个传感器正常;

$y_i < T$, 认为第 i 个传感器不正常;

T 为判别阈值 $0 < T < 1$, T 的值取决于对系统的敏感度,当要求系统对传感器敏感时, T 值可取得稍小一点。

这样当 ARM 读入一组同种传感器数据 $X_1, X_2, \dots, X_n$, 则运用这个网络进行判别,找出可能损坏的传感器,由 ARM 里的相应程序降低这个传感器在下步融合计算中的权值并由显示部分显示给现场工作人员,以待检查维护。

2.2 自适应加权融合算法

将判别完的数据做传感器级融合处理,对于多传感器检测所得到的数据估计值必然存在一个随机量的估计误差,一般都以均方误差作为评价估计算法好坏的指标。对于不等精度测量数据,为了权衡各数据的不同精度,引用代表测量精度的特征数字权数 W ,来表示各测量数据的相对重要程度。精度高的数据误差小,权数应大,反之同理。将测量数据按照精度分别乘以权数再进行平均值处理,有利于提高测量准确性。

这里的自适应加权数据融合方法主要用于系统底层传感器检测数据的处理,为上层系统提供更加准确的现场检测信息和系统状态信息。对于送来的一组数据 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 是由不同的传感器进行测量的,因此它们有不同的 W ,根据总均方误差最小这一最优条件,各个传感器得到的测量值以自适应的方式找到其对应的 w ,使融合后的 $\hat{X}$ 达到最优,若这组数据的方差分别为 $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2$ 。所要估计的真值为 X ,测量数据彼此互相独立,并且是 X 的无偏估计,对应的传感器加权因子分别为 $W_1, W_2, \dots, W_n$,则融合后的 $\hat{X}$ 值和加权因子满足以下两式:

$$\hat{X} = \sum_{p=1}^n W_p X_p, \sum_{p=1}^n W_p = 1$$

因为 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 彼此独立,并且为 X 的无偏估计,所以 $E[(X - X_p)(X - X_q)] = 0$, (p 不等 q ; $p = 1, 2, 3, \dots, n, q = 1, 2, 3, \dots, n$),故 σ^2 的平方可写成:

$$\sigma^2 = E\left[\sum_{p=1}^n W_p^2 (X - X_p)^2\right] = \sum_{p=1}^n W_p^2 \sigma_p^2$$

从而可以看出,总均方误差 σ^2 是关于各加权因子的多元二次函数,因此其必然存在最小值,该最小值的求取是各加权因子满足相加得 1 这个约束条件的多元函数极值求取。根据多元函数求极值理论,可求出总均方误差最小时所对应的加权因子为

$$W_p = 1 / \sigma_p^2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2} \quad (p=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

此时所对应的最小均方误差为

$$\sigma_{\min}^2 = 1 / \sum_{p=1}^n \frac{1}{\sigma_p^2}$$

以上是各个传感器在某一时刻的测量值而进行的估计。当估计真值 X 为常量时,则可根据各个传感器历史数据的均值来进行估计。对于第 p 个传感器进行的 k 次测量,有平均值

$$\bar{X}_p(k) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K X_p(i) \quad (p=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$\text{此时的估计值为 } \hat{X} = \sum_{p=1}^n W_p \bar{X}_p(k) \quad (3)$$

$$\text{总均方误差为 } \sigma^2 = E[(X - \hat{X})^2]$$

$$\text{同理可得 } \sigma^2 = \frac{1}{K} \sum_{p=1}^n W_p^2 \sigma_p^2 \text{ 此时所对应的最小均方}$$

$$\text{误差为 } \sigma_{\min}^2 = \sigma_{\min}^2 / K$$

可见 $\sigma_{\min}^2$ 随 K 的增加而减小, K 为存入 FLASH 里的该传感器历史数据数目。

自适应加权融合算法在实际应用中的计算步骤如下:

- (1) 根据(2)式求出传感器 P 进行 k 次测量后的平均值 $\bar{X}_p(k)$;
- (2) 求出传感器 P 此时的 σ_p^2 ;
- (3) 根据式(1)求出最优加权;
- (4) 由式(3)计算出融合估计值;

3 硬件设计

3.1 数据采集部分

数据采集是由 CPLD 进行控制, 数据经预处理电路和 A/D 转换后送入 FIFO 缓冲器中等待 ARM 读取。本文采用 ispLSI 100 系列 CPLD 实现数据采集, 在 CPLD 中设计了四个模块: 时钟分频模块, 两个计数器模块和 A/D 延时模块。时钟分频模块主要是分频和设置采样频率产生计数器触发脉冲。本文采用一个四位计数器 A 作为多路模拟开关的切换控制。每当采样脉冲输入 INCREA 一次便完成一次计数, 选通一个通道, 同时在 CB 没有置位情况下, 通过 CPLD_ST 启动 A/D 转换, 同时也通过 TDI 启动延时模块延时, 来等待 A/D 转换完毕, 然后通过 TDO 信号将数据存入 FIFO 中, 由于这里采用 A/D 等待方式所以相隔两次采样脉冲输入 INCREA 的相隔时间要大于延时模块的延时时间。计数 B 来控制采集多少组数据进入 FIFO, 然后由 CB 做为向 ARM 的中断请求信号来通知 ARM 读取 FIFO 中的数据。图中 AG 为 ARM 读取数据完毕后给 CPLD 的返回信号, 以使 CPLD 继续进行采集。使用 CPLD 进行采集控制, 可以减少 CPU 的负担, 简化电路, 具有良好的可扩展性, 图 2 为 CPLD 内部逻辑概

图。

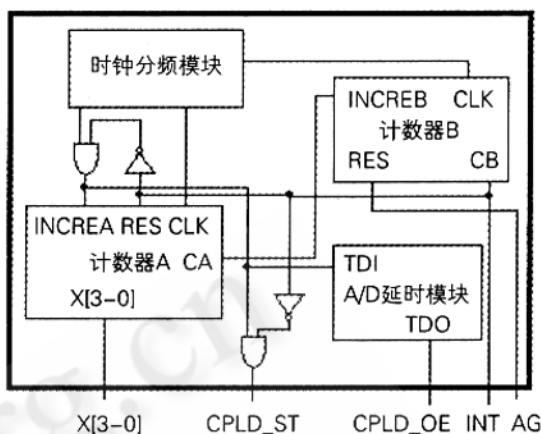


图 2 CPLD 内部逻辑概图

3.2 数据处理

系统选用三星公司的 S3C4510 作为数据处理器, 完成数据处理, 实时显示, 网络通信等功能。本文采用通用的 ARM 平台设计包括电源电路模块, FLASH 存储器模块, SDRAM 模块, JTAG 接口模块, 显示模块和实时时钟模块等常用外围电路, 这里就不再详述。设计中 ARM 的一个重要的作用就是网络通信, 作为一款优秀的网络控制器网络接口是不能缺少的, 也是比较复杂的, 因此这里我们着重介绍以太网接口电路。从硬件角度讲以太网接口主要由 MAC 控制器和物理层接口组成。S3C4510B 内部已经内嵌了 MAC, 但没有提供物理层接口, 因此我们使用了一片 DM9161 芯片来提供以太网接入通道。因为 S3C4510B 和 DM9161 都提供了 MII 接口。

4 软件设计

本文在 uClinux 操作系统中编写相关的驱动程序和用户应用程序。嵌入式系统的软件设计主要包括两部分: 一是设备驱动设计, 为用户应用程序提供访问外部设备的接口函数, 如显示驱动, 以太网驱动等常规驱动, 这些驱动一般由开发人员根据标准 uCLINUX 系统进行修改移植可以很容易完成, 还有如本文中读取 FIFO 数据的中断驱动的 I/O 开发, 基本过程是当 EINT0 接受到中断信号, 调用申请中断通道, 在申请了中断通

(下转第 59 页)

道后,系统会响应外部中断 0,而进入中断处理程序。中断处理程序的第一步是要先清除 S3C4510B 的中断悬挂寄存器的外部中断 0 位。这是为了让 CPLD 可以产生新的中断,对于来自 CPLD 的中断处理任务就是读取 FIFO 数据,读取完后通过 P0 将 FIFO 清零,通过 P1 让 CPLD 开始下一次采样等。二是应用户程序设计,在本文中判断传感器状态的神经网络程序和传感器级融合算法程序,可以根据相关原理用 C 语言编写好下载到 ARM 中运行。

5 结束语

基于 ARM 的嵌入式系统是一个十分流行的领域,我们将其应用于煤矿监测领域,提供了适合远程诊断的网络化监测系统,具有良好的性价比,有着十分广阔的应用前景。

参考文献

- 1 李驹光, ARM 应用系统开发详解——基于 S3C4510 的系统设计[M], 北京:清华大学出版社, 2004.
- 2 何友、王国宏、陆大金、彭应宁等, 多传感器信息融合及应用[M], 北京:电子工业出版社, 2000.
- 3 杨露菁、余华, 多源信息融合理论与应用[M], 北京:北京邮电大学出版社, 2006.
- 4 倪天龙, 人工神经网络在 ARM 平台上的应用[J], 单片机与嵌入式系统应用, 2005, 第 5 期:15 页.
- 5 吴永忠、韩江洪、孙秀柱, 全数字化高速矿用生产安全监测系统的研制, 计算机自动测量与控制, 2001, 第 6 期:24 页.
- 6 段海龙、彭辉俊、程健, 基于 ARM 的嵌入式以太网通信的实现, 机械与电子, 2006, 第 2 期:9 页.