

基于负压力波法的城市天然气管线远程监控系统^①

颜正恕

(宁波城市职业技术学院 信息学院, 宁波 315100)

摘要: 由于城市中天然气管线铺设非常广泛, 但是对于深埋地下的天然气管道的监控存在着精度低, 定位不准确和无法实现完全的远程监控等问题。利用负压力波法的修正算法对管线泄漏情况进行有效识别并进行准确定位。系统使用 Daubechies 波为小波基, 利用修正的 Mallat 快速小波算法对信号有效降噪, 提高了系统检测泄漏点的灵敏度, 增加了泄漏点定位的准确性。整个系统融合了无线通讯技术(GSM)、PLC 技术、总线技术、CLinux 服务器和嵌入式 WEB 技术和 GPS 等技术, 实现了对天然气管道的远程监控、数据分析和处理等功能。

关键词: 无线远程监控系统; 负压力波法; 小波变换; GSM; TC35i 模块

City Gas Pipeline Remote Monitoring System Based on Negative Pressure Wave Method

YAN Zheng-Shu

(School of Information, Ningbo City College of Vocational Technology, Ningbo 315100, China)

Abstract: As we know the gas pipeline laying is very extensive in city, but for deep buried gas pipeline monitoring has low accuracy, positioning is not accurate and can not be realized fully remote monitoring and other issues. This paper uses negative pressure wave correction algorithm for pipeline leakage efficiently and accurately positioning. System using Daubechies wave wavelet base, using the modified Mallat fast wavelet algorithm for signal noise reduction, improve the system for detecting leakage sensitivity, increased leakage localization accuracy. On this basis, system integration of the wireless communication technology (GSM), PLC technology, bus technology, CLinux server and embedded WEB technology and GPS technology, to achieve a natural gas pipeline for remote monitoring, data analysis and processing function.

Key words: wireless remote monitoring system; negative pressure wave method; wavelet transform; GSM; TC35i module

众所周知, 管道内的天然气气体压力、流动速度等状态参数受环境影响比较大, 这些影响因素称为噪音, 需要通过一定的算法进行降噪处理, 使获取的数据更加精确。不少泄漏检测系统仅仅通过专门的探测设备获取单一数据而不考虑环境因素, 是无法精确检测管道泄漏状态和位置的, 而本文所设计的系统利用多个传感器, 通过利用多传感器的冗余优势, 尽可能多的获取管道中不同时间和空间的各种信息, 扩大数据采集的覆盖范围, 利用可靠的数据过滤和分析算法, 大大提高了系统的性能和容错能力。但是多个传感器

所设计的位置、时间、采样方式、探测精度等各不相同, 这就增加了获取数据进行分析的难度。如何将这此传感器的数据进行有效利用, 最大限度的提取有用信息, 为最后进行泄漏位置的准确定位提供正确的决策参考, 是本文探讨的核心问题。

本文以改进的负压力波法作为主要泄漏检测方法, 并结合小波变换算法的改进算法对信号进行降噪获取准确的泄漏点信号信息^[1]。在此基础上, 进行适合城市天然气管线管理系统的软硬件设计。

① 基金项目: 宁波科技局留学生创业资金项目(2009B32011)

收稿时间: 2011-08-30; 收到修改稿时间: 2011-09-28

1 天然气管线泄漏检测及定位算法设计

1.1 传统负压力波法的改进算法

通过负压力波来定位泄漏点的原理图如下:

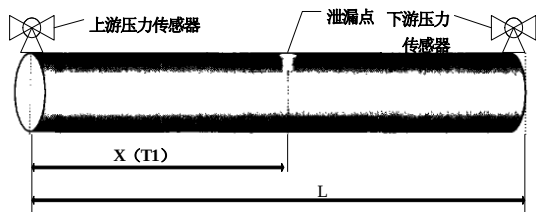


图 1 天然气输气管线基于负压力波法检漏原理图

L: 为整条天然气管道的总长度(m); X: 泄漏点到管道上游传感器的距离(m); 其中 T1, T2 为发生泄漏时, 负压波向上游和下游传导所需要的时间(s); V 为管道内压力波的传播速度; ΔT 为上、下游传感器接收到压力波的时间差^[2]。由这些已知条件可推导出如下公式:

$$\begin{cases} T1+T2=\frac{L}{V} \\ T1-T2=\Delta T \end{cases} \text{ 推导出公式: } X=\frac{L+V\Delta T}{2} \quad (1)$$

$$X=V\cdot T1$$

天然气泄漏故障是动态变化的, 这样必然会产生压力的突变, 通过对信号的突变来检查泄漏点, 并确定泄漏的时间差。这些突变的信号往往具有奇异性, 因此被称为奇异点。通过计算机系统能有效的捕获这些奇异点, 以此为基础可以进一步改进算法, 提高系统的精确度。改进算法则综合考虑管道内压力波的传播速度 V(m/s)、管内天然气的流动速度 N(m/s)和采样时间差 ΔT (s)。

将 $\begin{cases} T1=\frac{X}{V-N} \\ T2=\frac{L-X}{V+N} \end{cases}$ 代入公式(1), 得到改进公式:

$$X=\frac{L(V-N)+(V^2-N^2)\times\Delta T}{2V} \quad (2)$$

虽然通过改进算法提高了泄漏点判定的准确度, 但是获取的信号不仅仅是负压力信号, 同样包括了管道内的噪声, 这样所获取的时间数据就不那么准确了。为了抑制噪音, 需要通过小波变换算法检测到强噪音背后的真实信号边沿, 提高奇异点的监测精确度。

1.2 基于小波变换算法的降噪处理

小波变换法是属于负压力波法的一种声学方法, 具有时间-尺度的特点, 具有良好的时域特性, 同时在频域中表征高低频率的较强区分度, 利用小波变换的极值点完全可以检测处信号边沿^[3]。

本系统的消噪算法如下:

1) 首先对获取的信号用 Daubechies 小波基进行小波变换分解。假设原始信号 S(i) 的长度为 2n, 所获取的采样点频率为 fn, 则分解层数一般应小于 n; 根据实验经验随着尺度值的增大, 小波变换波形的模极大值相对于其他部分差值越大, 灵敏度就越高^[4]。

2) 对小波分解中的高频信号的进行阈值量化, 针对 1-n 层的每一层的高频系数, 选择一个合适的阈值进行量化处理。

3) 对 Daubechies 小波的重构。根据第 n 层中的低频系数和经过阈值量化后的每层高频系数, 进行小波变换重构获取降噪后的数据。

设计采用源于计算机视觉领域的多分辨率的离散小波变换与重构算法——Mallat 算法, 不需要知道尺度函数和小波函数的具体细节, 利用数学模型中的参数实现信号的分解和重构^[5,6], 该算法公式具体如下:

$$C_{i+1}(m)=\sum_n C_i(n)h_0(n-2m) \quad (3)$$

$$D_{i+1}(m)=\sum_n C_i(n)h_1(n-2m) \quad (4)$$

$$k=0, 1, 2\dots N-1 \quad (5)$$

在上述公式中, X(k): 采样信号函数; N: 采样数据总数; h₀, h₁: 进行小波分层分解过程中的滤波器的脉冲响应信号, 只要获取这两个参数的数值便可以分级进行小波变换; i: 分解的层数; C_{i+1}(m), D_{i+1}(m) 分别代表信号在尺度 i 上的各个层次, 每层分别包含了对应的低频和高频的频带信息。随着 i 值的增加, 分辨率也不断的加强, 但不是越大越好, 需要选择合适的 i 值进行分解

由小波变换可知, 每进行一次分解, 数据量都减半; 即分解后形成的高频和低频的时间分辨率都降为原来的一半, 为了提高这些分辨率到初始信号的分辨率, 需要对信号进行重构, 算法公式如下:

$$C_j(m)=\sum_n C_{j+1}(n)h_0(m-2n)+\sum_n D_{j+1}(n)h_1(m-2n) \quad (k=0, 1\dots N-1) \quad (6)$$

如果对特定频率进行重构, 则将除这个频率外的

其他小波变换系数置为 0, 就得到了重构后的信息。

2 系统总体设计

城市天然气监控系统分为中心主站系统和监测分站系统两部分构成: 监测中心站主要由监测中心站服务器、GSM 无线通信模块、数据库系统及其应用软件组成; 远程监测分站主要由数据采集系统、传感设备、GSM 无线通信模块(TC35i)和分站计算机组成。监测中心通过 GSM 无线通信模块发布控制命令, 接收从各个监测分站采集的数据, 然后对数据按照一定格式进行分析、处理、存储和共享。编写的数据分析软件利用了改进的泄漏点计算方法和小波变换算法进行降噪, 并连接报警模块进行有效的报警和事故点的确认。远程监测分站则主要负责和数据采集系统进行通讯, 通过数据分析和处理能第一时间发现泄漏事故, 并将数据备份后发送给监测中心进行泄漏点的确认。系统总体结构如图 2 所示。

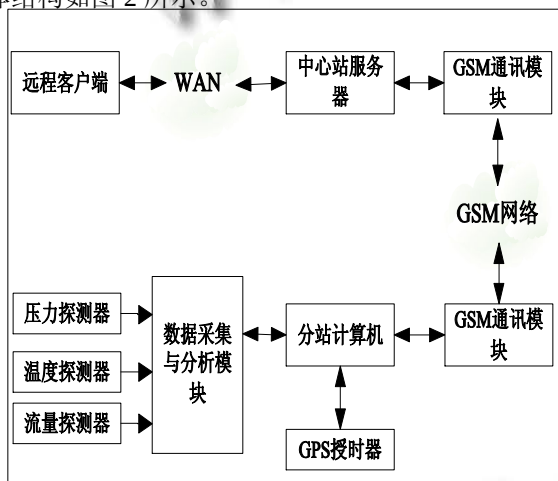


图2 天然气管道远程监控系统总体结构

3 系统各模块设计与实现

3.1 分站监控系统的设计

在整个系统中, 根据具体情况每隔一定距离便在天然气管道两侧设置分站, 负责采集从管道中的数据并进行保存。分站系统带有压力变化警示功能, 当气体泄漏造成气压变化时进行报警并将数据发送给主站, 由主站分析泄漏点位置。为了正确获取管道上、下游的传感器的时间差数据, 需要对各分站的系统时间校正。具体方法是通过全球卫星定位系统(GPS)不断输出含有标准时间脉冲和时间信息的数据流给各个分站系统, 同步各分站的系统时间。大部分的分站

所需要监测的管道线路分布在市区内, 可以获得连续的电力供应; 同时在分站中购置了UPS设备, 当电网供电出现间断时也能从管道中获取数据。

3.2 远程分站数据采集和处理系统硬件设计

通过管道中布设的传感器模块获取多种数据, 本系统的传感器模块集成了HM30和DS18B20等传感器, 分别进行监控区域的压力和温度数据的采集, 数据被应用程序调用前已经完成了A/D转换。计算机通过传感器的AI接口获取数据, 利用串口与GPRS模块进行链接。对放入的SIM卡芯片进行相应设置后, 依靠GSM通信协议进行数据的自动下载和上传, 同时该系统能对收发的信息进行加密和解密处理。数据采集和处理系统结构图如下所示。

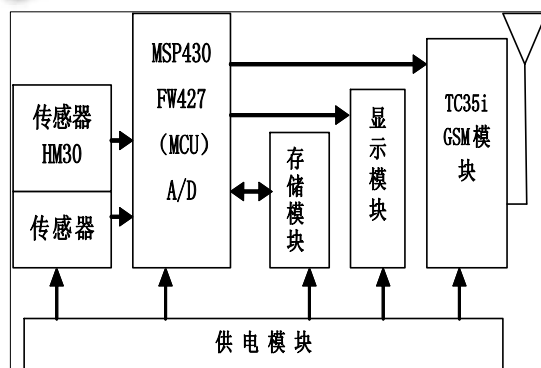


图3 数据采集与处理终端体系结构图

整个数据采集和处理系统主要由电源模块、MCU芯片、GSM无线模块、显示模块、传感器等几个部分构成。从传感器获取的气压和温度等数据通过放大滤波电路传输至MSP430FW427(MCU)模块, 并完成A/D运算转换。所有数据可以由MCU的显示模块进行显示, 从而直观地判断当前管道内的变压器的状态, 如果过负荷则需要人工干预。所有数据都由FLASHROM存储模块进行本地实时记录和保存, 同时数据通过TC35i模块经由GPRS网络传送给分站计算机, 当数据传送完毕则可将存储模块中的数据清空, 以便存储新的数据。

3.3 远程分站数据采集和处理系统软件设计

分站终端传感器数据采集、处理系统的主要功能是对管道的气压、温度等信息进行采样, 通过MSP430FW427芯片组进行A/D转换和计算, 将本地数据进行备份后发送给分站计算机, 实现状态采集、判断及故障信息发送功能^[7]。监测终端软件包

括系统的初始化模块、数据采集及 A/D 转换模块、数据存储模块、实时时钟处理模块、显示驱动模块和无线通信模块等。分站数据采集、处理系统流程如下图所示。

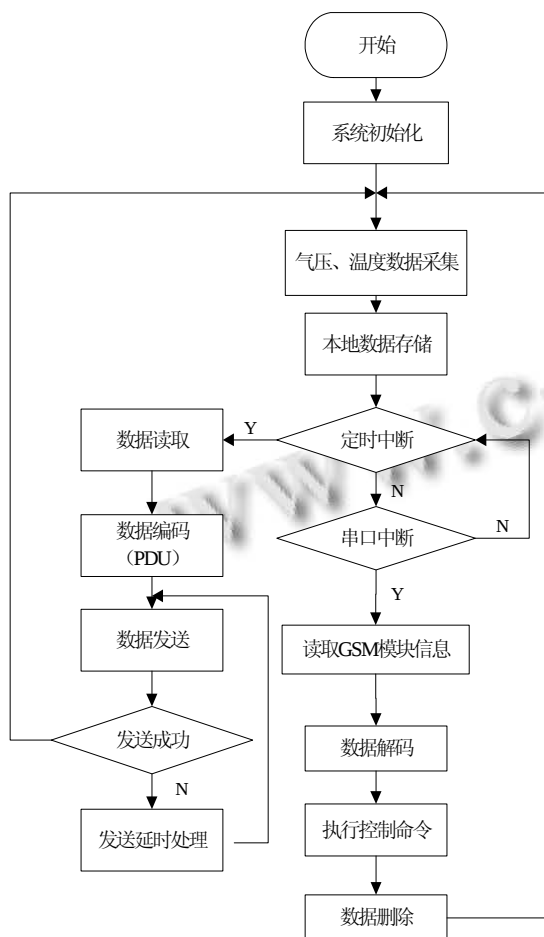


图 4 分站数据采集和处理系统程序设计流程图

3.4 系统通讯模块硬件设计

分站和主站通过 GSM 模块进行远程数据的交换。首先激活 TC35i, 初始化 TC35i 时设置定时器时间为 6 秒。当完成芯片自检并激活后, 插入 SIM 卡并检查运营商, 从而完成与主控端的数据交换, 发送和接收, 计算机与 TC35i 模块的数据交换图如下。

通讯过程通过使用 AT 指令集进行控制, AT 指令集控制终端设备向终端适配器或数据电路终端设备发送数据。通过 AT 指令可以进行呼叫、短信、电话本、数据业务、传真等方面的控制^[8]。数据的交互使用的是 PDU Mode, 该模式可以使用任何字符集, 这也是 GSM 数据交互默认的编码方式。

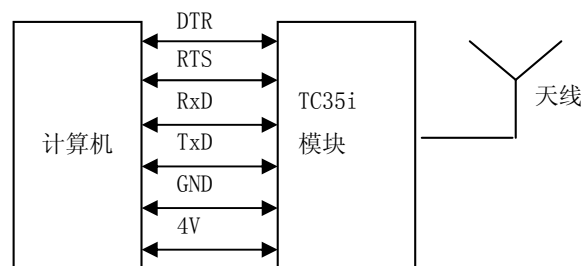


图 5 计算机与 TC35i GSM 模块通讯原理图

3.5 系统通讯模块软件设计

1) 初始化: 首先检验计算机与 GSM 模块的连接是否正确, 然后要对 SIM 卡进行初始化处理, 否则在 SIM 卡满后新收到的信息将被丢弃^[9]。

a) 确定 TC35i 模块通过串口与计算机正常连接。利用模块自带 RS232 串口线将模块与计算机相连, 设置端口参数包括: 波特率=4800、无需奇偶校验位、8 位数据位、停止位=1, 其余为默认设置。

b) 通过 AT 命令测试软件连接是否成功。在命令窗口中直接输入“AT”命令并回车, 当返回结果为“OK”, 表明模块能够正常工作。

c) 初始化设置。设置 AT+CMGF=0, 确定数据通讯采用 PDU 编码模式。为了更好的进行通讯, 将设置 AT+CFUN=1, 设置自动波特率 AT+IPR=0, 设置消息通知 AT+CNMI=2,1, 在检查完毕无可用信息在 SIM 卡中, 设置 AT+CMGD 命令, 删除 SIM 卡内存的消息从而完成初始化。

2) 数据通讯设置。通信交互则采用传统的底层语言和中断方式。这样不论在什么样的系统平台都可接收计算机发送过来的信息。在数据通讯过程中, 首先设置消息中心, 使用 AT+CSCA 实现, 格式为 AT+CSCA=消息中心号码; 然后设置消息发送格式: AT+CMGF=1 这里 1 代表 TEXT 格式, 0 代表 PDU 格式。TC35i 模块可设置消息到达自动提示, 当短消息被接收, 将获取指令: +CMTI:“SM”,INDEX(信息存储位置)。

在读取信息过程中, 返回的提示信息为 AT+CMGR: N+CMGR: 0,0 OK, 代表返回的第 N 条信息为空。如有新的短消息来到, TC35i 模块将自动返回下列提示: +CMTI:“SM”,AT+CMGR=N+CMGR: “REC UNREAD”, 表示第 N 条信息未读。最后可用使用 AT+CMGD 命令删除信息, 如果返回 AT+CMGD=N

OK, 即代表 N 条信息删除成功。

4 主站中心系统设计与实现

4.1 中心服务器端系统设计

中心服务器采用 uCLinux 作为平台核心, uCLinux 具有良好的可移植性和稳定性, 并支持数据的快速处理和具有强大的网络功能。基于 uCLinux 平台配置了嵌入式的 WEB 服务器和可信的网络通讯协议。通过 WEB 服务器对天然气管道数据进行监控和处理, 利用动态 WEB 技术为客户机提供浏览和操作服务, 处理大量的网络任务。中心服务器与数据采集系统、客户端的交换过程如图 6 所示。

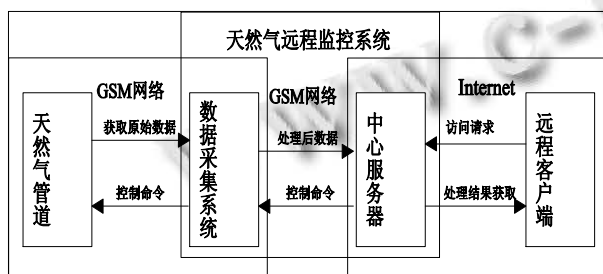


图 6 中心服务器数据交换系统图

4.2 服务器端通讯模块的设计与实现

系统采用 Visual Basic 语言实现分站与主站的数据通讯。在使用 Init_Click 函数对 TC35i GSM 模块进行初始化后, 需要用 Send_Click 函数进行控制信号的发送, 使双方建立可信链接。当接收端完成气压和温度等数据的获取和分析后, 根据具体情况将控制命令发送到分站计算机, 授权计算机采取相应的措施, 比如发现泄漏进行报警、自检等。

在初始过程中使用的 InitDevice 函数格式为 short InitDevice(short nPort, short nBaud, short nType); nPort : 串口号, nBaud: 波特率 (SIEMENS 模块 = 19200), nType: 0/1 (SIEMENS = 0)。最后建立事件函数 SmsEvent, 进行状态检测。

4.3 多用户远程客户端系统设计

为了提高监控系统的安全性, 本系统设计了多用户的认证服务。只有在远程的服务器中成功验证后, 才能进入主控界面。需要注意的是主控界面中的功能模块根据用户的权限不同, 所能使用的模块数量和级别是不一样的。该部分的系统流程设计如图 7 所示。

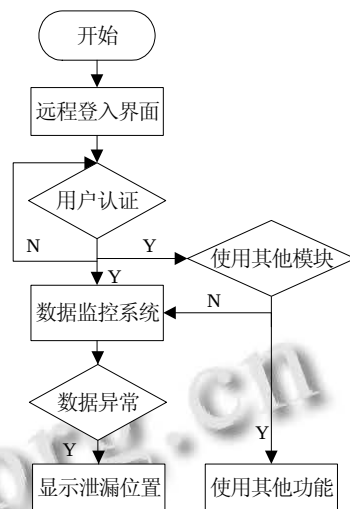


图 7 客户端系统模块程序设计流程图

当工作人员安全登入系统后, 可以远程对天然气管道进行实时监控和分析, 及时发现安全隐患并进行报警。系统还集成了历史数据的查询、监控参数设置、历史故障记录和分析、系统各设备的运行记录、数据存储打印等功能; 并预留扩展端口, 用于系统的升级, 适应不同环境下的作业要求。

5 结论

本文提出以传统的负压力波法的改进算法来计算天然气管道的泄漏点, 整个系统使用 Daubechies 波为小波基, 结合修正的 Mallat 快速小波算法对信号进行变换和重构, 从而达到较好的降噪目的。提高了系统检测泄漏点的灵敏度, 增加了泄漏点定位的准确性。

整个系统融合了无线通讯技术 (GSM)、PLC 技术、总线技术、CLinux 服务器、嵌入式 WEB 技术和 GPS 等技术, 实现了对天然气管道的远程监控、数据分析和处理等功能。系统使用嵌入式的服务器技术, 降低了处理器的占用率和处理难度, 简化了系统结构。整个系统可以方便的移植到手机、掌上电脑等移动终端, 使工作更加灵活有效。经过测试, 其可靠性、稳定性可以完全满足要求, 从而为城市天然气管道的有效监控管理提供新的方法、新思路, 具有良好的经济和社会价值。

参考文献

- 1 李衍, 强天鹏. 管道长距离超声导波检测新技术的特性和应

(下转第 54 页)

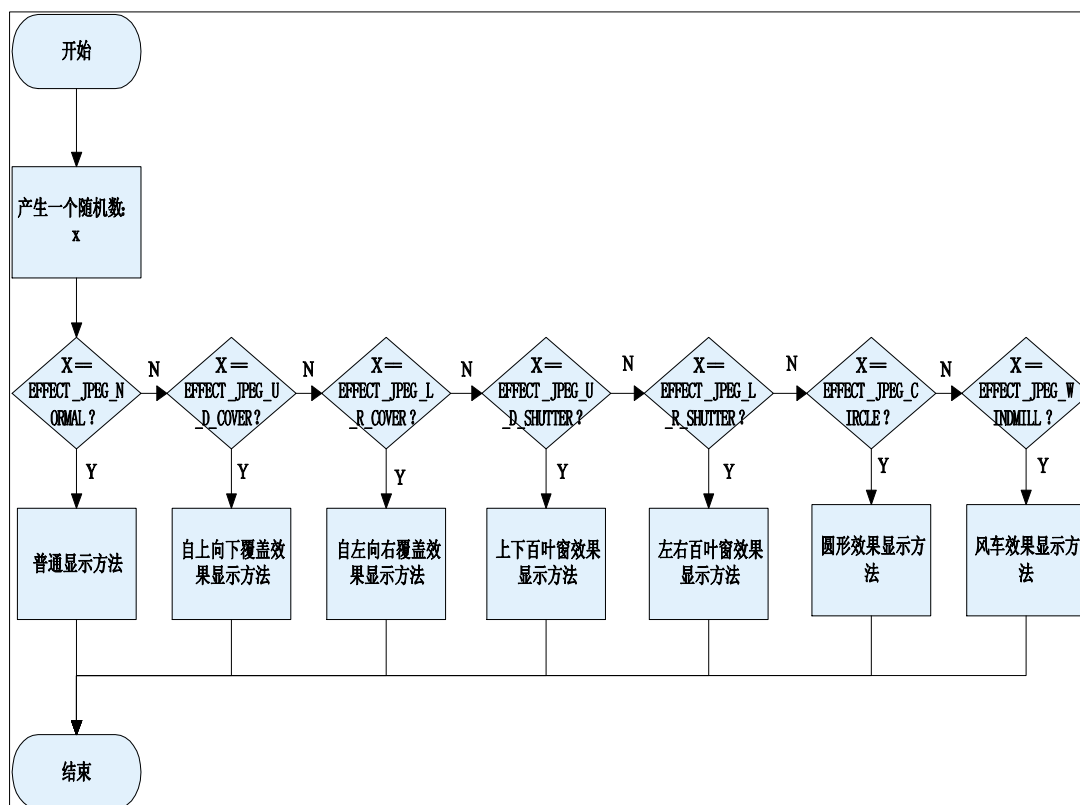


图 4 显示图片流程图

参考文献

1 储光,刘京南.基于嵌入式 ARM 的 LCD 图像显示系统设计.电子工程师,2007,8.

2 Sally. Linux 嵌入式系统高级程序设计.北京:人民邮电出版社,2010.

3 刘刚,赵剑川.Linux 系统移植.北京:清华大学出版社,2010.

(上接第 50 页)

用.无损探伤,2002,(4):1-4.

2 王微微,朱小倩,王平,樊尚春,任东顺.凝析天然气流量测量新方法.自动化仪表,2010,(8):36-40.

3 彭玉华.小波变换与工程应用.北京:科学出版社,2006.

4 Donoho DL, Kerkyacharian G, Picard D, Johnstone IM, et al. Density estimation by wavelet thresholding. The Annals of Statistics, 1996,24(2):508-538.

5 朱呈祥,邹云.基于小波分析的分数阶系统辨识信号降噪的变尺度阈值方法.计算机应用,2011,(2):543-547.

6 Daubechies I. Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets II. Variations on a Theme. SIAM Journal on Mathematical Analysis, 1993,24(2):520-527.

7 王莉,张浩.基于 Web 的现场总线控制系统的远程监控.上海电力学院学报,2008,24(1):35-38.

8 刘红.TC35 无线模块的数据传输实现.电信工程技术与标准化,2007,(3):61-63.

9 田丰,敦旭峰,孙小平,吕鸣.基于 TC35 的无线传感器网络远程监控系统.计算机工程,2008,(23):105-109.