

HART 协议在地震监测传感器网络系统中的定制应用

刘希未, 庞彦斌

(北京化工大学信息科学与技术学院, 北京 100029)

摘要: 简要对比了 HART 协议物理层与 RS-485、RS-232 标准。为了降低成本简化设计, 面向应用要求设计了一种定制式的传感器网络系统。该系统物理层采用 RS-485、RS-232 标准, 数据链路层和应用层参考了 HART 协议。传感器系统在分布式地震监测系统中得到了应用, 现场试运行证明这种面向应用的定制化设计简单可靠、应用方便。

关键词: HART; RS-485; RS-232; 传感器网络

中图分类号: TP212.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-1841(2003)08-0039-03

Customized Application of HART Protocol in Sensors Network System of Earthquake Monitoring

LIU Xi-wei PANG Yan-bin

(School of Info. Science & Tech., Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The physical layer specification of HART protocol and RS-485, RS-232 standards are contrasted briefly. In order to reduce the cost and simplify the design, a kind of customized sensors network system is designed based on the application. The physical layer of this system is based on the RS-485 and RS-232 standards; besides the data link layer and application layer are defined according to the HART protocol. The sensors system is applied in a distributing earthquake monitoring system, and the test run in situ indicates that the application-oriented customized design is simple, reliable and convenient.

Key Words: HART; RS-485; RS-232; Sensors Network

1 HART 协议物理层与 RS-485 和 RS-232

HART 协议物理层实现了将频移键控(FSK)交流小信号叠加到传统模拟仪表的 4~20 mA 电流环上。FSK 交流频率信号正负半波对称, 采用 1200 Hz 表示“1”, 2200 Hz 表示“0”^[1], 而来自现场的模拟信号一般不会超过 10 Hz, 所以两类信号可以共存而互不影响传输。完成 FSK 信号与 TTL 或者 CMOS 电平之间转换的器件被称作 HART 调制解调器。HART 设备间的通信结构框图如图 1 所示。

RS-485 标准最初由电子工业协会(EIA)于 1983 年制订并发布。RS-485 标准定义了一个基于单对平衡线的多点双向半双工通信链路, 是一种极为经济并具有相当高噪声抑制和宽共模范围的通信平台。由于 485 总线结构简单, 实现方便, 成本低, 便于维护, 在工业通信领域中得到了广泛的应用。

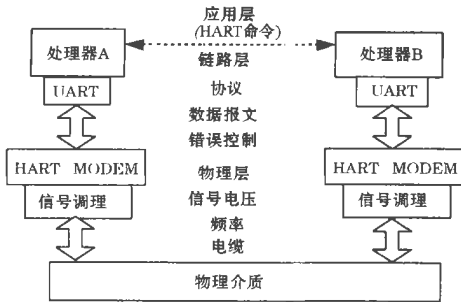


图 1 HART 设备通信框图

RS-232 的第一版制订时还没有提出 TTL 逻辑, 没有采用 5 V、低电平逻辑。高电平被定义为 +5~+15 V; 低电平被定义为 -5~-15 V。现在 RS-232 已经发展到了第 5 版 EIA/TIA-232-E, 定义了公共端、数据线、控制线、定时线。但是受到一些条件的限制, RS-232 多用于数据终端设备与数据通信设备之间的点到点连接。参照国际标准化组织开放系统互连(ISO/OSI)7 层结构模型, RS-485 和 RS-232 仅定义了物理层的一

部分功能, 所以一般应用于标准协议或自定义协议的物理层, 不能独立构成一个完整的通信网络。

在一些应用场合, 并不需要传统的 4~20 mA 两线制电流环结构。比如远程数据采集系统的终端设备, 往往不需要控制功能, 这时采用电流环就没有意义了。这样完全可以去掉调制解调器, 采用基带传输 HART 信号。实际上就是将图 1 中的 HART MODEM 和信号调理换成 485 或者 232 接口电路, 这样简化了仪表设计, 降低了成本。表 1 对比了 HART 物理层和 RS-485、RS-232, 可以看出它们在很多方面都比较相似, 采用 RS-485 或 RS-232 替代 HART 物理层对数据链路层来说是透明的。如果不考虑同 HART 协议的兼容, 还可以提高通信的波特率。

表 1 HART 物理层与 RS-485、RS-232 的比较

协议	HART 物理层	RS-485	RS-232
总线信号	FSK 频率信号	差分电压	单端电压
网络拓扑	总线型	带终端电阻的总线型	点到点
通信方式	半双工	半双工	全双工
最大负载	15 个现场设备	32 个单位负载(UL)	1 收 1 发
传输距离	1200 m	1500 m	15 m
物理介质	双绞线	双绞线	双绞线
通信速率	1200 bit/s	10 Mbit/s(100 kbit/s @1200 m)	20 kbit/s
接口电路	滤波整形电路 + MODEM	485 接口芯片	232 接口芯片
接线方式	两线	4 线	多种接法

2 分布式地震监测系统

目前对地震监测预报的方式有很多种, 国家地震局研制了基于地理信息系统(GIS)的地震分析预报系统 MapSIS。该系统主要完成对已获取地震信息的分析处理预报, 集成了大量已经成熟的地震理论分析方法。但是 MapSIS 不具备数据采集的功能。目前在山东省菏泽市地震局还存在机械记录仪加人工现场更换记录纸的数据采集方式。采用网络化分布式监测系统就能够明显地提高效率和精度。系统设计分析如下: 测量

对象是分布在该市地震活动频繁地带的 3 口地下水监测井。水井分布在该市不同的 3 个区县, 距离较远比较分散, 水井深几十到几百 m 不等, 口径 25 cm 左右。每口井都被严密密封在一间小房子内, 房子内提供电话线, 市电电源。被测参数: 监测水井的水温水位; 测量要求: 温度分辨率 0.001 °C, 精度 0.05 °C; 液位: 分辨率和精度 1 mm。数据采集速度要求: 最快 1 组数 / min, 用户可以自定义采集速度(分钟取值、小时取值、日均值、5 日均值、10 日均值、月均值等)。位于市地震局的主机通过 MODEM 接入公用电话网, 通过拨号与各个井口数据集中器通信, 呼叫数据、检查现场设备运行状态、进行简单的数据分析, 按用户要求将所采集的数据资料导入 MapGIS。用户拨号方式手动、定时自动拨号可选, 现场存储数据最大容量为 1 周。

监测网络系统可以从硬件上划分为 3 级结构: 顶层基于局域网(LAN)的 PC 机; 中间级数据集中器; 底层水井下智能传感器^[2]。考虑到测量的精度要求高和水井水位的变化范围小, 水位传感器放置于水下 10 m 深处, 温度传感器按照测量要求放置于水下 100 m 左右。为了提高测量精度避免传感器长引线带来的干扰, 两个水下传感器通过 485 总线实现与井口数据集中

中器的联网通信。井下传感器能够完成数据采集、数字滤波、自诊断、数据通信。数据集中器能够完成数据通信、曲线拟合及工程量标度变换、在线参数修改、人机界面、存储每分钟的温度水位数据, 与上位计算机通信。地震监测井现场就构成了一个可以独立工作的传感器网络系统。在电话线路故障、不通畅等不能利用 MODEM 顺利传输数据的特殊条件下, 为了保证数据不会被新采集到的数据“淹没”丢失, 必须能够应用便携式设备将现场转存数据送入上位机。仪表运行一段时间后, 还需要重新进行标定。温度和 水位传感器的测量是建立在分段曲线拟合的基础上的, 一共分 10 段, 每段都采用 2 阶曲线拟合。所以浮点运算程序使用了较多的参数。这要求能够有一个方便的参数编辑环境, 最好能够通过 PC 机编辑好数据利用便携式设备下载到数据集中器, 这一便携设备可以称为手持通信器。

3 定制现场传感器网络系统结构

根据要求, 监测现场不需要模拟控制功能, 一口水井只需要两个数据采集传感器, 完全可以采用 4 线制 RS-485 网络组建传感器网络。系统构成如图 2。

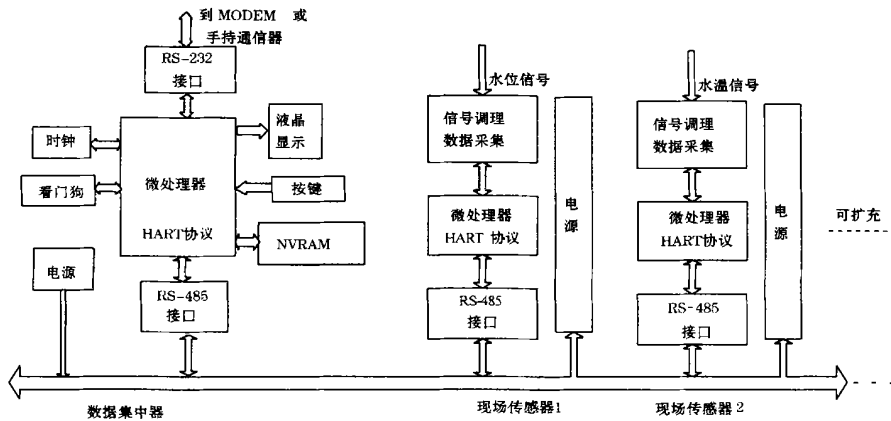


图 2 传感器网络构成

传感器网络采用主从式通信方式, 数据集中器为主设备, 井下传感器为从设备。主设备根据实时时钟进行任务调度, 每 3 min 发起一次通信, 轮询井下传感器数据和状态。数据通信波特率采用 1200 bit/s。定制协议硬件网络结构中引入了手持通信器, 这样就使得数据集中器和手持通信器本身承担了主设备和从设备的双重角色。手持通信器与数据集中器连结通信时, 数据集中器为从设备, 手持通信器为主设备, 数据集中器要响应手持通信器的数据呼叫和参数修改指令; PC 机接收数据或下载参数表时, 手持通信器为从设备, PC 机为主设备。它们之间的通信参照了 HART 协议的数据链路层和应用层的定义, 但是物理层为 RS-485 或 RS-232 标准。

HART 现场传感器为了满足 4~20 mA 的供电要求, 要把传感器总耗电降低至 3.5 mA 以下, 这往往是 HART 传感器设计的难点, 制约了传感器设计的器件和功能的选择。如果放弃模拟信号和总线供电, 利用 4 线制的接入方式, 就可以摆脱功耗的限制, 也便于扩充网络规模。

4 传感器网络协议软件实现

传感器网络协议软件按照 HART 协议编写, 包含数据链路层和应用层的实现。

参照 HART 链路层规定了网络数据帧的格式、传输规程、编码^[3]。定制协议的帧格式即一个通信报文的构成如表 2。两个连续的前导码紧接一个定界符就可以表示一帧的开始, 但是为了保证通信的可靠性, HART 协议一般要求有 5~20 个前

导码。定界符表示一帧数据的起始, 并且从该字节开始了纵向奇偶校验(“Longitudinal Parity”), 即按字节逻辑异或。为了简单方便, 定制协议采用了短地址的形式, 用一个字节表示设备的地址。数据集中器与井下传感器通信时, 地址字节高 4 位设置为 0, 一个网络最多可以接入 15 台现场设备。手持通信器与数据集中器通信时, 数据集中器地址字节高 4 位为 #1000B, 低 4 位表示水井编号; PC 机与手持通信器通信时, 手持通信器地址字节高 4 位为 #1100B, 低 4 位表示水井编号。命令字节表示主设备所要求执行的指令号码, 将在应用层描述对应指令的解释。2 个字节的 状态字只能在从设备的响应帧里, 描述了从设备对自身或通信网络故障的诊断结果。井下传感器每分钟采集 100 组 24 bit 的二进制数据, 同时完成带限幅的均值数字滤波。按照数据采集速度的要求, 每次呼叫数据响应帧数据段都要有 3 组数据。校验字节为纵向奇偶校验的结果。

表 2 定制协议的帧格式

报文构成	字节数	目的
前导码	2	同步和载波监听
定界符	1	同步, 指示帧起始
地址	1	从设备选择
命令	1	告诉从设备做什么
数据字节数	1	从该字节到校验字节之间有多少字节, 指示帧结束
状态	2(仅从设备)	从设备状态和通信状态(诊断结果)
数据	0~253	井下采集数据(A/D 转换滤波)
校验和	1	差错控制(从定界符到数据逻辑异或)

字节编码,即 UART 发送字节的格式。定制协议完全按照 HART 协议制定,选用 51 系列单片机的通信方式 3。一个字节包含 11 位二进制数据:1 个开始位,8 个数据位,1 个奇偶校验位,1 个停止位。校验位也称为垂直奇偶校验(Vertical Parity)。

应用层定义了通信数据帧中的指令号码。定制协议编写了 2 个通用指令和 2 个专用指令。

1 号指令(#01H):读取 3 组被测变量的二进制数值。井口数据集中器通过实时时钟调度程序,每 3 min 发起一次对井下传感器的轮询数据呼叫。井下传感器将 3 组采集处理后的数据和通信前的传感器状态报警信息封装组成一帧。如果井下传感器采集数据异常或没能按时完成一定量的数据采集和滤波,状态字节包含报警数据 #FFFH 表示有异常,#0000H 表示采样正常。根据协议帧格式的定义,对温度传感器呼叫数据的帧可以表示为:#FFH #FFH #02H #01H #01H #00H #02H;正常数据响应帧:#FFH #06H #01H #01H #0BH #00H #00H #3 组 9 字节温度数据校验字节。对水位传感器呼叫数据命令帧表示为:#FFH #FFH #02H #02H #01H #00H #02H #01H;响应帧:#FFH #FFH #06H #02H #01H #14H #00H #00H #3 组 18 字节水位数据校验字节。

14 号指令(#0EH):用户通过数据集中器按键下达对井下传感器的诊断指令。井下传感器诊断包含:敏感器件诊断;模数转换(ADC)器件诊断;电源和运行诊断(运行监视器 WDT 经

常复位)。响应信息:状态字第一个字节为 #0EH,无故障第二个字节为 #00H,有故障第二个字节按上述故障编号:#01H~#03H。

PC 机、手持通信器和数据集中器之间通过专用指令通信。它们之间是通过 RS-232 接口实现点到点联系的。专用指令的发出者为手持通信器或 PC 机。

144 号指令(#90H):将数据集中器或手持通信器 NVRAM 内的有效数据全部取出。数据集中器内嵌了小型实时数据库的管理,通过指针可以搜寻最近一次 MODEM 通信数据传送完毕时刻和当前时刻的数据段范围。该指令导致数据集中器将这些数据分批传送到手持通信器的 NVRAM 内,同时不中断与井下传感器的定时数据轮询。PC 机读取数据指令号相同,编址方式不同,手持通信器将从现场收到的数据按照监测井编号分区存储。

160 号指令(#0A0H):标定参数表下载。数据集中器执行该指令完成对 NVRAM 内存的分段拟合参数的更新。这一更新也是分段完成的,同时不中断与井下传感器的数据轮询。手持通信器通过串行口与 PC 机连接,在 PC 机编辑的文本文件通过 VB 程序调入,PC 机发出本指令按监测井编号下载参数表到手持通信器 NVRAM 内的不同存储区。

数据集中器发送 1 号指令程序框图如图 3 其中在接收数据等待过程中都有超时判断处理程序。

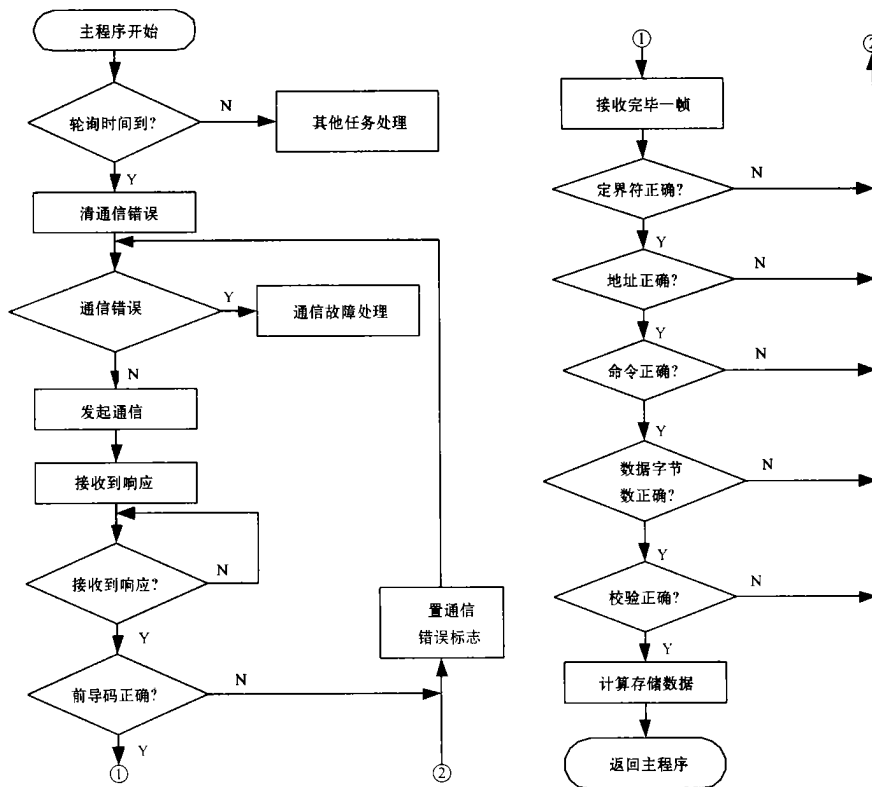


图 3 数据集中器 1 号指令执行框图

5 结束语

传感器的网络化、智能化、集成化、标准化是当代传感器技术的发展趋势,面向不同的应用就有不同的需求,不可能出现一种标准统一的应用。利用成熟的标准化技术组建定制型的传感器系统,有利于保证系统的可靠性,实现简单,方便灵活。希望这种面向应用的定制化设计方法能对类似系统的设计提供参考。

参考文献

- [1] HART Communication Foundation, The HART FSK Physical Layer Specification, 1996(7).
- [2] PANG Yb, LIU Xw. The Design of the Intelligent and Fieldbus Sensor for Measuring the Level and Temperature of the Water Well Monitoring Earthquake. SICE Annual Conference, August 2002, Osaka, Japan.
- [3] HART Communication Foundation, The HART SMART Communication Protocol; Data Link Layer Specification, 27th November, 1996.