

基于 Arduino 的便携式 IRIG-B (DC) 信号 监视系统的设计与实现

刘明波, 陈琳, 赵乾宏, 李生平

(中国卫星海上测控部, 江苏 江阴 214431)

摘要: 为了提高对时间统一系统 IRIG-B 码信号的监测效率, 需要一套自动监测系统; 本文结合某型号时间统一系统, 针对该时统设备输出的通用 IRIG-B (DC) 格式时间码, 介绍了一种基于 Arduino 的便携式 IRIG-B (DC) 信号监视系统的设计过程, 给出了以开放源代码硬件项目平台 Arduino 为核心构建的“输入控制+逻辑处理+数据处理+数据交互+数据存储+网络传输+实时显示”的系统硬件设计结构; 利用 Arduino 内高度集成的 AVR 二次编译封装库, 将复杂的逻辑控制和数据处理等底层的指令封装成简单实用的函数调用, 完成了整个系统的任务调度和管理, 实现了对时间统一系统 IRIG-B (DC) 信号的波形采集、数据分析、时间解调、状态监视、实时显示以及数据存储等功能; 测试结果表明, 系统设计简洁, 工作稳定可靠, 设计指标满足功能需求。

关键词: Arduino; IRIG-B (DC); SD; 实时显示; 网络

Design and Implement of Portable IRIG-B (DC) Signal Monitoring System Based on Arduino

Liu Mingbo, Chen Lin, Zhao Qianhong, Li Shengping

(China Satellite Maritime Tracking and Commanding Department, Jiangyin 214431, China)

Abstract: In order to improve the monitoring efficiency of IRIG-B code signal, a set of automatic monitoring system is needed. Aimed at the general IRIG-B (DC) format time code output from a certain model timing system, this article introduces the design process of the portable IRIG-B (DC) signal monitoring system, and puts forward the system design frame centered with Arduino of “input control+ logical control+ data processing+ data interactive+ data storage+ net transferring+ real-time displaying”. The system using the technology of highly integrated AVR second compiling packaging library embedded in Arduino, which makes low-level instructors including complicated logical control and data processing be packaged in simple function callings. It accomplishes the function of IRIG-B (DC) signal’s real-time acquisition, analysis and time decoding, status monitoring and data storage. Tests show that system works stably and is designed simple, satisfies the requirement.

Keywords: Arduino; IRIG-B (DC); SD; real-time display; net

0 引言

靶场时间统一系统是整个靶场协同工作的时间标准, 各种测量设备都要接收时统信号, 使自己的测量数据能够与其他设备“同步”起来, 因此, 时统信号的传输质量和传输状态是完成测量任务的关键^[1]。目前, 时统设备输出信号的状态监视主要是采用人员目视检查的方式, 存在人员疏漏导致故障现象“转瞬即逝”而不能及早发现并处理的隐患, 在设备的日常维护、指标测试以及应急处置过程中, 人员都是依靠目视检查示波器观察波形或查看用户终端解调时间的方式进行, 无法对信号传输的正确性和连续性进行实时检查, 特别是在故障应急处置过程中, 采用观察波形和目视检查的方式不能快速高效的定位故障。

随着现代电子技术的飞速发展, 从 PC 时代过渡到了以个人数字助理、手持个人电脑和信息家电为代表的 3C (计算机、通信、消费电子) 一体的后 PC 时代。后 PC 时代里, 便携式系统扮演了越来越重要的角色, 被广泛应用于设备监视、信息

电器、移动计算机设备、网络设备、工控仿真等领域。单片机技术以其低功耗、低电压、低价格以及多功能、高性能等突出优点, 为便携式系统设计提供了强大的硬件支持。但是, 单片机设计中各种复杂的寄存器操作也让很多的便携式系统设计者们望而生畏——要完成某项功能需要耗费大量的时间去熟悉单片机的底层。Arduino 的出现彻底改变了这一局面, 它将单片机中各种寄存器封装起来, 并提供了易用的接口、极其简洁的界面、C 语言编程方式、强大的第三方函数库支持^[2], 逐渐成为便携式系统设计的中坚力量。

1 系统概述

系统采用 Arduino 完成输入信号的采集, 包括模拟波形的采集和数字脉冲的采集, 由内置于 Arduino 硬件平台上的脉宽测量模块完成 IRIG-B 信号解调、AD 转换模块完成模拟波形的模数转换、液晶显示驱动模块完成波形和解调时间的实时显示、网络传输模块完成远程信息传输、SD 控制模块完成异常数据实时记录、I²C 传输模块完成多个 Arduino 板卡间的数据同步。由于系统设计中 AD 转换、信号解调和实时显示等功能模块对实时性要求较高, 因此, 系统设计中采用 3 个 Arduino 板卡, 分别完成 IRIG-B 信号波形采集和实时显示、IRIG-B 时间解调和实时显示、远程网络传输和 SD 卡数据存储等功

收稿日期:2015-12-14; 修回日期:2016-05-19。

作者简介:刘明波(1984-),男,河南兰考人,硕士,工程师,主要从事高速数字信号处理与应用方向的研究。

能。整个系统相当于一个 IRIG-B 信号监视服务器，系统整体设计如图 1 所示。

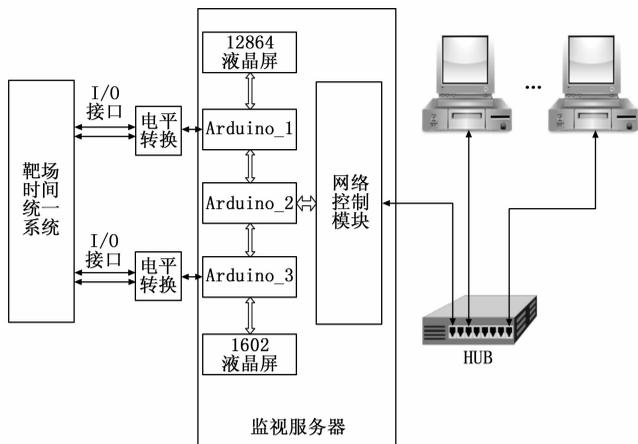


图 1 系统设计模型

靶场时间统一系统一般采用 IRIG-B 码进行时间信息的传输，考虑到信号传输距离和传输质量，常采用 RS422 电平标准，而 Arduino 只能接收 TTL 电平标准。因此，将 IRIG-B 码信号接入 Arduino 之前要进行电平转换，将 RS422 电平转换为 TTL 电平。图 1 中，Arduino_1 完成 IRIG-B 信号波形采集和实时显示，Arduino_3 完成 IRIG-B 信号解调、实时显示和异常报警，同时，Arduino_1 和 Arduino_3 将数据处理获取的信号周期、幅值、解调时间等信息通过 I²C 协议送给 Arduino_2，由 Arduino_2 汇总后进行分析，当出现异常时将异常信息及时记录在外置 SD 卡上，提供后续故障排查的依据，同时通过网络传输模块送给远程监控微机，监控微机根据获取到的数据信息判断时统信号状态。

整个系统由硬件和软件两部分组成。其中，系统硬件部分由电平转换模块、数据采集与处理模块、实时显示模块、网络传输和数据记录模块组成。电平转换模块完成输入信号的电平转换，使时统 IRIG-B 信号的电平标准能够适应 Arduino 输入电平标准；数据采集处理模块由三块 Arduino 板卡协调实现，主要完成 IRIG-B 信号波形的模数转换、波形参数提取、时间解调以及数据分析等功能；实时显示模块由两块 Arduino 板卡控制 LCD12864 和 LCD1602 两个液晶屏实现，主要完成信号波形、波形参数、解调时间和信号状态等参数的实时显示；网络传输和数据记录模块由一块 Arduino 板卡控制网络传输模块实现，完成相关参数和报警信息的实时传输和实时记录功能。以上模块的主要功能均由 Arduino 平台辅以外围器件完成，通过软件编程完成，大大简化了设计工作。

本设计的关键是如何在基于 AVR 指令集的 Arduino 平台上利用高度集成的底层驱动函数库完成各类逻辑控制和数据处理工作，实现对靶场时统信号的实时状态监视和异常报警功能。

2 系统硬件设计

硬件设计工作主要包括两个方面的内容：硬件平台的搭建和硬件功能的实现。

2.1 硬件平台的搭建

根据系统功能需求，系统主要实现 IRIG-B 信号监视服

务器的功能，进行信号采集分析、实时显示、实时记录和实时网络传输等工作。其基本结构如图 2 所示。

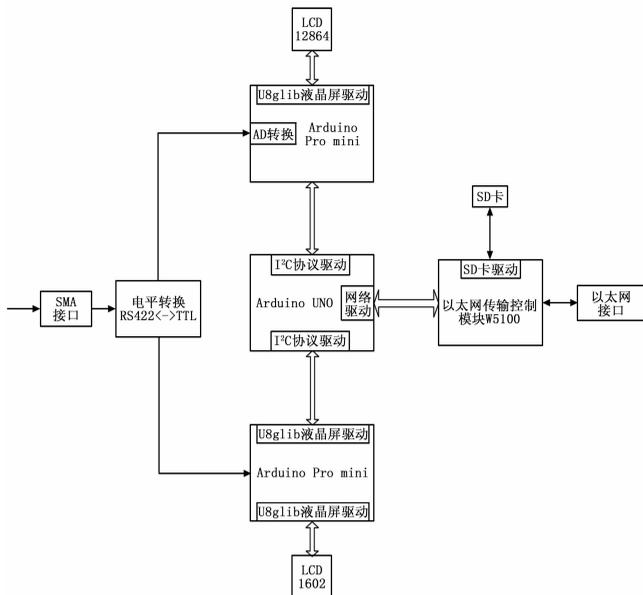


图 2 系统硬件基本结构图

图 2 中，由于 IRIG-B 信号为 RS422 电平，需要两根线缆进行传输，因此，SMA 接口内芯和表皮分别传输 RS422+ 和 RS422- 两个信号，由电平转换芯片完成转换后，分别送给两个 Arduino 模块；LCD12864 和 LCD1602 完成信号波形、解调时间以及特征参数、告警信息的实时显示；以太网接口和以太网控制器建立网络客户监视微机与 Arduino Pro mini 间的数据传输链路。

为了满足不同应用领域的要求，Arduino 设计了多款不同型号的电路板，如 UNO、Leonardo、Pro Mini、Duemilanove、Nano、BT、Fio 等^[3]。根据设计需求，本系统设计中信号采集和时间解调模块选择了 Arduino Pro Mini。与其他型号电路板相比，Arduino Pro Mini 具有较高的性价比，该型号电路板采用 16 MHz 晶振，AD 采样频率最高可达 1MHz，具有 14 个数字 I/O 口、6 个模拟 I/O 口，具有 2 路外部中断，提供串行、SPI 及 I²C 等多类低速通信协议^[4]。同时，Arduino Pro Mini 体积很小，约为 3.3 cm×1.7 cm，只有邮票大小，特别适合用于便携式系统的设计。

系统采用以太网的接入方式，因此必须实现 IEEE802.3 标准。其实现通常采用两种方案来执行该标准：可编程逻辑器件实现和专用接口模块实现。由于 IEEE802.3 标准的实现非常复杂，本系统设计中采用专用接口模块实现，设计者可以不用理会网络端接口部分，只需编程实现本地端的逻辑控制即可，用户可以将精力集中到应用设计，而不是调试复杂烦琐的 IEEE802.3 标准协议，明显缩短开发周期，提高设计可靠性。目前常用的 Arduino 网络数据传输解决方案主要有两种：ENC28J60 和 W5100。考虑到设计的复杂度和系统工作的可靠性，系统设计中采用 Arduino 官方推荐的“Android UNO+Arduino 专用网络扩展模块 W5100”实现，设计简单，工作稳定。同时，该模块提供了 SD 卡数据存取功能，系统设计中要求的异常数据存储功能也是基于此模块实现的。

IRIG-B 信号实时波形和解调时间的显示采用成熟的

LCD 技术实现。LCD 是一种功耗很低的显示设备, 以其优越的性能和宽泛的工作条件, 被广泛应用于数据显示领域^[5]。考虑到便携式设计对系统体积的要求, 分别采用 LCD12864 和 LCD1602 两种不同尺寸的点阵液晶显示模块, 既能够较清晰的完成所需信息的显示, 又能够尽量的减少自身体积。LCD12864 中前 100 列显示 IRIG-B 信号实时波形, 后 28 列显示波形的频率、幅值以及按钮调节参数等信息; LCD1602 的第一行显示 IRIG-B 信号实时解调时间, 第二行显示解调时间走时错误次数。根据两个液晶显示模块显示的信息, 使用人员可以大致的了解当前以及前一段时间内靶场时统设备 IRIG-B 输出信号质量, 当发现异常情况时, 可以查阅 SD 卡中存储数据查询详细信息。

2.2 硬件功能实现

在硬件平台搭建完成的基础上, 硬件功能的实现主要通过编写 Arduino 内部的配置程序来完成。主要包括 IRIG-B 波形信号采集与特征参数提取、IRIG-B 信号实时解调与走时状态分析、网络数据传输以及 Arduino 板间通信的实现。

2.2.1 IRIG-B 波形信号采集与特征参数提取

信号采集模块的实现主要有两种方式: (1) 专用 ADC 芯片 + Arduino; (2) 利用 Arduino 内部的 ADC 模块进行转换。第一种方式设计灵活, 但是实现电路较复杂, 能够实现较高采样率和采样位数的数模转换; 第二种方式结构简单, 容易实现, 但是采样率和采样位数都较小, 适用于对采样要求较低的情况。IRIG-B 信号可以近似看做为频率为 100 Hz 的脉冲信号, 而 Arduino 内部的 AD 转换模块的最高采样速率为 1 MHz, 采样位数为 10 位, 完全能够满足要求。因此, 本系统设计利用 Arduino 内部集成的 AD 转换模块完成 IRIG-B 波形信号的采集, 使用时只需要将信号接入 Arduino 的模拟输入端即可。

通过理论分析我们知道, 由于显示模块为 LCD12864, 横轴最多显示数据点数为 128 个, 因此, 在进行信号采集时, 每个采样周期只需采集 128 个点, 并根据其冒泡算法获取 128 个数据点中的最大值和最小值, 从而计算出 V_{pp} 值; 根据两次过零点间的时间间隔计算周期值。在实际程序设计过程中, 考虑到信号的同步触发功能, 一个周期内采集 192 个点, 从 192 个点中找出共同的起始点后, 只显示其中的 128 个点即可。

2.2.2 IRIG-B 信号实时解调与走时状态分析

如前所述, IRIG-B 码是每秒一帧的时间串码, 每个码元宽度为 10 ms, 一个时帧周期包括 100 个码元, 为脉宽编码。码元的“准时”参考点是其脉冲前沿, 时帧的参考标志由一个位置识别标志和相邻的参考码元组成, 其宽度为 8 ms; 每 10 个码元有一个位置识别标志: $P_1, P_2, P_3 \dots P_9, P_0$, 它们均为 8 ms 时宽; PR 为帧参考点; 二进制“1”和“0”的脉冲时宽分别为 5 ms 和 2 ms^[6]。IRIG-B 码帧结构如图 3 所示。

一个时间格式帧从帧参考标志开始, 因此连续两个 8 ms 宽脉冲表明秒的开始, 帧开始之后的 38 个码元 (不包含位置识别标志) 为有效数据, 天、时、分、秒信息位于其中的 30 个码元, 其中, 天的百位位于 36 至 37 码元, 天的十位位于 32 至 35 码元, 天的个位位于 27 至 30 码元, 时的十位位于 23 至 24 码元, 时的个位位于 18 至 21 码元, 分的十位位于 14 至 16 码元, 分的个位位于 9 至 12 码元, 秒的十位位于 6 至 8 码元, 秒的个位位于 1 至 4 码元。因此, 在进行时间解调的过程

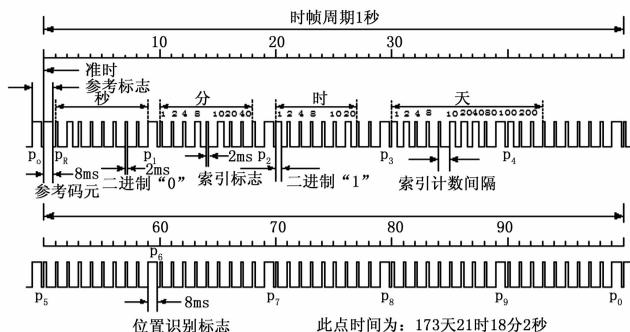


图 3 IRIG-B (DC) 时间码格式

中, 首先检测 2 个 8 ms 脉冲, 然后根据时间信息中天、时、分、秒所在的码元序号, 依次解调出相应的信息, 并按照一定的格式将百位、十位、个位信息进行整合计算, 得到完整的时间信息。

由于 B 码信号是以脉冲的时间宽度来代表二进制“0”、“1”和标志位的, 所以无论采取何种技术体制, 其关键点都在于码元时宽的正确识别。Arduino 提供了专门用于读取指定引脚脉冲宽度的函数, 可以精确 (精确到 1 us) 获取到脉冲高/低电平的持续时间, 并根据时间信息的码元分布规律依次解调出天、时、分、秒信息, 解调流程如图 4 所示。

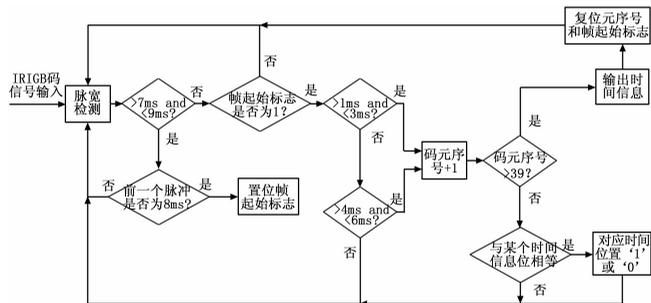


图 4 IRIG-B 信号时间解调流程

图 4 中, 脉宽检测是采用 Arduino 内置的脉宽计数函数 PulseIn () 进行的, 计数值为输入脉冲的高电平持续时间, 单位为微秒 (us), 当计数值大于 7 000 小于 9 000 时, 判定为 8 ms 码元, 当计数值大于 1 000 小于 3 000 时, 判定为 2 ms 码元, 当计数值大于 4 000 小于 6 000 时, 判定为 5 ms 脉宽。之所以将脉宽判定门限设定为“标准值 ± 1 000”, 主要是为了防止输入 IRIG-B 信号由于受到干扰等原因导致码元偶发变形而无法正确解调现象的发生, 该门限可以根据使用条件进行相应的调整。当检测到连续两个码元为 8 ms 脉宽时, 系统置位帧起始标志, 后续根据码元序号值依次判定对应时间位的脉宽为 5 ms 或 2 ms, 并置位或复位对应的时间位, 判定过程中将直接忽略 8 ms 脉宽的位置识别标志。当识别出足够的时间信息后 (码元序号 > 39), 系统将锁存该时间信息, 送给实时显示模块和网络传输模块, 并复位相应的标志位, 进行下一帧数据的识别判定工作。

同时, 在完成一帧数据的解调后, 系统将当前帧的解调时间与上一帧解调时间进行比对, 若不连续则置位报警标志位, 送实时显示模块和网络传输模块, 并在本地进行声光报警。

2.2.3 网络数据传输

网络数据传输功能的实现是由 Arduino UNO 模块与以太

网扩展板 W5100 协调完成的。Arduino Ethernet W5100 以太网扩展板上的 W5100 是一款多功能的单片网络接口芯片，内部集成有 10/100 Mbps 以太网控制器，包含 TCP/UDP 的网络 (IP) 协议栈，可以实现没有操作系统的网络连接，它和 Arduino UNO 采用 SPI 的方式通信^[7]。

Arduino UNO 利用捆绑在其内部的 Ethernet 库完成与以太网扩展板 W5100 的配置和协议传输工作。系统加电启动时，Arduino 向 W5100 发送 IP 地址、子网掩码、默认网关等网络参数，控制 W5100 芯片完成寄存器的初始化，随后 W5100 启动 Server 服务，进入数据收发等待状态。当接收到监视微机发送的客户端连接请求时，及时进行连接确认。当 Arduino 检测到以太网扩展板的 Server 服务有客户端连接时，通过 SPI 总线逐位将待发送数据传输到扩展板 W5100 的数据发送缓存中，由 W5100 根据 IEEE802.3 标准，将缓存的数据和数据帧信息进行 MAC 组帧，并发送出去。图 5 为 Arduino 调度下的网络传输任务处理流程。

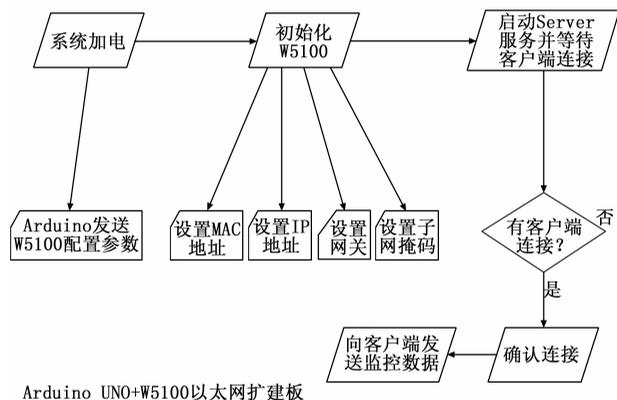


图 5 网络传输任务处理流程

另外，W5100 以太网扩展板上集成有 microSD 卡槽，Arduino UNO 可以利用内置的 SD 库进行 SD 卡文件的读取和存储操作。有一点需要说明的是，由于 W5100 芯片和 SD 卡都要通过 SPI 总线与 Arduino UNO 通信，而 Arduino UNO 板上的 SPI 引脚固定为 11、12、13 号引脚，10 号引脚用于选通 W5100 芯片，4 号引脚用于选通 SD 卡，因此同一时刻只能激活一个，在实际使用过程中交替选通 10 号和 4 号引脚，可以同时完成网络传输和 SD 卡数据存储功能。

2.2.4 Arduino 板间通信

系统设计中，波形采集板 Arduino Pro Mini 要将信号波形特征参数传送给远程监视微机，时间解调板要将解调时间信息和报警信息传送给远程监视微机，因此，要实现 Arduino Pro Mini 模块和 Arduino UNO 模块间的数据通信。

目前，串口协议、SPI、I²C 以及自定义协议均可应用于板间低速数据传输。综合分析 Arduino 模块和各协议标准特点，选择 I²C 作为 Arduino 板间通信标准。I²C 在低速数据通信中具有明显的优点：只需要两路信号接口，可以连接多个设备，并且数据发送接收的过程可以经过确认，确保数据传输的可靠传输，特别适用于不需要发送大量数据的场合。本系统中，波形采集板向网络控制板发送的特征参数主要包括峰峰值和周期值供 16 bit 数据，时间解调板向网络控制板发送的时间

信息和报警信息共 32bit，发送频率均为 1 Hz，数据量很小，因此，使用 I²C 标准完全能够满足要求。

根据标准规定，I²C 采用两线制，由数据线 SDA 和时钟线 SCL 构成，为同步传输总线结构，数据传输采用主从方式。为了控制方便，本系统设计中网络控制板 Arduino UNO 作为主控制器，波形采集板 Arduino Pro Mini 和时间解调板 Arduino Pro Mini 作为被控制器，其电路连接关系如图 6 所示。

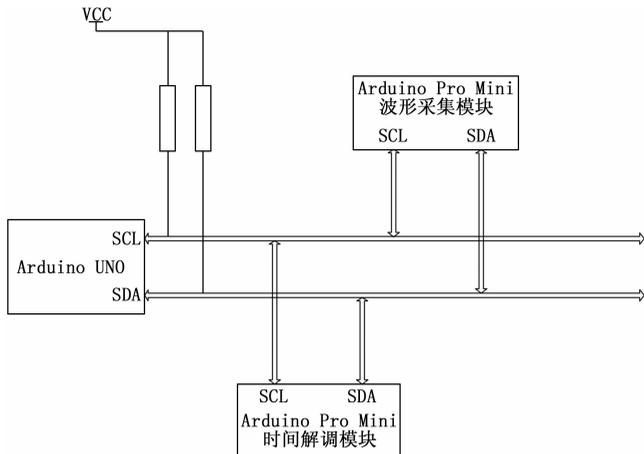


图 6 Arduino 板间通信电路连接关系

Arduino 利用内置 Wire 库进行 I²C 数据传输。图 7 中，Arduino UNO 作为主机，连接两个 Arduino Pro Mini 作为从机，并设置从机通信地址分别为 0xAE 和 0xAF，为了防止数据传输发生冲突，数据传输过程两个从机模块采用“一主一被”的方式进行，即时间解调模块每隔 1 秒主动向主机发送一次时间信息和报警信息，而波形采集模块则采用被动上报的方式，由主机每隔 1 秒发送一次数据查询命令后才进行数据上报。

3 系统软件设计

应用软件是系统的数据处理与显示终端，运行于远程监视微机上，主要完成与服务器的网络连接和数据传输功能，方便用户对靶场时统设备 IRIG-B 信号质量和主要参数进行实时监视，并提供异常告警功能。

软件设计为工作于 Microsoft Windows2000/XP 操作系统的独立应用程序，具有灵活的操作方式和友好的人机界面。采用 NI 公司的虚拟仪器编程语言 LabWindows/CVI，该软件不仅具有友好、丰富的界面编辑方式，而且附加了各种软件开发包，如数据库软件包、Internet 软件包、数据分析软件包等，利用 LabWindows/CVI 开发监测软件可以获得意想不到的方便，大大节省开发时间，增强了软件的性能^[8]。

本系统客户端软件设计使用 LabWindows/CVI 的 TCP/IP 开发包，在 Arduino Server 服务器启动之后，通过 IP 地址和监听端口号与其进行网络连接，完成设备的远程监控功能。该系统主要完成对某型号时间统一系统输出 IRIG-B (DC) 信号主要参数的实时监视和异常报警，并提供数据记录功能。

4 系统测试与应用

系统主要完成靶场某型号时间统一系统输出 IRIG-B 信号状态的本地和远程实时监视功能，为了检验系统设计的可靠
(下转第 121 页)