

基于开关矩阵的卫星通信测控站多路频谱监测系统设计

贾 帅, 张永波

(延安大学 物理与电子信息学院, 陕西 延安 716000)

摘要: 针对目前人工监测方法受到干扰信号影响而导致监测精度低的问题, 提出了基于开关矩阵的卫星通信测控站多路频谱监测系统设计; 设计监测系统总体结构, 通过接入基带上行中频信号, 获取遥控信号频谱, 采用 USB 接口将计算机与频谱分析仪连接, 实现频谱分析器下的四个下行载波信号分时显示, 利用串行 EEPROM 器件, 内集成总线为双线串行进行数据传输, 选用 MAX3232 芯片进行电平转换, 运用视窗 2000 作为载体, 实现 PC 机与频谱仪之间交互, 分析发射信号、传输信号延时时间和其对应的时间差, 利用开关矩阵控制干扰信号, 设计基于开关矩阵的多路频谱监测系统软件流程, 实现多路频谱监测控制; 实验结果表明, 该系统监测信号强度与实际值偏差较小, 监测精度较高, 能够实现卫星通信信号高效监测。

关键词: 开关矩阵; 卫星通信; 测控站; 多路频谱; 监测系统

WDesign of Multi-channel Spectrum Monitoring System for Satellite Communication Observation and Control Station Based on Switch Matrix

Jia Shuai, Zhang Yongbo

(School of Physics and Electronic Information, Shaanxi Yan'an University, Yan'an 716000, China)

Abstract: Aiming at the problem that the current manual monitoring method is affected by the interference signal and the monitoring accuracy is low, the design of a multi-channel spectrum monitoring system for satellite communication measurement and control station based on the switch matrix is proposed. Design the overall structure of the monitoring system, obtain the remote control signal spectrum by accessing the baseband uplink intermediate frequency signal, and use the USB interface to connect the computer with the spectrum analyzer to realize the time-sharing display of the four downlink carrier signals under the spectrum analyzer. Using serial EEPROM devices, the internal integrated bus is two-wire serial for data transmission, MAX3232 chip is selected for level conversion, and Windows 2000 is used as the carrier to realize the interaction between PC and spectrum analyzer. Analyze the transmission signal, the delay time of the transmission signal and the corresponding time difference, use the switch matrix to control the interference signal, and design the software process of the multi-channel spectrum monitoring system based on the switch matrix to realize the multi-channel spectrum monitoring control. The experimental results show that the system has a small deviation between the monitoring signal strength and the actual value, and the monitoring accuracy is high, which can realize the efficient monitoring of satellite communication signals.

Keywords: switch matrix; satellite communication; measurement and control station; multi-channel frequency spectrum; monitoring system

0 引言

卫星是指以卫星为中继站, 在多个地面站间转发无线电信号。在对卫星进行跟踪时, 测控站天线跟踪是否良好, 直接影响到测控站能否正常接收及发送遥测信号和遥控信号^[1]。在卫星发射阶段, 测控站的天线系统需要连续跟踪卫星, 此时, 卫星仍在传输轨道中运行, 卫星姿态和跟踪信号均不稳定^[2]。该方法根据下行中频信号频谱的监测状态, 确定天线跟踪情况, 依据跟踪情况相应地实时调整地面站配置, 以完成连续跟踪卫星的任务, 并预先检测卫星的干扰信号, 相应地采取紧急措施, 最大程度地消除干扰

信号的影响。基于人工监测频谱方法是由操作者完成频谱分析仪的安装, 电缆的连接, 配置频谱分析仪的参数, 并在需要时监测频谱。人工方式实时性差, 不能有效地记录和分析频谱数据, 并且自动频谱监测和处理方法不足。针对上述问题, 设计了基于开关矩阵的卫星通信测控站多路频谱监测系统。

1 系统总体结构设计

在卫星发射阶段, 一般需要利用两台频谱分析仪实现卫星信号的监测, 并依据卫星信号的大小, 判断天线的旋转方向。为了节省成本系统不再使用多个频谱分析仪监测每个信号, 而采用中频切换矩阵监测多个频谱^[3]。监测的中频信号主要由各天线变频器输出和测试的中频信号组成, 并根据需要临时接线。在卫星通信测控站中, 检测中频信

收稿日期:2020-09-28; 修回日期:2020-10-16。

作者简介:贾 帅(1997-),男,陕西宝鸡人,主要从事移动通信方向的研究。

号主要是通过接入基带上行中频信号来获取遥控信号频谱。系统的总体结构如图 1 所示。

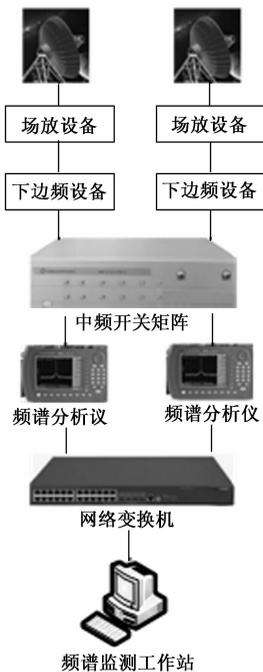


图 1 系统的总体结构

该系统包括频谱监测工作站、频谱分析仪、中频开关矩阵、射频设备以及中频设备等。

1) 场效应管放大器: 场效应管放大器放大后的微弱信号由天线接收, 噪声系数很小。

2) 低频率转换装置: 将场放大器输出的射频信号转换成中频信号, 并在一定范围内放大。反相器的输出信号分支到另一个中频信号, 并与中频开关矩阵通过电缆相连。

3) 开关矩阵: 主要是选择多个输入信号, 并将两个输出端口分别连接频谱分析仪。

4) 光谱仪: 主要是将复杂的光分解为光谱线。由于光谱分析器能够覆盖中频波段, 因此, 选择了 rigole-dsa800 中频数字频谱分析仪, 它的频率范围是 9 千赫到 1 千赫, 最小分辨率的 5 GHz 带宽和 100 Hz 的视频带宽。

(5) 光谱监控工作站: 是在工作站中利用光谱进行监控的软件, 该工作站属于 Windows XP 操作系统, 通过网络或 upi-usb 适配器与频谱分析器相连^[4]。建立频谱监控系统后, 用户只需运用工作站中的光谱监控软件, 选择 IF 信号 n5 就可以开始频谱监测了。

2 系统硬件结构设计

图 2 是卫星通信多载波综合监测管理系统的硬件组成框图。

如图 2 所示, 卫星监测站有两个天线, C 波段和 Ku 波段, 每一个天线都能接收正、负极化双向信号, 有 CA、CB、Ku-A、Ku-B 四个连接通道。通过低噪声放大器对载波信号进行变频放大, 再通过分配器分割, 将载波信号

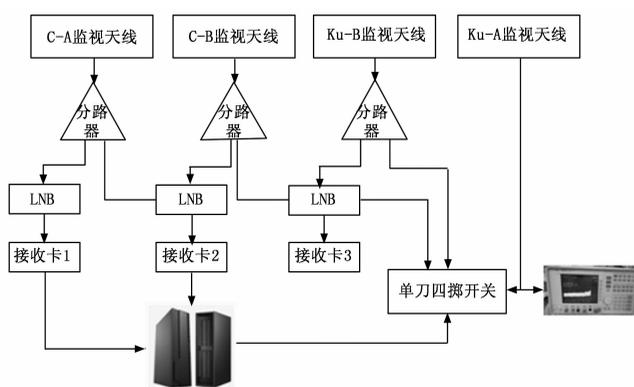


图 2 系统硬件结构

一路传送到电视监测和频谱分析仪进行频谱监测^[5]。AgilentN9320AC (L-band) 频谱分析仪, 通过 USB 接口与频谱分析仪和控制四个 L-band 信号的单极四投开关连接的计算机, 切换通过 RS232 接口连接到计算机。微机控制开关和频谱分析器, 实现频谱分析器下的四个下行载波信号分时显示。

2.1 存储器

单片计算机内部没有 ROM, 或虽有 ROM, 但在容量较小时, 需要扩展外部程序存储器, 以便于设计工作。因为选择的单片机只有 8 K 闪存, RAM 容量是 512 字节, EEPROM 是 2 K, 所以需要扩展外接程序存储器, 系统外接存储器芯片选择 24C64 型。

常用的 EEPROM 可以分为并行 EEPROM 和串行 EEPROM, 虽然并行 EEPROM 器件读写速度快, 但需要使用大量电路引脚, 使用方便。串行 EEPROM 器件与上并行 EEPROM 器件具有基本相同的功能, 能够提供较少的电压、较小的封装、较低的电压和功耗, 成为最灵活的非易失性存储器^[6]。在 24C64 中 C 后面的数字表示芯片的存储容量, 64 表示存储位是 64 k, 也就是能够存储 8 k (即 8 192) 字节, 支持 1.8 到 5 V 供电, 可以重写百万次。

内部集成总线为双线串行, 只需两条时钟线和两条数据线就可以进行数据传输。该方案仅需占用微处理器的两个 I/O 接口, 实现了完全的双工同步。资料传送, 使用十分方便, 还可以将 I²C 总线连接到同一总线上的多个设备, 每个设备可以有自己的设备地址。当执行读写操作时, 需要先发送设备地址, 确认后再执行相应的操作^[7]。在同一个总线上其他设备没有响应, 这一过程称为设备编址。本设计中采用不同用户间通话原理, 24C64 总线通过 I2C 总线与单片机通讯。图 3 是 24C64 芯片的电路结构图, SCL 和 SDK 的管脚需要与上拉电阻连接。

引脚 A0-A2 主要是设置芯片的设备地址。假如同一总线上存在多个设备, 那么可以通过设置 A0-A2 引脚判断设备地址。由于只有一台设备, 所以三根针都接地。SCL 管脚是设备的一个串行同步时钟信号。在微控制器系统中使用时, SCL 引脚应由微控制器控制。根据程序要求, 微控制器产生串行同步时钟信号, 实现总线访问控制。SDA

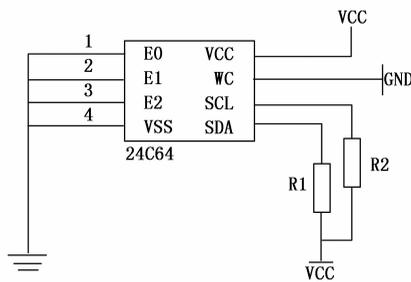


图 3 24C64 芯片电路连接图

是串行数据引脚, 主要作用是在读写芯片时, 输入或输出数据以及地址。使用时必须使用拉力电阻, w_p pin 是一个写保护的 pin。当引脚连接到高电平时, 芯片的数据处于禁止写入数据的状态 (禁止地址段取决于每个芯片的详细信息)。在 WP pin 联机时, 当它与地面连接时, 芯片处于正常的读写状态。

程序不允许修改 EEPROM 中的数据, 因为电路需要正常使用^[8]。只有当维护设置时, 才能修改数据, 此时, 可以将 WP 跳线设置在电路中, 或使用微处理器控制 WP 跳线, 并且只能在特定的电路状态下更改数据。

2.2 RS232 串行接口

串口通信是计算机系统中一种常用的通讯机制, 串行通信的数据通过位传送。串行通信比以字节传输采用的传输线要少一些, 适合长距离通信。通过串行接口, 数据发送方将有一定规格的并行数据转换为二进制数据, 并对其进行排序, 按位顺序发送到传输线。该数据接收器的串行接口是逐个接收数据, 并把数据转换成并行数据, 供计算机或外部设备使用。S3C2440 有三个独立的 DART 控制器, 每一个都能在中断 (中断) 模式或 DMA 模式 (直接内存访问) 下工作, 这意味着当 CPU 和 DART 控制器传送数据时, 产生一个中断或 DMA 请求, DART 控制器就可以使用。每一个集成在 S3C2440 中的 DART 具有两个 64 字节的 FIFOs, 支持最大波特率为 230.4 kbps。选用 MAX3232 芯片进行电平转换, 其工作原理见图 4。

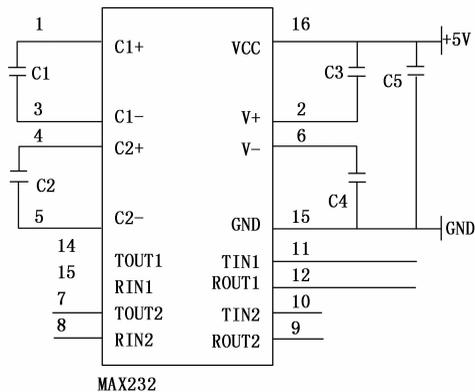


图 4 串口电平转换电路

实际上就是 RXD, TXD, GND。标准中定义的高低电平信号与 S3C2410 系统中定义的 TTL 电路中定义的高低电平信号是截然不同的。标准逻辑“1”对应着 2~3.3 V 电平, 标准逻辑“0”对应着 0~0.4 V 电平, RS-232-C 标准采用负逻辑, 标准逻辑“1”对应着 -5~15 V 电平, 标准逻辑“0”对应着 -5~+15 V 电平。很明显, 二者的通信必须通过信号电平转换。

2.3 频谱监测服务器

频谱分析仪是根据用户要求, 按照相应的要求, 对获得的数据进行处理而成, 可以在本地输出处理结果, 包括数据库中的显示、打印和存储。利用视窗 2000 作为载体, 在 VC++ 环境下调用 HP 接口功能, 可以在 PC 机上实现光谱监测软件, 完成计算机与光谱分析仪的交互。该系统由 GPIB 卡、专用连接电缆和通讯软件组成, 实现了 PC 机与频谱仪之间交互。

MS27103A 是一种多端口 RFID 监控平台, 可部署在需要使用多个天线覆盖更大频率范围的系统中。该显示器通常用于具有多个扇区、每个扇区有多个频率的手机基础设施设备^[9]。多种来源的干扰都会导致呼叫中断, 数据传输速度慢, 网络性能差。MS27103A 能对基站接收站 (BTS) 接收的信号进行监控, 便于识别和排除干扰。该监测器还能检测不需要的信号活动类型, 有效地确定干扰源的特征并对其进行定位。

3 软件部分设计

干扰信号指的是其本身信号的突然减少或增加, 或者是相邻干扰信号的出现, 或者是卫星在长期运行或早期轨道运行时, 低噪声功率的增加。利用开关矩阵对干扰信号进行控制。

开关矩阵是指开关量的行和列交叉排列, 用来切换输入输出的各种信号, 通常采用 $m \times n$ 矩阵结构, 即在多个输入条件下, 可能存在多个输出选项, 这是一个中继阵列, 有 m 个输入, n 个输出^[10]。选择一个或多个 m 信道, 在控制部分的控制下, 将信号输出到 n 信道的指定信道, 这意味着系统可以是一对一或多对一的输入和输出, 其主要功能是传送指定信号。

在自动接线监测系统中主要完成每个卫星通信测控站多路频谱信号对应于发射和传输两个延时时间, 设每条线路频谱监测编号为:

$$h_{i_1} (i = 1, 2, \dots, i, \dots, n) \quad (1)$$

发射信号延时时间为:

$$g_{i_1} (i = 1, 2, \dots, i, \dots, n) \quad (2)$$

传输信号延时时间为:

$$g_{i_2} (i = 1, 2, \dots, i, \dots, n) \quad (3)$$

发射信号延时时间对应的的时间差为:

$$t_{i_1} (i = 1, 2, \dots, i, \dots, n) \quad (4)$$

传输信号延时时间对应的的时间差为:

$$t_{i_2} (i = 1, 2, \dots, i, \dots, n) \quad (5)$$

基础的调试端口只需要完成最基本的串口通信功能,

监测系统中的开关矩阵编程数学表达式为:

$$\begin{bmatrix} t_{11} & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & t_{12} & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & t_{1i} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & t_{1n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_i \\ \vdots \\ h_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ \vdots \\ g_{1i} \\ \vdots \\ y_{1n} \end{bmatrix} \quad (6)$$

开关矩阵数学表达式为:

$$\begin{bmatrix} t_{21} & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & t_{22} & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & t_{2i} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & t_{2n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_i \\ \vdots \\ h_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{21} \\ g_{22} \\ \vdots \\ g_{2i} \\ \vdots \\ y_{2n} \end{bmatrix} \quad (7)$$

式 (6)、(7) 中: t_{1i} 、 t_{2i} 都是由监测系统上位机生成的。

基于该控制方案, 利用 plc 编程软件设计基于开关矩阵的多路频谱监测系统软件流程, 如图 5 所示。

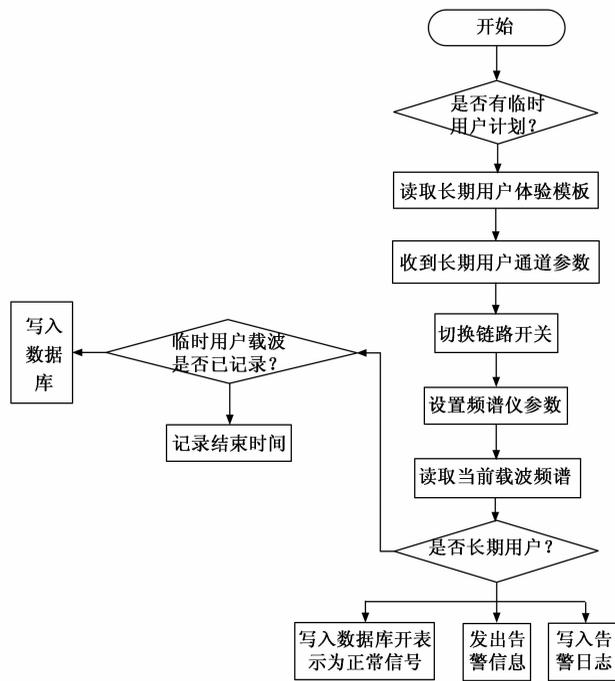


图 5 多路频谱监测系统软件流程

由图 5 可知, 利用 SW401-RS232 管脚单刀式四投开关组件, 根据开关矩阵中不同通道的选择, 实现了计算机与开关的串行通讯。对开关矩阵的控制是通过调用这些串口通信类和函数来完成的, 采用 VISA 技术, 通过 USB 接口控制频谱仪, 设置频谱仪的参数, 读取频谱信息。将上述步骤写入系统之中, 由此实现多路频谱监测控制。

4 实验结果与分析

为了验证基于开关矩阵的卫星通信测控站多路频谱监测系统设计的合理性, 进行实验验证分析。

4.1 实验平台设计

所有数据采集和处理计算机要求能力较强, 如果数据

处理量较大, 会给计算机负荷造成严重死机现象, 因此设计实验平台, 保证整个实验能在该平台下顺利进行。实验平台设计如图 6 所示。

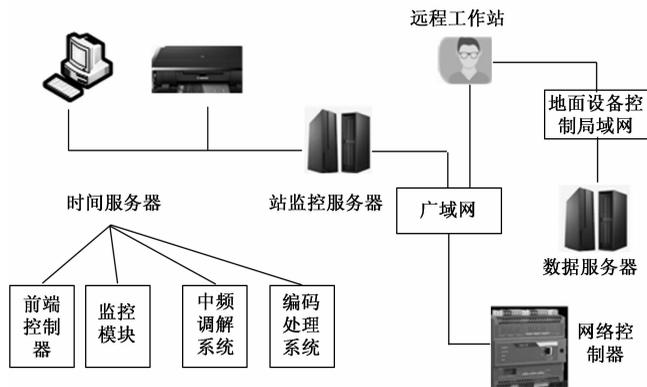


图 6 实验平台

在该实验平台下, 数据采集接口复杂, 集中在一起, 不会对实验过程造成任何干扰。

4.2 实验结果与分析

选择 RF1、RF2、RF3、RF4 四路射频输入端, 分别使用基于人工监测频谱监测系统和基于开关矩阵监测系统, 从这四路射频输入端处捕获监测信号, 如图 7 所示。

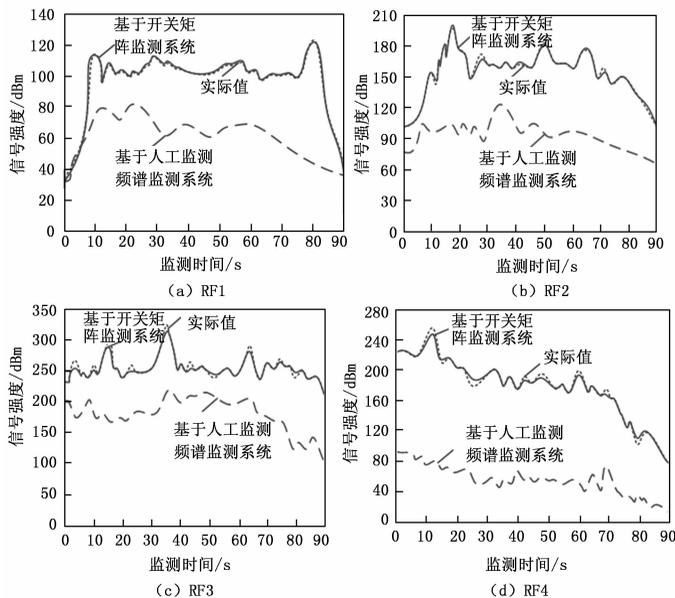


图 7 四路射频输入端捕获监测信号强度分析

1) RF1: 使用基于人工监测频谱监测系统在 90 s 监测时间内, 监测信号强度最高为 84 dBm, 最低为 32 dBm; 使用基于开关矩阵监测系统在 90 s 监测时间内, 监测信号强度最高为 125 dBm, 最低为 32 dBm, 与实际值基本一致。

2) RF2: 使用基于人工监测频谱监测系统在 90 s 监测时间内, 监测信号强度最高为 120 dBm, 最低为 62 dBm; 使用基于开关矩阵监测系统在 90 s 监测时间内, 监测信号