

doi: 10.7690/bgzdh.2018.04.004

一种无线总线桥相关应用软件

王正磊, 周新力, 刘传辉

(海军航空大学电子信息工程系, 山东 烟台 264001)

摘要: 针对系统引入无线总线桥后的应用软件具体需求, 提出一种无线总线桥相关应用软件设计方案。结合时间序列模型和事件触发模型, 设计底层 ARM 处理器固件程序; 运用套接字技术, 实现 WLAN 接口背景下符合 VXI-11 标准的仪器自动发现机制; 通过开发 VISA 管理库函数, 建立配套的系统仪器管理工具。经过验证: 该设计能实现多种机载设备总线接口、GPIB 仪器管理接口和 WLAN 接口的实时可靠操作, 有效简化了系统操作流程, 实现了在无线总线桥硬件机制下的仪器远控。

关键词: 无线总线桥; 分布式自动测试系统; 仪器自动发现机制; VISA 管理库函数; 系统仪器管理工具
中图分类号: TP319 **文献标志码:** A

A Related Application Software of WLAN-bus-bridge

Wang Zhenglei, Zhou Xinli, Liu Chuanhui

(Department of Electronic Information Engineering, Navy Aeronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: According to the specific needs of application software after the introduction of WLAN-bus-bridge in system, put forwards the related software design scheme of WLAN-bus-bridge. Combined with the time series model and event trigger model, the underlying ARM processor firmware was designed. In the background of WLAN interface, an instrument auto-discovery mechanism in line with the VXI-11 standard using socket technology was achieved. A series of system instrument management tools were established by developing VISA management library functions. The verification shows that the design can realize a real-time and reliable operation of a variety of airborne equipment bus interface, management interface and WLAN interface in GPIB instruments. The design can effectively simplify the system operation process, and realize the remote control in WLAN-bus-bridge hardware mechanism.

Keywords: WLAN-bus-bridge; distributed ATS; instrument auto-discovery mechanism; VISA management library function; system instrument management tool

0 引言

以分布式自动测试系统为代表的新型自动测试技术正在军事、工业等领域发挥着越来越重要的作用, 而无线总线桥作为其中的关键部分, 其硬件结构设计和配套应用软件开发有待进行研究。笔者旨在从无线总线桥功能需求出发, 设计一种无线总线桥配套应用软件。

1 无线总线桥软件整体结构

在分布式自动测试系统中, 无线总线桥是测控计算机、测试仪器和 UUT 之间进行信息交换的重要媒介, 能够同时替代无线路由器、GPIB 总线控制卡、1553B\429\232\422\485 总线接口卡等多个传统功能模块^[1], 是分布式自动测试系统的核心部分之一。为了保证无线总线桥正常发挥功能, 必须有配套软件的支持。所涉及的软件包括运行在无线总线桥嵌入式控制器上的固件应用程序,

装载在上层测控计算机中的驱动程序, 以及系统控制管理软件。

嵌入式控制器的固件应用程序开发, 关键是保证多种不同类型总线间数据交换的实时性和流畅性^[2], 通过将时间序列模型与事件触发模型相结合, 设计了系统的控制流程, 以保证系统运行状态; 无线总线桥作为一种 LXI 标准仪器, 需要具备符合 VXI-11 标准的仪器自动发现能力^[3], 开发中将采用套接字技术来实现; 无线总线桥提供了控制和管理 GPIB 总线接口的程控仪器的硬件支持, 而程控仪器现有的驱动程序是利用 VISA 规范函数编写的, 为了能够继续使用原有的驱动程序, 就必须开发相匹配的 VISA 驱动库, 才能实现在无线总线桥硬件机制下的仪器远控; 还需要开发系统管理工具, 对整个系统的仪器资源进行统一配置管理。无线总线桥软件整体结构如图 1 所示。

收稿日期: 2017-11-29; 修回日期: 2018-01-04

基金项目: 总装武器装备预研基金 (9140A24040714JB14387)

作者简介: 王正磊 (1992—), 男, 山东人, 硕士, 从事通信设备检测技术研究。

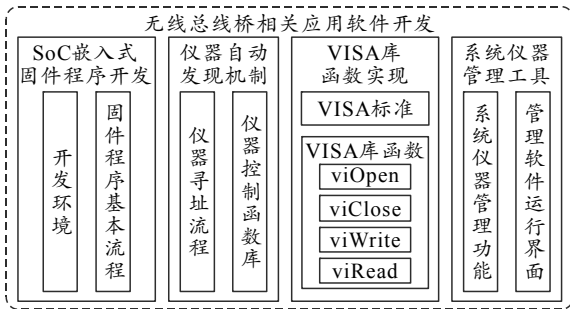


图 1 无线总线桥软件整体结构

2 SoC 嵌入式固件程序开发

2.1 程序开发环境

在无线总线桥的固件程序开发中，采用的 SoC 嵌入式程序开发环境是 Altera SoC 嵌入式设计套件 (embedded design suite, EDS)。SoC EDS 提供适用于 Altera 的 ARM Development Studio 5 (DS-5™) 工具包，ARM DS-5 高级多核调试功能与现场可编程门阵列 (field-programmable gate array, FPGA) 自适应功能相结合，可以无缝链接至 Altera 的 SignalTap™ 逻辑分析器^[4]，同时还有软/硬件切换、Linux 应用程序开发和固件程序开发等小工具，全芯片可视化，在开发过程中有效提高芯片控制能力，缩短开发周期。Altera SoC 嵌入式设计套件功能如图 2 所示。

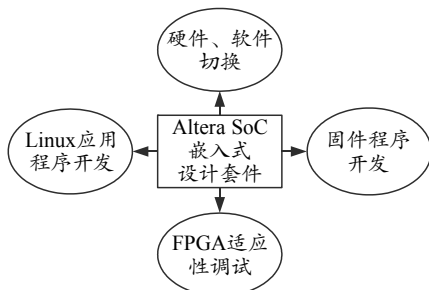


图 2 Altera SoC 嵌入式设计套件功能

2.2 程序基本流程

根据无线总线桥的功能规划，主要有 3 方面接口通信功能，即 WLAN 接口的通信与路由功能、GPIB 总线通信与管理功能、机载设备航空总线通信功能。在这三者之间还存在大量的数据交换，例如对仪器的控制信息，需要从 WLAN 接口传输至 GPIB 总线接口，来自机载设备航空总线的信息需要转换成 WLAN 接口才能传输到外部测控计算机上。为了实时处理上述复杂的大量不同接口不同协议的总线数据交换，不造成数据传输的阻塞和丢失，在固件程序开发上，笔者采用任务规划、数据缓冲等技术途径。SoC 嵌入式固件程序基本流程如

图 3。

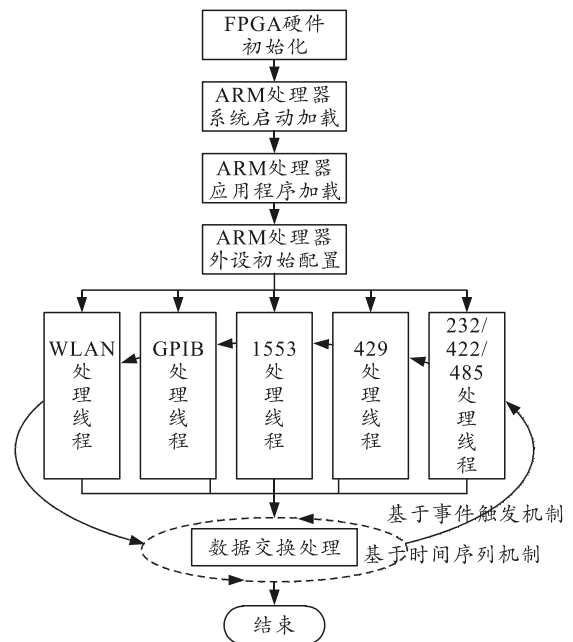


图 3 SoC 嵌入式固件程序基本流程

2.3 任务规划技术

按照时间序列模型的思路，对数据任务进行规划，划分成若干状态，构成一个软件层面的有限状态机，这个有限状态机的状态跳转主要受系统全局时钟和外部事件触发 2 个条件控制，因此这个有限状态机其实就属于米勒型有限状态机^[5]。它既能按照时间先后顺序，依次执行每个状态指定的任务，又能迅速响应外部事件触发，及时跳转到对应于该事件的状态，处理该事件任务。处理完成后，再根据事先规划好的状态序列，继续前面状态任务的执行或者是执行新的状态任务。时间序列模型如图 4。

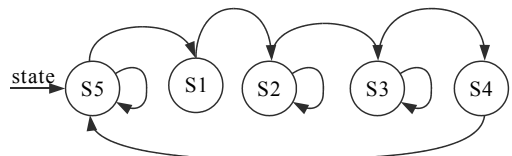


图 4 时间序列模型

在图 3 中，实线大圈代表的是程序建立的一个线程池，内有 6 条并行的线程，其中 5 条线程处理一种总线数据的收发，数据发送的过程主要按照时间序列模型循序发送，而数据接收的过程则利用事件触发机制以尽快响应数据接收。虚线小圈代表的是数据交换处理主线程，主要是依据时间序列模型。无线总线桥对其内部系统运行的控制采用了多线程技术进行任务分解。其中，主线程负责创建状态、定义状态和实现状态间转换，次线程负责运行对实时性有具体要求的系统任务^[6]。

2.4 数据缓冲技术

为了保障不同速率总线之间能够进行流畅的数据交换，避免因慢速总线造成数据阻塞，笔者专门采用了特殊的缓冲技术。基于缓存的基本思路，通过在外设间开辟缓存区域，暂时存放交互数据，以平衡各类型外设间差异明显的读取速度^[7]。笔者采用一种特殊数据结构，实现数据交换过程中的缓冲，这种数据结构基于环形队列算法的先进先出 (first in first out, FIFO) 原则，通过对数据建立先进先出的缓存机制，来实现不同速率数据流间的交换。环形队列算法的优点在于，不需要动态释放、分配内存，能够有效降低数据传输的阻塞和丢失的机率。环形队列算法原理如图 5 所示。

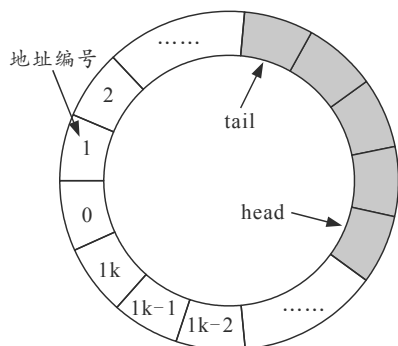


图 5 环形队列算法原理

建立高效易执行的模块化结构，通过分析程序功能，将其清晰划分为若干功能模块，功能模块间形成高聚合、低耦合的相互关系；预先估计写功能模块与读功能模块间读取速率不均匀的情况，均衡读写速度，保持状态稳定。既可以避免读速度小于写速度导致的模块响应时间增加，又可以避免写速度大于读速度导致的模块任务不均、有忙有闲的现象^[8]；采用隔离思想，科学划分读、写功能模块。既方便采用多线程技术实现不同线程并发执行，增强并行性任务处理能力，又结合环形队列算法动态调节缓冲区域，能动地调配资源协调任务执行。

3 仪器自动发现机制

无线总线桥具备 WLAN 接口，从本质上说是一台支持 LXI 总线协议的 LXI 标准仪器，只是在连接方式上采用了 WLAN 技术。LXI 总线规范规定了基于 VXI-11 协议的仪器发现技术。VXI-11 是为实现基于 ONC-RPC 的远程过程调用，而定义的一套网络仪器协议^[9]。利用这一先进的仪器发现技术，系统管理者可以自动找到网络设备，无需再进行人工配置。VXI-11 网络分层协议如图 6 所示。

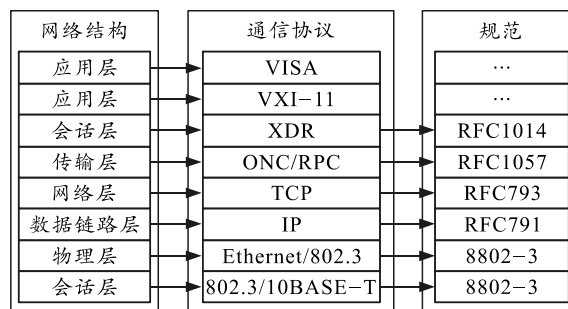


图 6 VXI-11 网络分层协议

由图 6 中的对比可以看出，VXI-11 实际上是介于操作系统 ONC/RPC 和 VISA I/O 规范库之间的一个中间层软件。VXI-11 协议建立在 TCP 协议之上，用于实现特定格式的数据通过 TCP 协议进行收发^[10]。在软件程序设计中，可按 VXI-11 的协议构建具有相同数据元素的数据结构，再以 TCP 协议进行发送和接收，最终实现 VXI-11 协议的端口服务。VXI-11 协议设备发现流程如图 7 所示。

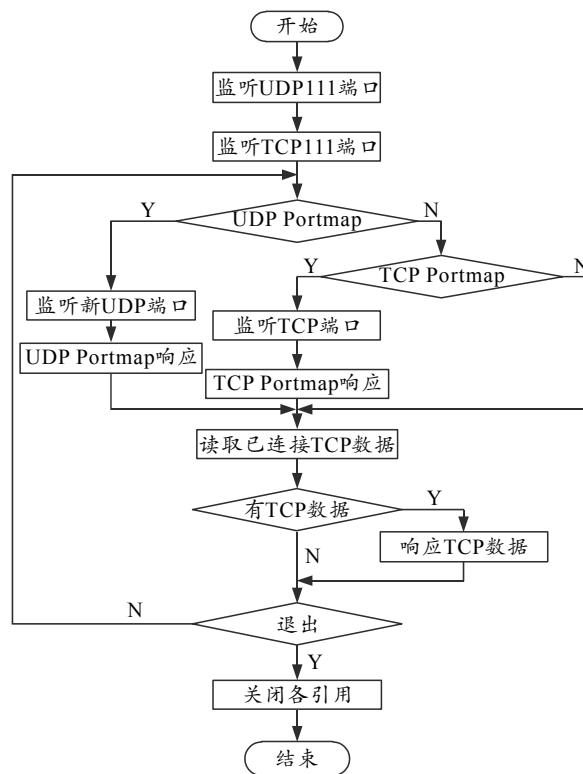


图 7 VXI-11 协议设备发现流程

从图 7 中可以看出：执行仪器自动发现时，VXI-11 客户端一直向监听 111 端口的端口映射器，或向 Null procedure 程序发送广播 RPC 数据包。在监测到 VXI-11 协议邮戳后，就要启动套接字 (Socket) 技术。Socket 技术通信过程主要包括以下 2 个参与者。

- 1) 端口映射程序。

主要负责 RPC 服务器程序的管理工作,以 RPC 服务器程序为管理对象,其具体功能有注册新程序、删除已注册信息、查询指定程序端口号和查询已注册全部程序信息等 4 项。为完成上述功能,端口映射程序采用链表工具和与之对应的 4 个函数,通过定义不同的链表元素实现对 RPC 服务器程序的管理,已注册 RPC 服务器程序信息的链表元素数据结构如下:

```

struct mapping
{
    ViUInt32 prog; //程序号
    ViUInt32 vers; //版本号
    ViUInt32 prot; //协议号(6 代表 TCP, 17 代表 UDP)
    ViUInt32 port; //服务器端口号
};

```

新的服务器程序注册时,按照上述链表元素种类、实时划分数据结构,然后调用 PMAPPROC_SET 函数,将注册信息存入链表。注册信息建立链表后,客户端仅需要提供所需函数的程序号、版本号和过程号,端口映射程序可以将上述信息与函数绑定,客户端收到函数数据包后,只要正确解析信息包,即可实现对所需函数和进程的调用。

2) VXI-11 服务器程序。

与端口映射程序的开发基本相同,笔者首先用链表关联 VXI-11 函数的函数信息,然后将 RPC 请求数据包发送至端口映射程序,最后调用 PMAPPROC_SET 函数,完成注册转入等待状态,实时等候远程客户端对服务器进程的执行申请。通过 Agilent Connection Expert 软件对仪器发现机制进行验证,如图 8 所示。

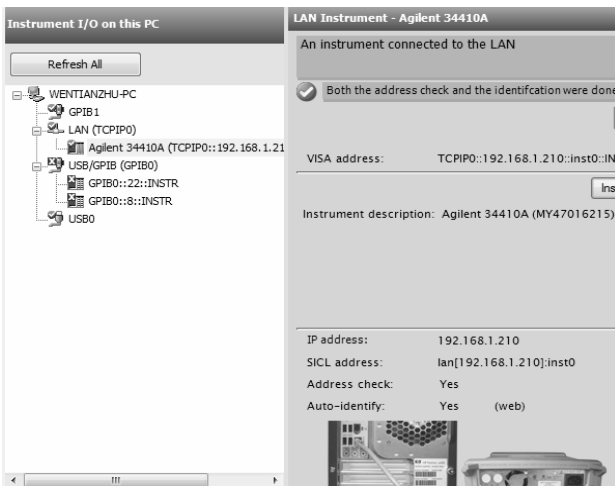


图 8 仪器发现机制验证

4 VISA 库函数实现

无线总线桥提供了控制和管理 GPIB 总线接口程控仪器的硬件支持,而程控仪器现有的驱动程序正是利用虚拟仪器软件结构 VISA 规范函数编写。为了能够继续使用原有的驱动程序,就必须开发相匹配的 VISA 驱动库,实现在无线总线桥硬件机制下的仪器远控。仪器现有驱动程序中包含的 SCPI 指令必须由新的 VISA 函数库通过无线网络传递到无线总线桥中,再由无线总线桥把它们转换成 GPIB 总线协议的信息,传递给物理仪器,才能实现最终控制^[11]。仪器寻址流程如图 9 所示。

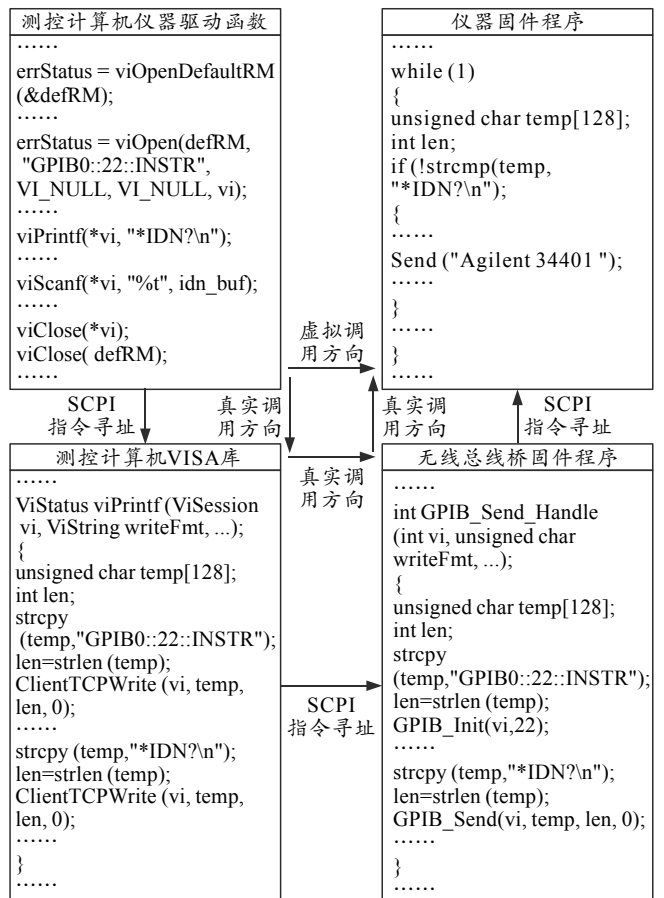


图 9 仪器寻址流程

5 系统仪器管理工具

仪器管理工具是利用 Lab Windows/CVI 软件开发的应用程序软件,可在 Windows 操作系统平台下运行,类似于安捷伦公司的 Agilent IO Library Suite 和 NI 公司的 MXE,与自主开发的 VISA 规范驱动库相配套,其主要功能是为用户自动发现连接在系统总线上的全部仪器资源,便于用户开展管理、查询、监测、配置和调试等日常维护操作。系统仪器管理工具操作界面如图 10 所示。

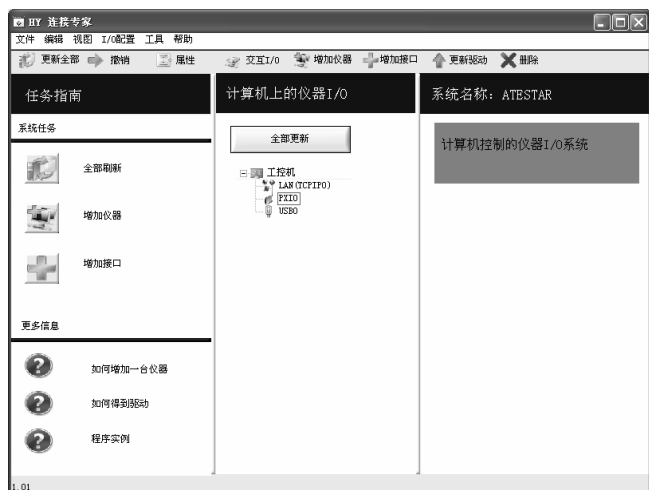


图 10 系统仪器管理工具操作界面

该工具软件通过调用 VISA 库中的 viFindRsrc 和 viFindNext 函数，自动发现多种接口的仪器，包括 LXI、GPIB、USB 和 VXI 等总线接口的仪器，并且在自动发现的过程中还能通过发送 SCPI 指令进行仪器身份识别，为用户得到仪器基本信息。仪器管理工具除了具备 Windows 应用程序常用文件、编辑、视图和工具等基本功能外，针对发现的每一个仪器，提供了用户与仪器进行 I/O 交互操作的窗口，借助于这一窗口，用户可以发送 SCPI 指令，以手动方式对指定的仪器进行远控操作，执行各种测试任务。

6 结束语

笔者针对系统引入无线总线桥设备后的应用软件具体需求，结合时间序列模型和事件猝发模型，设计了底层 ARM 处理器固件程序，实现了多种机载设备总线接口、GPIB 仪器管理接口和 WLAN

接口的实时可靠操作。通过开发具有自主知识产权的 VISA 管理库函数，建立了系统管理系列工具；运用套接字技术，实现了 WLAN 接口背景下，符合 VXI-11 标准的仪器自动发现机制，有效简化了系统操作流程，但相对于国际一流仪器仪表公司如美国安捷伦科技有限公司和 NI 公司的 VISA 库函数，还存在一定的差距，需要在未来应用中完善。

参考文献：

- [1] 王和明, 王菊. 浅谈自动测试系统的发展和不足[J]. 飞航导弹, 2014(6): 59-61.
- [2] 刘福军, 孙香冰, 汤官民, 等. 基于“服务”的军用自动测试系统研究[J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(7): 1727-1730.
- [3] 冯凌霄, 张冰. 基于 FPGA 的 SoC 原型验证方法研究[J]. 电子设计工程, 2014, 22(16): 44-47.
- [4] 李文海. 海军航空电子装备新一代自动测试系统关键技术研究[D]. 烟台: 海军航空工程学院, 2011: 22-28.
- [5] 潘淮洋, 刘彩霞, 刘树新. 基于有限状态机的网络协议状态机制检测方法[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(4): 1188-1192.
- [6] 韩旭, 韦高, 李瑞阳, 等. 基于多线程技术的天线实时测量系统[J]. 现代电子技术, 2013, 36(13): 115-119.
- [7] 曹宏炳. 战斗车辆计算平台软件体系结构[J]. 兵工自动化, 2017, 36(4): 1-5.
- [8] 韦良芬, 张佑生, 王勇. 一种环形 Buffer 自适应 NoC 路由器设计[J]. 微电子学与计算机, 2014, 31(1): 17-20.
- [9] 周龙, 刘洁. 自动测试系统总线技术浅析[J]. 测控技术, 2012, 31(增刊): 202-206.
- [10] 尹洪伟, 孙美美, 张树团. 基于 VXI-11 的 LXI 仪器发现技术研究[J]. 电子设计工程, 2011, 19(18): 18-20.
- [11] 孙晓云. 基于 LabWindows/CVI 的虚拟仪器设计及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010: 25-81, 116-194.