

# Bluetooth 终端射频自动测试系统设计

刘晓晨, 李书芳

北京邮电大学电磁场与微波技术系, 北京 (100876)

E-mail: [fentapple@yahoo.cn](mailto:fentapple@yahoo.cn)

**摘要:** 本文首先阐述 Bluetooth 终端的射频型号核准测试方法和操作流程。然后分别从硬件组成和软件结构介绍 Bluetooth 终端射频自动测试系统的设计。本系统以 Visa 构架的远程控制技术为理论基础, 依据 Bluetooth 标准 (IEEE 802.16), 基于 Visual Basic 环境, 集成 Agilent E4440、Agilent 4010 等测试仪表, 自动完成 Bluetooth 终端的射频型号核准测试。本系统集自动测试、自动生成报告功能于一体, 极大的提高了射频测试的效率和准确度。

**关键词:** Bluetooth; 射频型号核准测试; 自动测试系统

**中图分类号:** TP206

## 1. 引言

蓝牙(Bluetooth)技术, 实际上是一种短距离无线电技术, 利用“蓝牙”技术, 能够有效地简化掌上电脑、笔记本电脑和移动电话手机等移动通信终端设备之间的通信, 也能够成功地简化以上这些设备与因特网之间的通信, 从而使这些现代通信设备与因特网之间的数据传输变得更加迅速高效, 为无线通信拓宽道路。对 Bluetooth 产品进行测试, 目的是检验 Bluetooth 设备是否能够完成所需要实现的功能, 是否满足性能指标的要求, 是否符合 802.16 标准, 从而确保产品能够可靠、稳定、安全的运行<sup>[1]</sup>。

## 2 自动测试系统体系结构

通常把在人最少参与的情况下, 利用计算机执行程序, 控制测试过程并进行数据处理直至以适当方式给出测试结果的测试系统称为自动测试系统。典型的自动测试系统一般包含以下四部分: 可编程测试仪器、测试控制机、互连标准数字接口和软件系统<sup>[2]</sup> (如图 1 所示)。

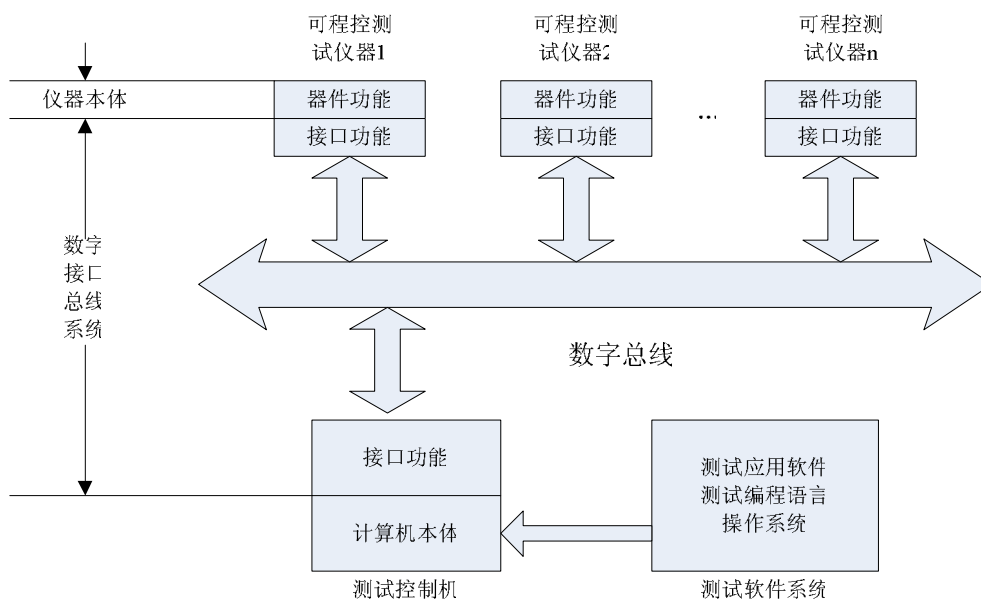


图 1 自动测试系统结构模型  
Fig1 Model of Automatic Test System Structure

### (1) 可编程测试仪器

它是为完成特定测试任务而选择的测试仪器的抽象<sup>[3]</sup>。可能是独立单机仪器：示波器、信号源、网络分析仪...，也可能是插入机箱中的测试功能模块：数据采集模块，频率计模块...。但能连入自动测试系统必须具有以下两个特征：可编程操作和有接口功能区。可编程操作保证仪器能够接受本地控制或者远程控制；有接口功能区可以保证仪器之间在机械、功能、电气上相容连接。

### (2) 测试控制机

测试控制机是自动测试系统的控制核心，目前多由特定的电子计算机来承担<sup>[4]</sup>。作为测试控制机，在功能上应具有以下两种能力：第一是设备间相互连的标准接口总线资源管理能力，第二是对测试系统的测试设备操作控制能力。在测试控制机的结构上，硬件方面必须配有标准数字接口，以便同测试设备相容互连；软件系统中含有测试应用软件开发环境。

### (3) 标准数字接口总线

标准数字接口总线相当于互连的设备与设备之间用于信息交换的界面，其目的在于提供一种有效的通信联络，以便在一群相互连接的设备之间传送数字式信息。目前比较普及的标准数字接口总线有 GPIB 通用接口总线、RS232 串行通信接口总线、VXI 模块式仪器系统总线等<sup>[4]</sup>。

### (4) 测试应用软件及其开发环境

测试应用软件一般由自动测试系统用户依据特定测试任务要求，基于特定的测试仪器，依托软件开发手段，自行设计开发<sup>[5]</sup>。

## 3. Bluetooth 射频自动测试系统

### 3.1 硬件设计

Bluetooth 射频自动测试系统的硬件基本由三部分组成：频谱分析仪、蓝牙综测仪和测试电脑。本测试系统使用频谱分析仪 Agilent E4440（如图 2 所示），该频谱分析仪覆盖频率范围广，测试精度高，能搞保证测试数据准确可靠。蓝牙综测仪使用 Agilent 4010（如图 3 所示），该蓝牙综测仪能够通过直接模式进行 Bluetooth 设备测试的一体化综合测试仪，它所提供的高速测试方案既适合于生产线测试也适合于设计验证测试。Agilent 4010 综测仪支持常态模式和测试测试模式，其内置蓝牙协议，可对蓝牙信号进行调试和解调，因此在控制蓝牙设备的同时可以测量功率、频率误差、频谱框架、载波偏移等测试项目。在测试状态下，被测设备通过射频电缆和功分器与 Agilent E4440 和 Agilent 4010 的 RF 端口连接，测试电脑通过 GPIB 总线与 Agilent E4440 和 Agilent 4010 连接（如图 4 所示）。在测试过程中，测试电脑将事先打包好的 GPIB 命令发送给蓝牙综测仪，使蓝牙综测仪识别到被测设备，进而控制被测试设备，使其进入测试模式。与此同时，测试电脑通过 GPIB 命令控制频谱分析仪，使频谱分析仪对接收到的蓝牙信号进行处理，得到相应测试项目的数据，并将结果返回至测试电脑，进而生成测试报告。



图2 频谱分析仪: Agilent E4440  
Fig2 Spectrum Analyser: Agilent E4440



图3 Bluetooth 综合测试仪: Agilent 4010  
Fig3 Bluetooth Test Set: Agilent 4010

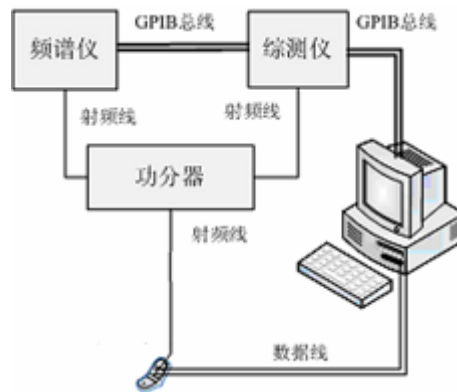


图4 系统硬件结构  
Fig4 Architecture Of System Hardware

## 3.2 软件设计

### 3.2.1 系统输入输出项目

Bluetooth 终端自动测试系统的主要作用是进行蓝牙设备的核准检测以及生产检测报告及保存测试相应信息。这些信息包括: 测试设备类型信息、测试具体项目信息、生产单位信息、测试环境信息。系统除了要在执行测试的过程中即时输出测试结果, 结果判定等必要信息之外, 系统最重要的输出是由测试结果和报告信息构成的核准报告。核准报告完全由系统

自动根据报告模版自动生成，此项功能大大提高了工程师的工作效率。

### 3.2.2 系统的设计模型

系统采用通用的 Smalltalk 模型，即由显示逻辑部分(表示层)，事务处理逻辑部分(控制层)和数据处理逻辑部分(数据层)三部分组成整个系统的三层设计模式。其中表示层的功能是实现与用户的交互，功能层的功能是进行具体的运算和数据的处理，数据层的功能是数据的存贮。

自动测试系统软件设计结构模型（如图 5 所示），Bluetooth 射频测试系统从系统模块上分为用户交互界面、测试执行模块、数据处理模块和数据库模块 4 个部分。

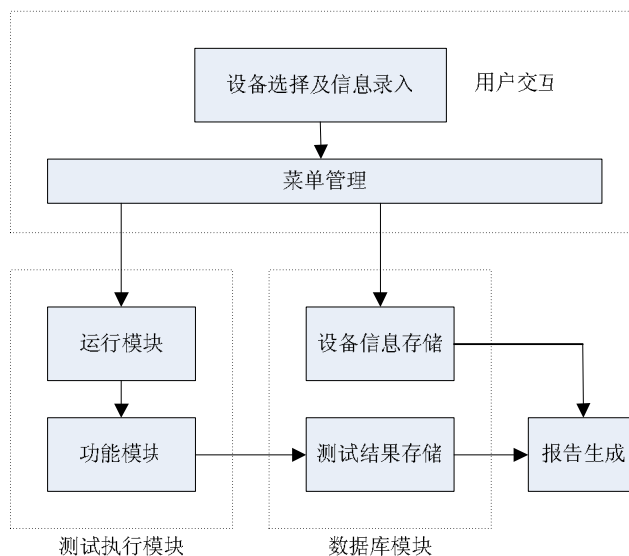


图 5 系统软件结构

Fig5 System Software Architecture

### 3.2.3 功能模块介绍

用户交互界面是用户操作程序的主界面。在此界面中用户需要输入测试设备的基本信息。不同的设备类型采取的标准不同，对应测试项目，底层的调制方式，信令控制方式不同为了方便不同设备测量，因此首先在该模块设置。此外该交互模块输入的设备信息和参数将被后续的报告生成部分导出，作为型号核准报告的一部分显示出来。程序将根据设备类型自动连接对应的数据库，加载测试项目和默认测试参数。

测试执行模块是程序最主要的部分，此模块下可以实现用户与测试仪表和测试数据的交互，测试流程的执行和测试结果的保存都是在此进行的。本套自动测试系统主要使用 GPIB 总线控制接口仪器。仪器驱动控制由仪表已有的驱动程序实现，主要功能是将自动测试控制模块和控制界面的命令转化为仪表可识别的指令通过 GPIB 总线传递给每台仪表，再将每台仪表的测试结果返回自动测试控制模块。

在测试模块中建立一个测试控制函数，例如 TestExecute 函数：

```
Public Function TestExecute(  
ByVal vDevOrder As Long, _ '被测设备序号  
ByVal vItemOrder As Long, _ '被测项目号  
ByVal CHOrder As Long, _ '频点/信道号  
ByVal lngTestCount As Long, _ '测试执行的次数
```

Optional mstrPicPath As String) As Long '图像保存的路径

该函数会根据被测项目号调用具体的测试执行函数完成测试。测试控制函数含有获取仪表句柄 vi 的命令，控制命令通过获取到的仪表句柄传送给仪表。一般仪器驱动器都要包含一个或多个应用函数。

报告生成模块的主要作用是根据报告号查找数据库中相应的信息并将其填进报告模版中。其设计的最大困难是需要填的数据较多，而且模版有时候会变化，如何能使报告模版更改的情况下而无须更改程序的源代码是一个必须解决的问题。设计中采用了小的执行模块加报告模板脚本的设计方案，充分利用 word 提供的书签功能和与 VB 的应用程序接口，将大量数据库查询语句作为脚本写进模版中，同时要填写的信息也分类标记，并且将这两项都设置位书签，按一定规则进行标号。可执行程序部分运行时只需按顺序读取书签内容，如果是查询语句则执行查询操作，并将返回的结果按照结果书签标记定位填入报告就可以完成操作。程序的代码短小精悍，只有简单的读写操作和一些判断功能，独立性好。而且开放的报告模板可根据用户需要按照要求随意编辑，相当灵活。

数据库方面选择了 SQL Server 作为后台数据库。数据库分担了系统的一部分数据管理任务，负责保存和分析结果数据。数据表的设计包括存储字段、表索引设计、表间关系等设计。设计中我们充分考虑用户需求，从数据检索的方便快捷性出发，综合考虑数据完整性，以及数据更新时的一致性，设计出的数据库冗余小效率高。将所有信息按照数据结构的理论建立测试结果表、测试项目指标表、产品信息表和报告记录表等。测试结果值和判断结果是否通过信息放在测试结果表中，在出具测试报告时可以直接读取结果记录。测试项目参数表中存放参数设置信息，当测试要求发生变化时可以很容易的修改。报告结果记录表格中保存出具测试报告的信息，方便日后查询和对测试结果的统计。

### 3.2.4 开发工具的选择

作为自动检测平台灵魂的软件，在整个系统的先进性、可靠性和实用性中起着关键性的作用。根据系统的要求和编程简单的原则，本测试系统的前端软件也就是界面部分采用 Visual Basic 6.0（简称 VB6）开发，后台数据库采用 SQL SERVER 2000，而仪表驱动部分则通过 VB 以及 Agilent 公司的 IO library。

仪表驱动程序的开发采用 VB 语句封装仪表厂家提供的仪表 SCPI 命令(Standard Control Programming Interface)，并采用 Agilent 公司的 IO library 平台进行 GPIB 控制。GPIB 总线驱动程序选择 Agilent 公司的 IOLibSuite 软件，软件中带有 IVI 驱动函数。IVI 驱动函数涵盖了一类仪器 90 % 以上的功能。基于 IVI 驱动测试程序，测试系统更换同类仪器或选用不同厂家的同类仪器，无需修改和编译原有的测试程序。安装驱动软件后可以在 C:\WINDOWS\system32\文件夹中看到动态链接库 visa32.dll，动态链接库是测试系统连接仪表的必备组件。在 C:\Program Files\IVI Foundation\VISA\WinNT\include\文件夹中可以找到针对各种开发语言的各种版本 visa32 函数文件，它标识了与通信设备以及 I/O 接口操作必备的配置信息。在编程中只需将对应的函数文件（头文件）载入程序中即可调用。

## 4. 测试系统界面和运行结果

用户交互界面（见图 6 所示）：在此界面中用户需要选择测试设备（2.4GHz 设备或是 5.8GHz 设备）。





图 6 用户登录界面  
Fig6 User Login Interface

设备信息输入界面（见图 7 所示）输入设备的基本信息（型号、代理厂商等），以备自动生成报告时导入。



图 7 设备信息输入界面  
Fig7 Device Information Input Interface

设备检测界面（见图 8 所示）与工程师交互，完成测试任务，查看测试结果。

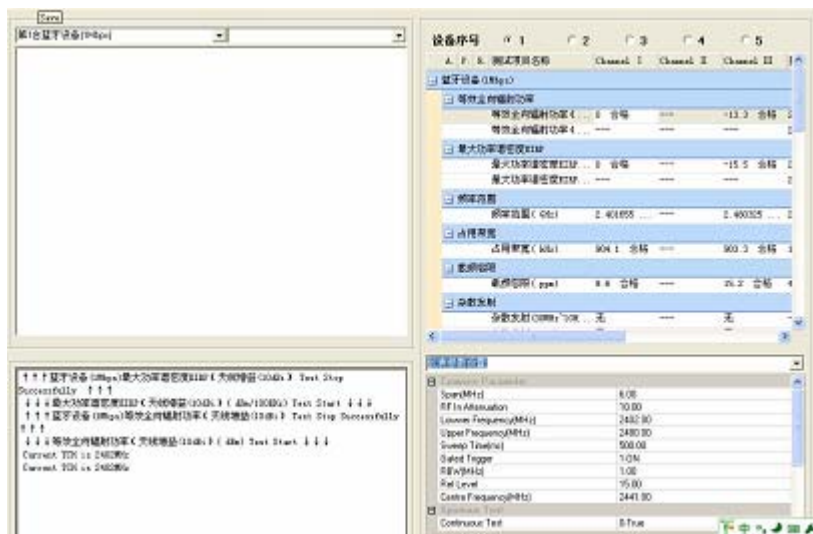


图 8 测试执行界面  
Fig8 Test Execute Interface

报告生成模块（如图 9 所示），输入报告号，查找数据库中相应的信息并将其填进报告模版中，最后生成一个型号核准测试报告 WORD 文档。



图 9 报告生成界面  
Fig9 Report Generation Interface

实验结果证明，该系统完全实现了无人干扰的自动测试，且运行稳定，测试结果准确。

## 5. 总结

本文介绍的 Bluetooth 终端射频自动测试系统具有编辑测试序列、配置测试参数、配置判定限值、控制测试流程、保存测试结果、生成测试报告等能力，实现了 Bluetooth 终端型号核准测试的完全自动化流程。此系统操作方便，扩展性强，还支持断点续测，支持不同测试标准，使检测工作效率提高，同时工程师的工作强度也大大减轻，充分证明了自动测试系统的优越性。系统进一步更新和完善了现有的无线终端设备检测系统，满足了无线终端设备不断更新的型号核准与性能检测需求。

## 参考文献

- [1] Gil Held. 无线数据传输网络：蓝牙、WAP 和 WLAN [J]. 人民邮电出版社，2001.
- [2] 曲鹏友, GPIB 通用接口研制, 《自动化技术与应用》, 2006 年第 25 卷第 8 期: 59-62
- [3] 郑续胜, 自动检测系统的组建结构与检测系统干扰原理的研究, 《现代电子技术》, 2006 年第 13 期: 109-111
- [4] 管士亮, 虚拟仪器总线技术的发展及其前景, 《中国现代教育装备》, 2005 年第 7 期: 15-17
- [5] 郑挺, 王勇, 虚拟仪器技术在自动测试系统中的应用, 《中国测试技术》, 2006 年第 32 卷第 1 期: 42-44

## Design for Bluetooth terminal automatic test system

Liu Xiaochen, Li Shufang

Department of Electromagnetic Field and Microwave Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing (100876)

### Abstract

This paper firstly introduces the type approval testing techniques and procedures of the Bluetooth RF terminals. And then explains the automatic test system design principles for Bluetooth RF terminals, from both hardware and software perspectives. This system is designed upon the theoretic foundation of remote control techniques based on the Visa structure. It is designed to work in Visual Basic environment, and is integrated, according to Bluetooth standard (IEEE 802.16), with test equipments including Agilent B4440 and Agilent 4010. Eventually, the test system would automatically finish the

test report for the type approval of Bluetooth RF terminals. This system combines the functions of automatic test and automatic test report generating, and could significantly improve the efficiency and preciseness of RF testing.

**Keywords:** Bluetooth; Type Approval Testing; Automatic Test System

**作者简介:**

刘晓晨, 男, 1984 年生, 硕士研究生, 主要研究方向是射频测试。