

# 短波电台便携式 ATS 平台的设计与实现

刘玉军<sup>1</sup>, 李曼<sup>1</sup>, 刘芸江<sup>1</sup>, 王一博<sup>1</sup>, 杨娟<sup>2</sup>

(1 空军工程大学 信息与导航学院, 西安 710077;

2. 中国人民解放军 93010 部队, 沈阳 110015)

**摘要:** 设计了一种短波电台便携式 ATS (自动测试系统) 平台, 该平台采用集成化测试模块, 在测试终端上运行软件完成电台整机指标的自动测试, 并给出测试结果和整体性能判断, 极大地减少了测试时间及人工测试产生的误差; 其中电台类型及测试指标的增加, 可通过软件方式方便的注入, 可移植性强; 实际测试表明, 系统误差为 0.5%, 较之传统的测试系统, 平均测试时间节省了 45%, 提高了测试效率。

**关键词:** 短波电台; 自动测试平台; 便携式设备; 模块化

## Design and Implementation of Short Wave Radio Portable ATS Platform

Liu Yujun<sup>1</sup>, Li Man<sup>1</sup>, Liu Yunjiang<sup>1</sup>, Wang Yibo<sup>1</sup>, Yang Juan<sup>2</sup>

(1. Institute of Information and Navigation, Airforce Engineering University, Xi'an 710077, China;

2. Unit 93010 of PLA, Shenyang 110015, China)

**Abstract:** The paper designed a portable shortwave radio Automatic Test System (ATS), which is composed of integrated test modules. This system can complete the whole index of short wave radio by operating the test software, and given the test result and the radio's performance. It reduces the test time and the errors in the manual work. Every index's testing is accomplished by software programming, so it is convenient to add radio type and test index, this system has high transportability. According to actual test, the error rate is 0.5%. Compacting with traditional test system, it spares 45% of the test time and improved test efficiency.

**Keywords:** short wave radio; ATS platform; portable instrument; modularization

## 0 引言

依据《GB/T6933—1995 短波单边带发射机电性能测量方法》、《GB/T6934—1995 短波单边带接收机电性能测量方法》和相关产品规范, 对于短波电台, 测试项目可分为出厂验收和日常使用两类。作为出厂验收, 须从各个方面来考核设备的性能是否达到标准, 而在使用过程中, 即可通过几个关键指标的测试, 完成电台工作正常性和完好性的判断。本文针对短波电台日常、野外使用等不同场景需快速检测的要求, 设计了一种短波电台便携式 ATS 平台, 具有自动化程度高、测试时间短、可靠性高、可移植性强等特点。

## 1 短波电台 ATS

自动测试系统 (automatic test system, ATS) 自从 20 世纪 50 年代到现在共经历了 4 个发展阶段, 早期阶段、中期阶段、成熟阶段、完善阶段。归纳起来共产生了三代系统<sup>[1]</sup>: 第一代测试系统, 专门针对一种设备设计的专用的测试系统, 只能用来解决大量的重复性测试, 通用性和系统兼容性差。第二代测试系统通过标准的总线接口将测试系统中各个相关设备连接<sup>[2]</sup>, 使自动测试系统组建起来方便快捷, 但所用的测试设备却并未发生质的改变, 连接仪器的串行总线速率也不够高。第

三代测试系统出现在虚拟仪器技术<sup>[3]</sup>以及 VXI、PXI、GPIB 等多种总线技术出现之后, 其硬件均采用模块化, 组成部分可分为计算机、模块化硬件和软件<sup>[4]</sup>。

ATS 的发展对短波电台自动测试技术更新也起到了推动作用。目前, 对于短波电台自动测试系统主要有以下 3 种<sup>[5]</sup>: 基于控制计算机和专业仪器组成的测试系统、基于微控制器的测试系统、基于虚拟仪器组成的测试系统。其中基于虚拟仪器的测试系统具有体积适中、操作简单、测试精度高、测试速度快、成本较低、利于普及等特点。

## 2 ATS 平台的总体设计

以第三代自动测试技术为支撑, 在基于虚拟仪器的基础上, 采用集成化测试模块, 实现对基准灵敏度、音频响应、频率误差和功率等主要指标的检测。该平台主要由便携式测试终端、集成化测试模块和配套电缆等组成, 如图 1 所示。

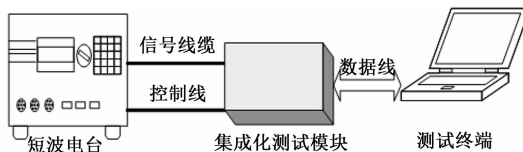


图 1 ATS 总体设计框图

测试终端与集成化测试模块通过 USB 接口完成测试通道的切换、电台参数的设置、测试数据的存储等功能。短波电台各个指标的测试功能都是通过软件实现的, 测试终端选用笔记本电脑或平板电脑, 配套的测试软件运行在 Windows 操作系统上, 增加了系统的通用性及可移植性。

集成化测试模块主要由射频信号产生与射频信号分析单

收稿日期: 2014-12-03; 修回日期: 2015-01-09。

基金项目: 国家自然科学基金(61302153)。

作者简介: 刘玉军(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事自动测试系统设计方向的研究。

李曼(1977-), 女, 陕西西安人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事计算机测试应用方向的研究。

元、音频信号产生与音频信号分析单元、接口适配单元、电源适配单元组成。该模块具有射频信号源、音频信号源、音频电平表、功率计、频率计、信纳比测量表和频偏测量表的功能, 具有智能化、集成化、体积小、重量轻、可靠性高等特点。电源模块的供电单元采用适配器或锂电池两种方式供电。集成化测试模块的组成如图 2 所示。

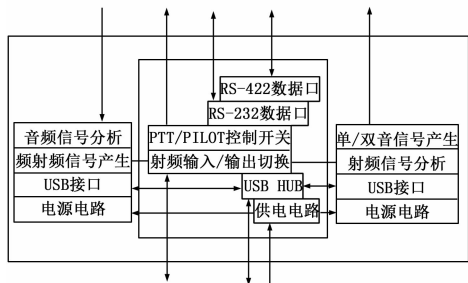


图 2 集成化测试模块组成框图

### 3 软件设计与实现

自动测试系统中的软件综合管理所有的硬件设备进行工作, 为了降低软件耦合度, 将人机界面的图形显示、数据处理与功能测量分开。软件由用户界面层、测试层、信息管理层的构成。

用户界面层采用 Visual C 编程, 主要由测试参数设置、电台测试、信息管理、使用帮助、软件升级及系统维护组成。为了使测试结果更加直观, 增加了频谱显示图形化窗口, 尤其对于观测杂散射频分量等指标更加直观, 有助于测试人员作出正确判断。

测试层采用 MATLAB 与 C# 混合编程, 测试函数封装成动态链接库供调用。信息管理层对用户信息、电台信息、历史测量数据等信息进行管理。ATS 系统数据库包含了自检校准信息库、短波电台类型信息库、测试结果信息库和测试参数库、历史测试数据库等。软件的体系架构如图 3 所示。

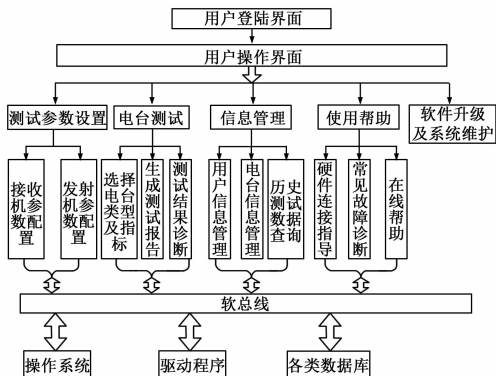


图 3 自动测试软件的体系架构

#### 3.1 ATS 的工作流程

软件启动后, 选择需要测试的短波电台类型及测试指标, 测试软件进行自动测试后得出测试结果, 并且自动将测试结果与该类型短波电台数据库中指标的的正常范围进行比对得出测试诊断报告, 若不符合标准将给出辅助分析或维修建议, 流程图如图 4 所示。

#### 3.2 短波电台典型指标测试方法及实现

短波电台日常使用的测试指标如表 1 所示。

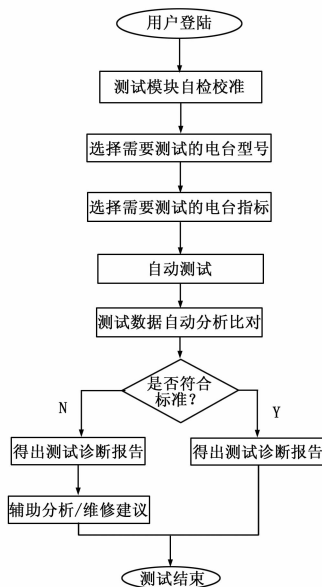


图 4 短波电台自动测试软件流程图

依据国家标准, 结合集成化测试模块自身特性, 以短波发表 1 短波电台维护常用测试指标

电台 测试指标	发射机	接收机
1	平均功率	基准灵敏度
2	频率误差	音频响应
3	互调产物电平	总失真系数
4	话路音频响应	群时延
5	杂散射频分量	自动增益控制
6	边带抑制	频率稳定度
7	载波抑制	中频抑制比
8	带内噪声	带外互调

射机的一个典型指标和接收机的一个典型测试指标为例, 测试方法如下。

##### 3.2.1 短波电台发射机话路音频响应

话路音频响应是指在单边带通带范围内, 保持输入音频信号幅度不变, 发射机输出功率随音频频率变化而变化的关系<sup>[6]</sup>。

测试步骤如下。

Step 1: 测试模块给发射机上边带输入频率为 1 kHz, 幅度为 1 000 mV 的正弦音频信号, 延时后软件控制使测试模块输出的 1 kHz 正弦信号的电平降低 6 dB, 测得此时发射机的功率;

Step 2: 保持音频输入电平不变, 在 300~3 000 Hz 通带范围内以 100 Hz 为步进改变音频频率, 测得发射机的功率值;

Step 3: 计算步骤 2 与步骤 1 的功率之比, 计算出最大值和最小值, 最大值和最小值之比用 dB 表示即为话路音频响应;

Step 4: 测试模块给发射机下边带输入 1 kHz 正弦信号, 重复步骤 1、2、3 即可得到下边带话路音频响应。

测试方法:

函数的测试主体为 AFResponse, 在这段函数中首先调用

单音信号产生函数 AudioSingle 产生 300~3 000 Hz 的单音信号，循环的步进设为 100 Hz，再调用 CalHfPower 函数对发射通道已调信号进行分析计算，并对已调信号的功率进行排序，得出功率的最大值  $P_{max}$  和最小值  $P_{min}$ 。 $P_{max}$  和  $P_{min}$  之比用 dB 表示即可计算出短波电台发射通道的话路音频响应。

算法 1 为话路音频响应实现的伪代码。

算法 1:

```

1:begin
2: if Autocheck=1 then //开机自检正常
3: AudioSingle(1 000) //产生 1 kHz 的音频信号
4: CalHfPower→Pst//计算已调信号功率
5: 300→i //初始信号设为 300 Hz
6: AudioSingle(i)
7: While i ≤ 3 000
8: i+100→i
9: CalHfPower→P
10: P/Pst→P
11: 计算出 Pmin Pmax 12: Pmax/Pmin→AFResponse
13: else exit=0//退出
14:end6 * *

```

### 3.2.2 基准灵敏度

基准灵敏度<sup>[7]</sup>是指在规定的频率和规定的调制下，接收机音频输出端获得标准信纳德或者标准信噪比时的输入信号电平。

测试步骤如下。

Step 1: 软件设置接收机接收频率，测试模块给接收机输入 1 kHz 的音频信号。

Step 2: 调节接收机的射频增益，获得基准输出电平<sup>[7]</sup>。

Step 3: 获取解调出的音频信号信纳德，降低输入的音频信号电平，使其为标准信纳德<sup>[7]</sup>。

Step 4: 获取测试输入音频信号的电平即为基准灵敏度。

测试方法:

函数的测试主体为 StanSensi，在这段函数中首先调用 AudioSingle 函数产生 1 kHz 的单音信号输入到接收机，接收机成功解调出 1 kHz 音频信号后，调用 CalAfSignal 函数计算解调出音频信号的信纳德，以 1 dB 为步进降低音频信号电平，直至输出信纳德为 12 dB，使用 CalAfVol 函数计算出基准灵敏度。

算法 2 为基准灵敏度实现的伪代码。

算法 2:

```

1:begin
2: if Autocheck=1 then
3: SetRf(5)//设置接收频率
4: -107→j
5: SetRf(5.001,j)
6: CalAfSignal()→SINAD
7: if SINAD=12 then
8: CalAfVol()→StanSensi
9: else j-1→j 跳转至第 8 行 10: else exit=0
11: end

```

### 3.3 用户界面设计

测试软件设计了友好的人机交互界面，可让程序操作更加方便，使程序在运行是简洁明了，从而提高工作效率。主界面

分为测试控制区、测试参数设置区、频谱分析区、测试区、连线辅助提示区。

### 3.4 精细化信号分析测量的算法实现

由于测试中需要对信号的频率、功率等相关参数进行分析测量、对信号频谱和信号质量进行分析计算，为了保证测量的精度，就要对局部频谱进行分析。传统的 FFT 只能比较粗略的计算频谱，且分辨率不高。采用基于复调制的 ZoomFFT 算法可以实现局部频谱的细化，从而实现信号精细化分析测量<sup>[8]</sup>。基于复调制的 ZoomFFT 算法的基本原理如图 5 所示。

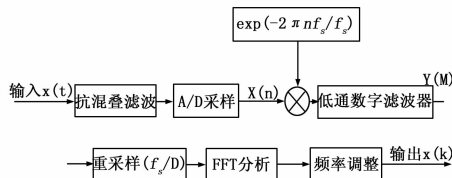


图 5 基于复调制的 ZoomFFT 算法的基本原理框图

设模拟信号为  $X(t)$  经过抗混叠滤波和 A/D 采样后，得到的离散序列  $X(n)$ ， $(n = 0, 1, 2, \dots, N - 1)$ ， $f_s$  为采样频率， $f_c$  为需要细化频带的中心频率， $N$  为 FFT 的点数，信号频谱的分辨率  $\Delta f = f_s/N$ 。模拟信号经过抗混叠滤波和 A/D 转换后得到离散信号  $X_0(n)$ ，以  $e^{-j2\pi f_c n/N}$  进行复调制得到移频信号  $X(n) = X_0(n) \cos(2\pi L_0/N) - jX_0(n) \sin(2\pi L_0/N)$ ，其中  $L_0 = f_c/\Delta f$  是在全局频谱显示中所对应中心频率  $f_c$  的谱线序号。经过低通数字滤波后，分析信号点数变少，再以较低的采样频率进行重新采样，此时信号的实部和虚部是分开的，需要对信号进行  $N$  点复 FFT。此时频谱的分辨率  $\Delta f' = \Delta f/D$ ， $D$  为细化倍数。在原采样率不变的情况下，频谱分辨率提高了  $D$  倍。通过实际测量，采用基于复调制的 ZoomFFT 算法有效的提高了信号测量的准确性，降低了系统误差。

## 4 测试结果

以某型短波电台为例，其典型的 4 个测试指标的测量结果与标准仪表的测量结果对比如表 2 所示。

表 2 发射通道典型指标测试结果

测试对比	ATS 测量	仪表测量
测试指标		
频率误差/MHz	0.00 131	0.00 130
互调产物电平/dB	-34.99	-34.98
话路音频响应/dB	-1.22	-1.21
总失真系数/(%)	0.35	0.34

## 5 结束语

本文设计了一种短波电台便携式 ATS 平台，使得测试的自动化程度得到了较大的提高。相比于现有的便携式自动测试系统提升了测试精度，减少了测试时间，增强了系统的可靠性及稳定性。测试平台配备了多种适配接口，可满足多种类型电台测试的需要，实用性强。但便携式 ATS 平台中开发的测试指标相对较少，下一步的研究工作：将增加测试指标的开发，进一步优化测试步骤，改良自动测试界面，满足日常维护及野外条件下对短波电台测试准确、快速、易于操作的需求。

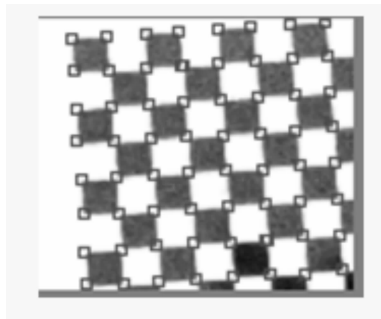


图 6 亚像素标定部分结果

表 1 检测到的所有角点坐标

<i>n</i>	X/pixel	Y/pixel
1	192.506	47.597
2	176.285	256.203
3	376.404	139.074
...	...	...
674	162.654	35.702
675	280.854	41.911
676	398.688	34.075

#### 4 机械臂抓取装配实验及分析

机械臂示教过程采用任意一次图像处理结果的质心和偏转角度作为参考值，利用手持式示教器规划好机械臂抓取装配动作轨迹，对于后续每次图像处理结果只需要算出质心、角度与参考值的差值即可，根据质心、角度的差值机械臂调整到合适的位姿抓取工件并且还原到参考值状态装配工件。其灵活性在于虽然工业现场工件随机摆放，但是机械臂都能根据质心与偏转角度实际值做出相应调整，完成装配过程，不需要逐点示教。实验结果见表 2。

产品上下盖装配精度约为 0.1 mm，整个机器视觉系统合成不确定度  $\mu_c$  由各个不确定度分量合成：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 (u_{xi})^2 + 2 \sum_{1 \leq i < j} \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \rho_{ij} u_{xi} u_{xj}} = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2 + 2 \sum_{1 \leq i < j} \rho_{ij} u_{xi} u_{xj}} \quad (14)$$

若  $x_i$ 、 $x_j$  的不确定度相互独立，即  $\rho_{ij} = 0$ ，则合成标准不确定度可表示为：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 (u_{xi})^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2} \quad (15)$$

表 2 抓取装配实验结果

<i>n</i>	X/pixel	Y/pixel	angle/°
1	655.026	568.169	1.139
2	634.566	583.753	-13.897
3	686.485	443.309	30.964
4	642.016	511.404	-35.869
5	553.598	481.075	-89.256
6	386.654	646.553	71.565
7	477.937	553.598	0.744

综上所述机械臂往返精度  $\pm 0.03$  mm，图像处理过程像素误差约为 0.130 pixel，像素精度为 0.147 mm/pixel，则  $\mu_c$  小于装配精度要求：

$$u_c = \sqrt{0.03^2 + (0.13 \times 0.147)^2} = 0.036 \text{ mm}$$

#### 5 结论

本文构建的机器视觉系统，利用工业相机获取移动工件的图像数据，采用图像处理对工件进行定位，后续引导机械臂对工件进行抓取与装配，系统处理时间约为 150 ms，实验结果表明，系统定位误差小于 0.1 mm，抓取装配成功率为 100%，满足工业现场的需求。其对节约劳动力成本，提高生产线柔性具有很高应用价值。

#### 参考文献：

[1] 刘振宇, 赵彬, 邹风山. 机器视觉技术在工件分拣中的应用 [J]. 计算机应用与软件, 2012, 29 (11): 87-91.  
 [2] 朱代先. 基于双目视觉的工件定位与抓取研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (1): 92-94.  
 [3] 余文勇, 石绘. 机器视觉自动检测技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.  
 [4] 夏良正, 李久贤. 数字图像处理 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2011.  
 [5] 查英, 刘铁根, 等. 基于机器视觉的零件自动装配系统 [J]. 天津大学学报, 2006, 39 (6): 722-726.  
 [6] 赵鹏. 机器视觉理论及应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.  
 [7] 潘武. 基于机器视觉的工件识别与定位 [D]. 北京: 北京化工大学, 2012.

(上接第 2326 页)

#### 参考文献：

[1] 杜里, 张其善. 电子装备自动测试系统发展综述 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 7 (6): 1019-1021.  
 [2] 赵会兵. 虚拟仪器技术规范与系统集成 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.  
 [3] James Truchard. The future of virtual instrumentation [J]. Measurement & Control Technology, 2002, 21 (9): 1-2.

[4] 焦金辉. 电台自动测试系统软件实现与故障诊断技术研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2012.  
 [5] 张光军. 嵌入式电台测试仪器显控软件设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2013.  
 [6] GB/T6933-1995, 短波单边带发射机电性能测量方法 [S].  
 [7] GB/T6934-1995, 短波单边带接收机电性能测量方法 [S].  
 [8] 江波, 唐普英. 基于复调制的 ZoomFFT 算法在局部频谱细化中的研究与实现 [J]. 大众科技, 2010 (7): 48-49.