

# 基于 Tiny OS2.0 和 Android4.2 的可燃气监测系统

周思浩, 赵祥模, 惠飞, 史昕

(长安大学 信息工程学院, 西安 710064)

**摘要:** 为了有效地减少由可燃气体泄漏导致的损失和加强对可燃气体使用的安全监测, 提出了一种基于无线传感网络的可燃气监测系统; 该系统主要由可燃气体无线监测节点和移动监控终端构成, 其中无线监测节点是以 8 位超低功耗微处理芯片 ATmega1281、2.4 GHz 射频芯片 AT86RF230 和通用可燃气体传感器 MQ-2 为核心器件, 基于 tinyos2.0 平台利用 nesC 语言设计完成节点感知程序; 移动监控终端选用 ARM 处理器 S5PV210, 并基于安卓 4.2 平台设计实现实时报警、移动监控、动态显示等功能; 试验结果表明, 该系统具有布设简单、测量精度高、功耗低等优点, 误警率不超过 0.5% 并可持续工作 180 天。

**关键词:** 可燃气体监测; 无线传感网络; 安卓平台; 实时报警; 移动监控

## Gas Monitoring System Based on Wireless Sensor Network

Zhou Sihao, Zhao Xiangmo, Hui Fei, Shi Xin

(School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** In order to reduce the loss caused by the gas leak and enhance the safety monitoring of using gas, a gas monitoring system based on wireless sensor networks is designed. The system is mainly composed of gas wireless monitoring nodes and mobile monitoring terminal. In the system, the wireless monitoring nodes based on the Tiny OS 2.0 platform use the nesC language to design the sensor program, their key components are low power micro-processing unit ATmega1281, 2.4GHz RF chip AT86RF230 and gas sensor MQ-2. Also, the ARM processor S5PV210 is used to design a mobile monitoring terminal with the Android 4.2 platform. The terminal can realize the functions such as real-time alarm, mobile monitor and dynamic display. Experiment results show that the system has the features such as simple deploy, high measurement precision and low power consumption, false alarm rate does not exceed 0.5% and can sustainable work 180 days.

**Keywords:** gas monitoring; wireless sensor network; Android platform; real-time alarm; mobile monitor

## 0 引言

燃气在使用过程中易发生泄漏, 进而引起火灾、爆炸等重大安全事故。由于燃气泄露的危险不易被人察觉, 在燃气泄漏爆炸的多发场所, 存在重大的安全隐患<sup>[1-3]</sup>。可燃气体监测系统可广泛应用于石油、燃气、化工、油库等存在可燃气体的石油化工行业以及厨房、加油站等常见地点, 用以检测燃气的泄漏情况, 是保证生产和人身安全的重要设备。

## 1 系统总体设计

该系统主要分为无线监测节点和移动监控终端两部分, 以无线传感网络和安卓系统平台为基础搭建。其采用 MQ-2 气体传感器作为可燃气体的信号采集工具, 采集到的模拟电压量经过无线监测节点上的 A/D 转换模块转换为数字信号。无线监测节点通过无线传感网络将采集到的数字量信息发送到移动监控终端, 移动监控终端对收到的数字信息进行计算, 如果可燃气体浓度达到报警器设置的临界点时, 移动监控终端会驱动报警器向用户报警。本系统具有体积小、成本低、功耗低、布设简单、功能易扩展的优点, 同时监控终端可随身携带, 特别适用于监控范围小但分散场所。对于范围较广的监控区域, 本系统可通过系统间的级联来扩大监控范围。

收稿日期: 2013-11-29; 修回日期: 2014-01-21。

**基金项目:** 交通部信息化重大专项(2012-364-812-105); 高等学校博士学科点专项科研基金(20120205120002); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013G5240009)。

**作者简介:** 周思浩(1990-), 男, 浙江东阳人, 硕士研究生, 主要从事嵌入式技术、无线传感网络方向的研究。

移动监控终端是基于 ARM 处理器而搭建的, 主要分为数据汇聚模块(AT86RF230)、数据处理模块(ARM 处理器 S5PV210)、显示交互模块和报警模块。

无线监测节点作为本系统最重要的组成部分, 是本文的设计重点。无线监测节点以 8 位低功耗微处理芯片 ATmega 1281 和 2.4GHz 射频芯片 AT86RF230 为核心, 主要分为数据采集模块(可燃气体传感器)、数据处理模块(ATmega 1281)、无线收发模块(AT86RF230)和电平匹配模块。系统结构如图 1 所示。

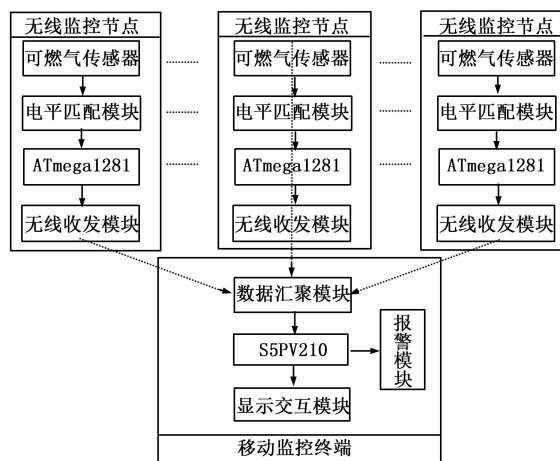


图 1 系统结构框图

## 2 系统硬件设计

无线监测节点包括以 Atmega1281 为主控器的最小系统, AT86RF320 无线收发模块, AT45DB041Flash 存储器, RS232

接口, 电平匹配模块, ADC 转换接口和可燃气体传感器等。

### 2.1 可燃气体检测模块

所述可燃气体传感器为 MQ-2 型传感器。MQ-2 型气体传感器采用双路信号输出 (模拟量输出及 TTL 电平输出), 其中 TTL 输出的有效信号为低电平, 可直接接单片机, 模拟量输出 0~5 V 电压, 浓度越高电压越高。该传感器对环境液化气、丁烷、丙烷、甲烷、酒精、烟雾等具有很高的灵敏度和良好的选择性, 响应恢复时间短, 具有较长使用寿命和可靠的稳定性。

### 2.2 数据处理模块

无线监测节点所述的数据采集模块 ATmega1281 芯片。ATmega1281 是 Atmel 公司推出的一款高性能、低功耗的 8 位微控制器。它拥有 128 KB 的可编程 Flash, 4 KB 的 EEPROM, 8 KB 的 RAM, 54 个通用 I/O 引脚, 2 个 USART 串口以及 8 个 10 位 ADC 通道, 也内置有 JTAG 接口, 主晶振采用 7.372 8 MHz, 副晶振采用 32.768 kHz, 采用外部复位的方式。该芯片为了减少能耗, 支持 6 种睡眠模式。

### 2.3 无线收发模块

所述无线收发模块选择 AT86RF230 芯片。AT86RF230 是 Atmel 公司推出的一款高性能的可实现 ZigBee 协议的 2.4 GHz 无线收发芯片。它硬件支持 IEEE802.15.4 协议, 拥有 104 dB 链路预算, -101 dB 的接收灵敏度和 3 dB 的传输功率, 从而减少网络中所需节点设备的总数, 大大降低了 IEEE 802.15.4 系统的组网成本。

### 2.4 电平匹配模块

因为可燃气体传感器的输出电平的范围在 0~5 V, 而 ATmega1281 的 A/D 端口的输入电平要求小于 3.3 V, 所以设计了电平匹配来兼容两者之间的电气特性。所述电平匹配模块选择 10 K 的高精度、金属箔的 VISHAY S102C。金属箔电阻具有高精度、低温飘、低老化、无感, 是其他电阻不可比的, 能精确地对传感器的输出信号进行分压。

## 3 系统软件设计

### 3.1 Tinyos 操作系统及其应用程序框架

监测节点的软件开发平台选择 TinyOS<sup>[4]</sup>。TinyOS 是充分考虑到无线监测节点的一般特征 (最少的硬件、低容量存储器、低 CPU 性能及受限的能量) 针对无线传感网络而开发的专用操作系统<sup>[5]</sup>。

TinyOS 的应用开发主要是基于 nesC 的配线规范进行组件 (分为配件和模块) 的组装<sup>[6]</sup>。根据组件实现的功能, 把不同的操作系统服务分解为不同的组件集合进行封装。任何一个应用都是由最顶层的配件进行组织, 逐级组装底层组件形成一个组件集合。每个应用程序通常由顶层配件 (有且仅有一个)、核心处理模块和其它组件组成。在顶层配件中, 说明该应用所要使用的组件及组件间的接口关系。通过配件中的接口连接, 把许多功能独立且相互联系的软件组件构建成一个应用程序框架, 而模块负责实现具体的逻辑功能。使用 nesC 配线规范组装好的组件集合会被编译成 C 语言代码实现<sup>[7]</sup>, 最后由 gcc 交叉编译器生成节点可执行的映像文件<sup>[8]</sup>。

### 3.2 无线数据格式

在 TinyOS2.0 中定义了一个消息缓存抽象, 称为 message\_t<sup>[9]</sup>。数据在无线传送前将以 message\_t 的形式进行封装。message\_t 及其相关结构体定义在系统文件 tos/types/message.h 中。

```
typedef nx_struct message_t {
```

```
nx_uint8_t header[sizeof(message_header_t)];
nx_uint8_t data[TOSH_DATA_LENGTH];
nx_uint8_t footer[sizeof(message_footer_t)];
nx_uint8_t metadata[sizeof(message_metadata_t)];
} message_t
```

### 3.3 网络拓扑结构

可燃气体监测系统的网络拓扑结构如图 2 所示。

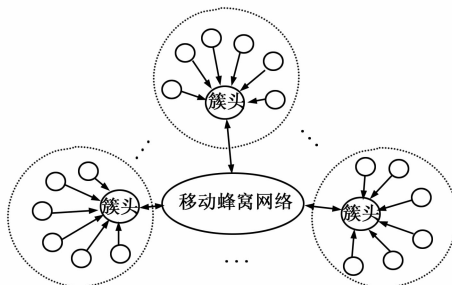


图 2 网络拓扑结构图

该网络分为两个层次: 根据 Zigbee 技术的可靠通信距离 ( $\geq 150 \text{ m}$ )<sup>[10]</sup> 将监测节点分为不同的簇, 簇内的监测节点和簇头 (移动监控终端) 构成一个星型网络, 簇头负责接收簇内每个监测节点采集到的监测信息; 簇头之间利用安卓平台对移动蜂窝网络的支持实现信息互联。该可燃气体监测系统主要针对于监控区域范围小而分散场所, 所以对于单个监控场所而言一般是单簇网络。对于范围较广的监控区域, 本系统可通过移动监控终端和第二层次的移动蜂窝网络来实现系统间的级联, 从而扩大监控范围。层次性的网络拓扑结构设计, 使得该系统具有很强的扩展性, 为市政消防对安全事故的统一监控提供有效的技术手段。

### 3.4 簇内无线数据收发

簇内无线通信采用 Zigbee 技术, 它是近距离、低复杂度、低功耗、低速率、低成本的双向无线通信技术, 特别适用于无线传感网络, 且具有自组网功能, 可以适应网络拓扑的快速变化。分布在不同的测量点的无线监测节点组成一个传感器网络, 各监测节点周期性地读取传感器数据, 然后将这些数据发送给移动监控终端, 移动监控终端对数据进行汇总融合并预判。软件设计中, 充分的考虑了节点功耗问题, 使用低功耗组件对节点进行设计, 使射频模块周期性的进入睡眠状态以降低功耗。微控制器在任务队列为空时, 也会自动进入低功耗状态。无线传感网络的簇头节点 (移动监控终端) 数据处理量大, 为了防止数据接受溢出, 使用了动态内存池和 FIFO 队列, 对数据进行缓存处理。无线数据发送和接收流程如图 3 所示。另外, 通过在 TinyOS 系统下添加独立的不同类型的传感器 (火焰、温度等) 读取组件, 可以方便地用统一的接口根据不同的需求实现相应的功能扩展。

## 4 实验与分析

以本文所述的无线监测节点 (6 个) 和移动监控终端 (一个), 在  $100 \times 100 \text{ (m}^2\text{)}$  范围的实验室环境下搭建了一个单簇型可燃气体监测系统, 监测节点发送监测数据的频率设为 1 次/1 000 ms, 气体浓度的报警阈值设为 4.9%, 对该系统进行测试和分析。本系统基于安卓 4.2 平台所开发的移动监控终端的软件界面如图 4 所示。

实验分为三部分内容: 一是对系统的功能进行测试分析; 二是对系统的性能进行测试分析; 三是对系统的功耗进行测试分析。

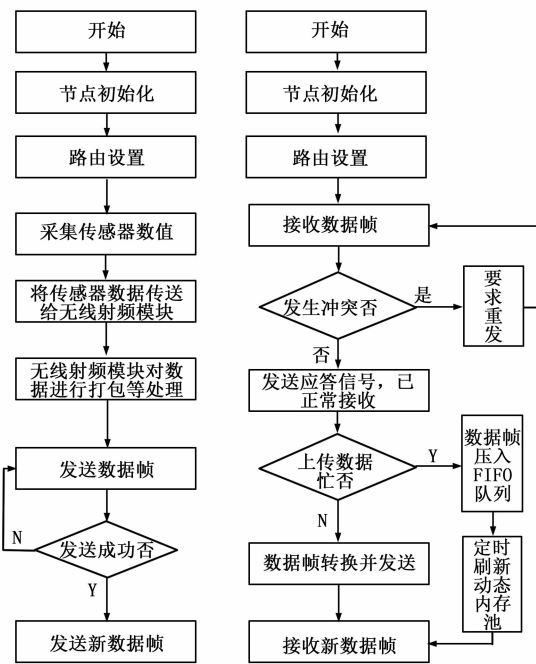


图 3 无线数据发送和接收流程图

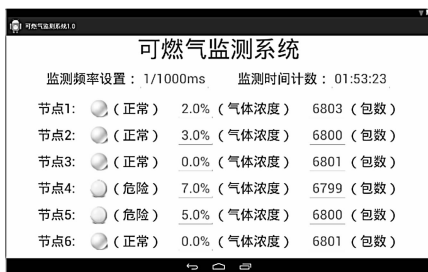


图 4 移动监控终端软件界面

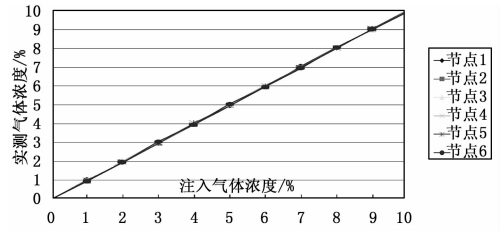
### 4.1 系统功能测试分析

为了验证可燃气体浓度超标时,本系统的预警情况。以人为随机的在某个监测节点附近施加不同浓度的可燃气体(甲烷-空气混合气体)的方式进行大量重复性试验,统计得到实验室环境下该系统各个监测节点测得的可燃气体浓度曲线图和预警错误率统计结果如图 5 所示。

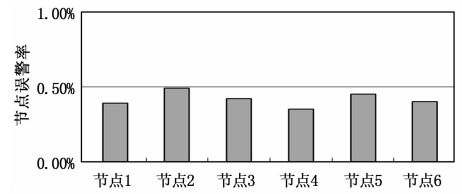
分析试验数据可知,本系统各节点的结果曲线具有非常好的线性度,精度较高,同时各监测节点的误警率都在 0.5% 以下,可以满足监测应用的需求。

### 4.2 系统性能测试分析

当进行无线发射时,要将数据封装为 message\_t 格式,其中 header 长度 12 Byte, data 长度 28 Byte, footer 长度 0 Byte, metadata 长度 9 Byte,故封装后的数据包长度为 12+28+0+9=49 Byte,即 49×8=392 bit。该结构中的 data 字段存储的是有效的数据信息,其长度可在上文所述的系统文件 tos/types/message.h 中修改。其它字段的长度不同射频芯片有不同的配置,本文采用的 2.4 GHz 射频芯片 AT86RF230,具体配置如上文所述。设总共布设了 N 个监测节点,数据发送频率为 F (Hz),则每秒钟移动监控终端接收的数据量为 392×N×F (bit)。簇内无线通信采用 zigbee 技术,它的最高传输速率为 250 kbit/s<sup>[11]</sup>,则



(a) 可燃气体浓度曲线对照图



(b) 各监测节点误警率统计图

图 5 可燃气体浓度曲线图和预警错误率统计图

$$392 \times N \times F \leq 250\ 000 \quad (1)$$

出于本系统监测应用高可靠性、高实时性的要求,对于 TOSH\_DATA\_LENGTH 值为 28 的情况,N \* F 在理论上不能大于 637,这是对单簇网络的规模限制。

实验中通过串口获取并统计簇头接收到的每个监测节点发送的数据包个数,进行重复性试验,得到不同发送频率下各个监测节点的丢包率测试结果,如图 6 所示。

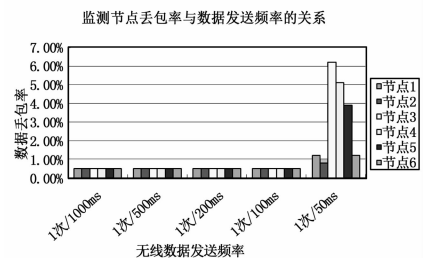


图 6 节点丢包率与数据发送频率的关系

从图 6 可明显看出,当 6 个节点同时以 1 次/100 ms 的速率(或更低的发送频率)发送数据时,整个网络的数据丢包率都维持在很低的水平,小于等于 0.5%。而当节点的发送频率提高到 1 次/50 ms 时,网络的丢包率明显上升,个别节点超过了 6%,已经超出了我们对丢包的最低容忍限度。其原因是当节点的发送频率提高时,虽然 N \* F 值没有超出理论限额,但是增加了发送数据间冲突的几率,即在很窄的一段时间内,同时有若干个节点要求发送数据,若不能在规定的时间内将数据发出,就会造成丢包。所以,要根据整个单簇网络的特性,合理设置发送频率和网络规模,在保证实时性的同时,使网络数据传输的丢包率维持在允许的范围之内。

### 4.3 系统功耗测试分析

监测节点依靠电池供电,所以整个系统对功耗非常敏感,下面对系统功耗进行测试分析。微控制器 ATmel1281 工作时最大工作电流为 14 mA,低功耗状态为 7.5 μA,而无线射频芯片的发送状态电流最大为 16.5 mA,睡眠状态为 20 nA。无线传感网络采样率为 1 Hz,即一个工作周期为 1 s,则:

$$T_c = T_{sl} + T_w \quad (2)$$

其中:  $T_c$  表示节点的一个工作周期,  $T_{sl}$  表示节点的睡眠

时间。在监测节点程序的各关键部分打上时间标记，进行重复性试验，得到系统各阶段的工作时间如表 1。

表 1 各标记事件及工作时间

监测节点		各标记事件的工作时间		
事件	描述	包长度:49(byte)		
S1	应用层 ADC 转换开始	S1-S2 ADC 时间: 1.78(ms)	S2-S4 数据封装 时间: 1.68(ms)	S1-S5 总工作 时间: 11.06(ms)
S2	应用层 ADC 结束			
S3	ADC 数据存入 message_t 结构中			
S4	应用层 send 命令	S4-S5 无线发送 时间: 7.6(ms)		
S5	应用层 send 事件触发			

从上述的计算可知，监测节点一次采样发送周期的平均时间为 11.06 ms。

考虑到 MAC 层的随机回退机制，故实际的监测节点工作时间取为：

$$T_w = 11.06 \text{ ms} + 9.92 \text{ ms} = 20.98 \text{ ms} \quad (3)$$

其中：9.92 ms 为随机回退的最大延迟时间，当然这种工作时间计算方法是相当保守的，因为 11.06 ms 中已包含了部分随机回退时间，但是一定的工作时间余量保证了传感器数据的可靠传输。同时，考虑到无线射频芯片 RF230 的休眠激活时间为 1.1 ms，为了可靠地传输数据，将此激活时间也一起并入到系统反应时间中，故：

$$T_w = 20.98 \text{ ms} + 1.1 \text{ ms} = 22.08 \text{ ms} \quad (4)$$

$$T_{s1} = T_{\alpha} - T_w = 1\ 000 \text{ ms} - 22.08 \text{ ms} = 977.92 \text{ ms} \quad (5)$$

则在一小时内，整体功耗为：

$$[(T_w \times 14\text{mA} + T_{sd} \times 7.5\mu\text{A}) + (T_w \times 16.5\text{mA} + T_{sl} \times 20\text{nA})] \times 3\ 600\text{s} = 2\ 436.493 \text{ mAs} = 0.676\ 8 \text{ mAh}$$

(上接第 2382 页)

3) 存储 BIT 数据：成品检测到故障后，可上报所属系统或中央测试系统，并将故障编码存储到成品掉电保护存储器中。在部队级或中间级维护时，可借助主机提供的便携式辅助维护设备 (PMA) 显示或下载故障信息。

### 5 结束语

根据现代飞机测试性设计的需求，分飞机级、系统级、机载设备级 3 个层次论述了测试性详细设计的方法。对系统级测试性设计的核心技术，即基于模块测试与维护总线的边界扫描技术，给出了系统架构和分层测试策略。这部分工作完成后，就可以进行试制与试验工作，迭代顶层设计及更改详细设计，直至满足测试性设计的总体要求。

监测节点采用的电池容量为 3 000 mAh 时，整个系统的工作时间为  $t = 3\ 000 / 0.676\ 8 = 4\ 432$  小时，即可连续工作  $4\ 432 / 24 = 184$  天。

### 5 结束语

该可燃气体监测系统以无线传感网络和安卓系统平台为基础，能对可燃气体泄露的情况进行实时监测和报警，且具有体积小、成本低、功耗低、布设简单、功能易扩展的优点，特别适用于监控区域范围小而分散场所。该系统已完成实验室模型开发和测试，效果良好。下一阶段会根据实际情况进行实地测试，并实现移动监控终端与手机的整合，借助安卓系统平台，通过相应的功能软件和通用型信号接收器的设计，将移动监控终端的功能移植到智能手机上，借助安卓手机的普遍性进一步降低成本。

#### 参考文献：

- [1] 王湘云, 董大波. 基于短距离无线/有线通信的燃气监测报警系统 [J]. 电子技术应用, 2013, 39 (7): 83-87.
- [2] 万国峰. 基于专家系统的煤矿安全监测监控系统 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (10): 1424-1426.
- [3] 王睿, 余有灵. 基于 MSP430 单片机的城市燃气监测系统 [J]. 微型机与应用, 2013, 32 (4): 30-32.
- [4] Culler D. Tiny OS [EB/OL]. (2013. 05. 12). <http://www.tinyos.net>.
- [5] Hill J, Szewczyk R, Woo A, et al. Architectural support for programming languages and operating systems [M]. 2000: 93-104.
- [6] Gay D, Levis P. nesC 1. 1 语言参考手册 [M]. 2003, 5.
- [7] Kernighan B W, Ritchie D M. C 语言程序设计 (第二版) [M]. NJ: Prentice Hall, 1988.
- [8] 潘浩, 董齐芬, 张贵军. 无线传感器网络操作系统 TinyOS [M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [9] Levis P. message\_t [EB/OL]. (2013. 05. 12). <http://www.tinyos.net/tinyos-2.1.0/doc/html/tep111.html>.
- [10] 张建阳, 赵祥模. 基于多接口无线传感节点的油罐车监测系统 [J]. 测控技术, 2012, 31 (10): 25-28.
- [11] 武仁杰. 基于 ZigBee 的矿井监测节能系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (7): 1818-1820.

#### 参考文献：

- [1] GJB 2547-95 装备测试性大纲 [S]. 国防科学技术委员会, 1995.
- [2] 崔广宇, 等. 现代飞机顶层测试性及综合诊断设计方法 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (12): 3181-3184.
- [3] 石君友. 测试性设计分析与验证 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [4] 林典雄, 李岩, 张勇. 航空装备综合诊断的现状与发展设想 [J]. 航空工程进展, 2011, 2 (3): 349-354.
- [5] 连光耀, 黄考利, 等. 装备测试性设计与维修诊断一体化关键技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (1): 1-4.
- [6] 刘九州, 王健. 边界扫描测试技术发展综述 [J]. 电光与控制, 2013, 20 (2): 46-50.
- [7] 刘晓斌, 管壮根, 等. 基于边界扫描技术的复杂电子设备系统级测试研究 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (2): 1795-1798.
- [8] 陈星, 黄考利, 等. 从 1149.1 标准到 1149.7 标准分析边界扫描技术的发展 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (8): 1460-1463.