

# 基于 ARM 和 Android 的通用化农田信息检测终端研究

江朝晖<sup>1</sup> 李 想<sup>1</sup> 马友华<sup>2</sup> 许正荣<sup>1</sup> 饶 元<sup>1</sup>

(1. 安徽农业大学信息与计算机学院, 合肥 230036; 2. 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036)

**摘要:** 为了提高复杂、多样的农田信息检测效果,运用通用化设计概念和高性能硬、软件技术方案,设计了一种便携式、可配置的农田信息检测终端。采用主流的 ARM Cortex - A8 嵌入式处理器与 Android 操作系统相结合的一体化架构,集成 AD、232、485、USB 传感器接口,按键、触摸屏、液晶屏人机交互模块,SD 卡、USB、3G、WiFi、Bluetooth 数据交换模块,北斗/GPS 双模定位模块以及电源/电量计模块,定制、移植核心驱动程序和 HAL 库层、JNI 接口层。测试及应用试验表明,检测终端可选择配接或同时配接模拟/数字式、电流/电压型以及视频/图像摄像头等多种类型传感器,实现对土壤及大气参数、作物图像和地理信息的采集,并具有多种模式的数据展示和交换功能;模拟信号检测误差小于 0.669 5%,3G 无线通信下载速率达 1 248 Kb/s,整机最大功耗小于 3.6 W,检测终端外观尺寸 152 mm × 83 mm × 34 mm,整机质量仅 330 g。该检测终端易于配置或二次开发,使用方便,满足农田信息的全面、高效和精准检测需求。

**关键词:** 农田信息; 检测终端; ARM; 安卓系统; 通用化

**中图分类号:** TP216<sup>+</sup>.1; S237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)11-0294-07

## Universal Detecting Terminal for Farmland Information Based on ARM and Android

Jiang Zhaohui<sup>1</sup> Li Xiang<sup>1</sup> Ma Youhua<sup>2</sup> Xu Zhengrong<sup>1</sup> Rao Yuan<sup>1</sup>

(1. School of Information and Computer Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

2. School of Resource and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

**Abstract:** In order to improve the detection performance on the increasing complex and diverse farmland information, a portable and configurable farmland information detection terminal was developed using a solution of high performed software and hardware based on the notion of universal design. An all-in-one framework which combines the mainstream embedded processor of ARM Cortex - A8 S5PV21 and the popular Android 4.0 operating system was adopted in this device. The key interfaces and modules include sensor interfaces of AD/232/485/USB, human - machine interaction modules of push-button/multi point capacitive touch screen/HD IPS LCD screen, data exchange modules of SD Card/USB/3G/WiFi/Bluetooth, dual mode positioning module of Beidou/GPS, and power supply/electric meter module. The core drivers, HAL library & JNI interfaces layer were customized or translated in the software to facilitate software development. Test and application showed that the proposed terminal was successfully configured with options of multiple sensors, such as analog/digital, current/voltage and video/image cameras, which demonstrated good capability of acquiring information on the soil and atmospheric parameters, crop images and geography, and had rich functionality of data presentation and exchange with multiple modes. The detection error of analog signal was less than 0.669 5%, the download rate of 3G wireless communication was as fast as 1 248 Kb/s, and the maximum power consumption of the whole device was

收稿日期: 2016-05-31 修回日期: 2016-08-16

**基金项目:** 安徽省科技攻关项目(1501031102)、安徽省自然科学基金项目(1508085MF110、1608085QF126)和农业部引进国际先进农业科学技术计划(948 计划)项目(2015-Z44)

**作者简介:** 江朝晖(1968—),男,教授,博士,主要从事农业信息检测与处理研究,E-mail: jiangzh@ahau.edu.cn

less than 3.6 W. The outline dimension was 152 mm × 83 mm × 34 mm, and the weight was only 330 g. The detection terminal was easy in configuration, or in secondary development, and can be conveniently applied in farmland. The proposed terminal fully meets the need of farmland information acquisition in terms of comprehensiveness, high efficiency and accuracy.

**Key words:** farmland information; detection terminal; ARM; Android system; general utilization

## 引言

农田信息主要包括土壤、大气、作物和地理位置等参数<sup>[1]</sup>。全面、准确、高效地获取这些农田信息才能满足精准农业和数字农业的需求<sup>[2-3]</sup>,为种植业生产管理提供科学依据,从而提高作物产量和品质<sup>[4-5]</sup>。

专用化和通用化是检测技术的 2 种发展模式<sup>[6]</sup>,现有农业信息检测仪器以专用化设计为主<sup>[7-8]</sup>。由于农田环境的复杂性和信息的多样性,专用化检测设备不可避免地存在一些不足:一方面是信息采集的局限,由于检测仪器是针对具体需求专门设计的,功能较单一,只能配接特定的传感器、检测某些特定的田间参数<sup>[9-10]</sup>,不具有扩展或二次开发能力,当要检测其他更多参数时,必须交叉使用不同的检测仪器,操作不便且成本高;另一方面是信息利用的局限,一般只具有数值显示、本机保存、串口下载或 GPRS 传输等少数功能<sup>[11]</sup>,难以满足多样化的数据展示、处理、存储和传输等需求。

技术方案是制约检测仪器通用性的重要因素。传统检测仪器一般采用以单片机或简易嵌入式微处理器为核心的技术架构<sup>[9-10,12]</sup>,芯片处理能力弱、外设接口少,管理和驱动能力匮乏<sup>[13-15]</sup>,因此从根本上限制了检测仪器性能的发挥,从而导致采集和使用的通用性不足,包括多种不同类型传感器接入困难、人机交互性能差、信息交换功能单一、新型功能模块难以集成等。

针对上述问题,本文遵循通用化设计概念,采用高性能的硬软件技术方案,研制一种便携式、可配置或二次开发的农田信息检测终端。

## 1 检测终端总体架构

针对复杂、多样的田间信息和全面、准确、高效的检测需要,以及现有检测方法和仪器在采集过程及信息利用上通用化和技术性能的不足,本文采用通用化设计概念,运用新型系统架构,在提高技术性能的基础上拓展通用性。

硬件上,采用低功耗、高性能的 ARM Cortex - A8 S5PV210 CPU<sup>[16-17]</sup>,配合大容量内存和 Flash 闪存;集成 AD、232、485、USB 等硬件接口,保证模拟/

数字式、电流/电压型以及视频/图像摄像头等各种常用传感器的兼容接入;设计按键、触摸屏和液晶屏组成的输入/输出通道,以及 SD 卡保存、USB 下载、3G/WiFi/Bluetooth 无线通信等模块,提高人机交互和数据交换性能;为保证在信号不稳定环境下有效定位,采用北斗和 GPS 双模定位方式<sup>[18-19]</sup>;设计具有宽输入电压、大输出电流和电量显示功能的电源模块,方便便携式仪器使用。软件上,为了降低二次开发难度和成本,以普及型 Android 操作系统为移植目标,集成 Android HAL(硬件抽象层)硬件库<sup>[20-22]</sup>,提高系统扩展性和通用性,并以 Android 标准数据库 SQLite 为核心设计数据显示、查询、上传和导出模块<sup>[23]</sup>。检测终端总体结构如图 1 所示。

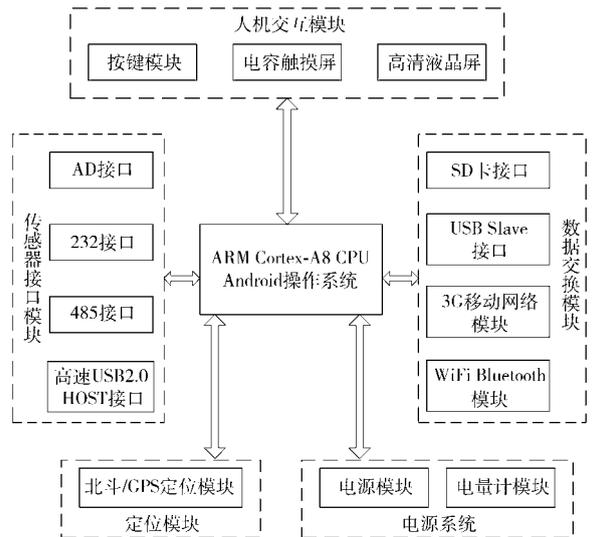


图 1 检测终端总体结构框图

Fig. 1 Structure diagram of detection terminal

## 2 硬件电路设计

### 2.1 传感器接口模块

传感器可分为模拟式和数字式,模拟式传感器一般包括电流型和电压型,数字式传感器一般包括 232 型、485 型和 USB 型。由于主控芯片 S5PV210 具有 10 个 12 位高精度 AD 接口、4 个 232 串口、1 个全速 USB HUD 接口,其 USB 接口可以转接多级 USB 集线器,因此传感器接口设计如图 2 所示。检测终端提供 6 个 AD 接口,最多可同时接入 6 个模拟型传感器。每个 AD 输入端都可以根据传感器类型决定是否接入精密电阻,其中电压型传感器不需

要接入电阻,电流型传感器要求接入电阻,电阻值计算式为

$$R = \frac{3.3}{I_{max}} \quad (1)$$

式中  $I_{max}$  ——传感器满量程时的最大电流

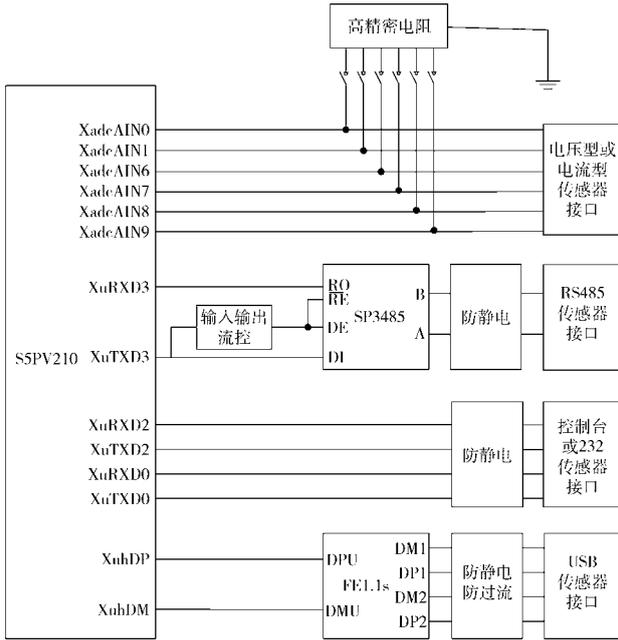


图2 传感器接口框图

Fig. 2 Structure diagram of sensor interfaces

检测终端接出4个232串口,其中COM0和COM1预留为检测终端控制台和北斗、GPS的数据通信接口,COM2作为232传感器接口,COM3由SP3485芯片转换为RS485传感器接口,最多可同时接入128个232型或485型数字传感器<sup>[24]</sup>。RS485采用自主控制输入输出流方案,即由SP3485芯片的DI脚(S5PV210的XuTXD3)取得收发状态,由输入输出流控制电路设置SP3485芯片RE和DE脚的电平状态,控制输入输出状态<sup>[25]</sup>。接口电路加入TVS保护电路<sup>[26]</sup>,可以有效防止静电或雷击的高压击穿。S5PV210处理器拥有1个全速(480 Mb/s)USB HUD接口,采用高速4端口集线器转换芯片FE1.1S<sup>[27]</sup>,提供4个USB端口,满足视频/图像摄像头等USB型传感器的接入要求。

### 2.2 人机交互模块

检测终端的输出显示采用高清IPS液晶屏,而输入通道由多点触摸电容屏和实体控制按键组成。采用4.3寸480像素×800像素高清IPS液晶屏,最大亮度可达到500 cd/m<sup>2</sup>,阳光下可视性良好,最大功耗1.25 W,可显著提高仪器续航时间。屏幕接口为24位RGB+SPI,分别提供LCD数据接口和控制接口。采用5点低延时电容触摸屏,I<sup>2</sup>C接口,延时极低,支持息屏状态下手势唤醒功能。液晶屏和触摸屏采用G+G方案,提高了屏幕通透性和屏幕硬

度。4个实体按键采用中断方式触发,默认为Android系统的标准按键,也可自定义为其他控制功能。

### 2.3 数据交换模块

数据交换模块如图3所示,包括无线数据交换方式、USB Slave数据交换方式和SD卡存储方式,其中无线数据交换方式包括3G移动网络、无线局域网(WiFi)和蓝牙(Bluetooth)。

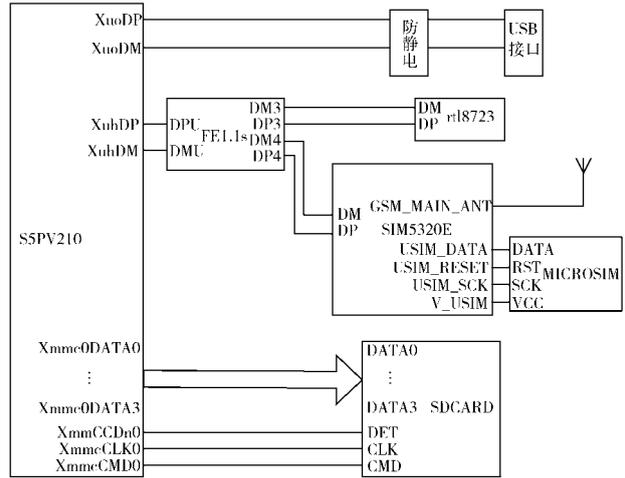


图3 数据交换模块框图

Fig. 3 Structure diagram of data exchange modules

3G模块采用高性价比、低功耗的WCDMA/HSDPA芯片SIM5320E<sup>[28]</sup>,保证数据和图片的远程传输性能,传输速率和可靠性远超传统检测仪采用的GPRS传输方式。WiFi和Bluetooth采用rt18723bu二合一模块,提供廉价的近距离无线数据交换方式。SD卡存储和USB Slave方式为数据交换提供了更多的选择。

### 2.4 地理定位模块

采用北斗和GPS双模定位方式,提高信号不稳定情况下的定位效果。GPS和BD2联合定位的伪距方程<sup>[29]</sup>表示为

$$\begin{cases} p_{B1} = \sqrt{(x_{B_{i1}} - x_r)^2 + (y_{B_{i1}} - y_r)^2 + (z_{B_{i1}} - z_r)^2} + c\Delta t_{Br} \\ p_{B2} = \sqrt{(x_{B_{i2}} - x_r)^2 + (y_{B_{i2}} - y_r)^2 + (z_{B_{i2}} - z_r)^2} + c\Delta t_{Br} \\ p_{G1} = \sqrt{(x_{G_{i1}} - x_r)^2 + (y_{G_{i1}} - y_r)^2 + (z_{G_{i1}} - z_r)^2} + c\Delta t_{Gr} \\ p_{G2} = \sqrt{(x_{G_{i2}} - x_r)^2 + (y_{G_{i2}} - y_r)^2 + (z_{G_{i2}} - z_r)^2} + c\Delta t_{Gr} \\ p_{G3} = \sqrt{(x_{G_{i3}} - x_r)^2 + (y_{G_{i3}} - y_r)^2 + (z_{G_{i3}} - z_r)^2} + c\Delta t_{Gr} \end{cases} \quad (2)$$

式中  $(x_r, y_r, z_r)$  ——接收机的位置  
 $p_{B1}, p_{B2}$  ——北斗系统卫星伪距  
 $p_{G1}, p_{G2}, p_{G3}$  ——GPS卫星伪距  
 $(x_{B_{i1}}, y_{B_{i1}}, z_{B_{i1}})$  ——第*i*颗北斗卫星的位置坐标  
 $(x_{G_{i1}}, y_{G_{i1}}, z_{G_{i1}})$  ——第*i*颗GPS卫星的位置坐标  
 $c$  ——光速

$\Delta t_{Br}$ 、 $\Delta t_{Gr}$ ——北斗系统和 GPS 系统与接收机的时钟差

选用国产北斗/GPS 双模定位芯片 UM220-III N 设计定位模块<sup>[30]</sup>，其电路简单，定位精度达到 2.5 m，冷启动定位速度 30 s，热启动定位速度 1 s。

### 2.5 电源系统模块

电源系统由 5 部分电路组成，分别是 5 V 主供电电源、3.3 V 供电电源、3.6 V 3G 供电电源、传感器供电电源和电量计模块。检测终端采用 7.4 V 3 400 mA·h 可充电锂电池供电，5 V 主供电电源由锂电池经高转换效率电源芯片 MP2303 获得，支持 4.75 ~ 28 V 宽输入电压，最大输出电流达到 3 A。3.3 V、3.6 V 和传感器供电电源分别由 5 V 主供电电源经 AMS1086-3.3、LT1086-3.6 和 LM2577 等芯片转换而来。电量计电路由 MAX17040G 芯片组成<sup>[31]</sup>，内置 ModelGauge 算法，可以准确测量出电量信息。

## 3 软件系统设计

### 3.1 软件驱动和接口

软件系统移植主要包括 Uboot、Linux Kernel (内核) 和 Android 系统 3 部分<sup>[24]</sup>，其中 Linux Kernel 移

植、修改的优劣直接决定着整个系统的运行性能。如表 1 所示，本文专门编写或移植的主要硬件驱动可分为输入输出驱动和模块驱动，输入输出驱动包括 RGB 驱动、RGB 液晶屏控制 (SPI) 接口控制驱动、电容触摸屏驱动、背光控制驱动和背光调节驱动 (PWM) 等，模块驱动包括 3G 模块驱动、3G 模块 ril 驱动和北斗/GPS 驱动<sup>[32]</sup>。

表 1 核心驱动列表

Tab.1 List of core drivers

序号	设备或其他	驱动程序源代码在内核中的位置
1	RGBLCD	linux-3.0.8/drivers/video/
2	电容屏触摸	linux-3.0.8/drivers/input/touchscreen/
3	LCD 背光	linux-3.0.8/drivers/input/touchscreen/
4	3G 模块	linux-3.0.8/drivers/usb/serial/
5	3G 模块 ril	
6	北斗/GPS 模块 HAL	

Android 系统对硬件的操作一般按照 kernel→HAL→JNI→API→APP 的调用过程，其中硬件厂商没有提供的 HAL 库层和 JNI 接口层则需要自行定制。图 4 所示的 camera.usb.so、libXXXX-hardware.so 等即是由本文专门定制或移植的 HAL 库层和 JNI 接口层<sup>[21-22]</sup>。

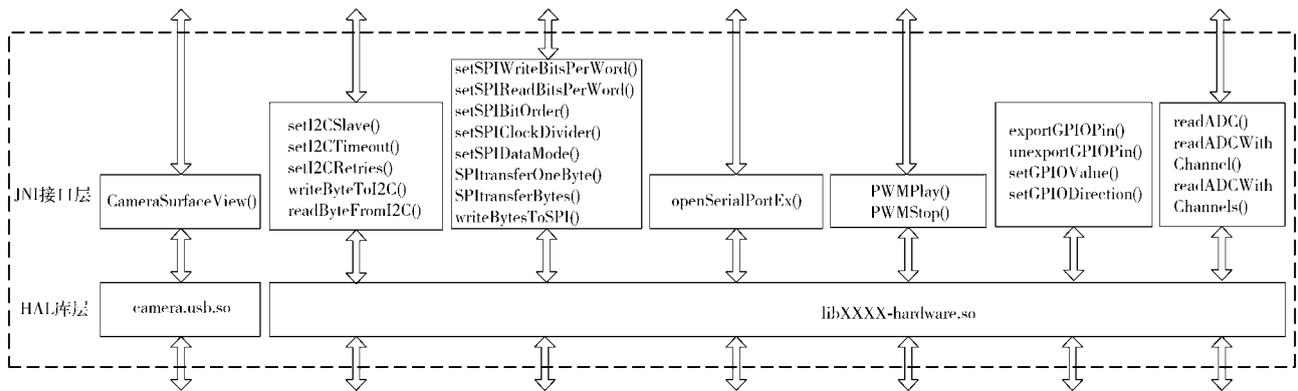


图 4 HAL、JNI 层定制结构

Fig. 4 Custom-made structure of HAL and JNI layer

### 3.2 数据采集软件设计

数据采集软件流程如图 5 所示。在打开本次检测对应的 APP 并设置，北斗/GPS 定位启动和传感器接入后，终端从服务器中下载传感器信息表，根据比对结果自动获得传感器的类型和数量，启动相应的硬件驱动，并发送对应的指令到传感器，开始采集并获得数据。

传统检测设备一般将采集结果按固定的大小存储到 EPROM 中或直接存储为 txt 文件，会导致数据的保存和使用不便。本文采用 Android 标准数据库 SQLite 进行数据存储<sup>[33]</sup>，其体积小、占用资源少、支持传统的 SQL 语言，为检测仪这种轻型数据存储、查询、处理提供了极大的方便。

### 3.3 数据交换软件设计

数据交换设计为实时 (手动) 和定时 (自动) 2 种工作模式。其中实时存储传输方式包括 3G 或 WiFi 传输到远程数据库、本机 SQLite 数据库存储以及 SMS/MMS 发送到用户手机终端；定时存储传输方式包括 3G 或 WiFi 传输到远程数据库和本机 SQLite 数据库存储。本机 SQLite 数据库的信息可以由 SD 卡、USB、3G、WiFi 和 Bluetooth 5 种方式导出。流程如图 6 所示。

## 4 终端测试与应用

### 4.1 性能测试

经检测，该终端可选择配接或同时配接模拟/数

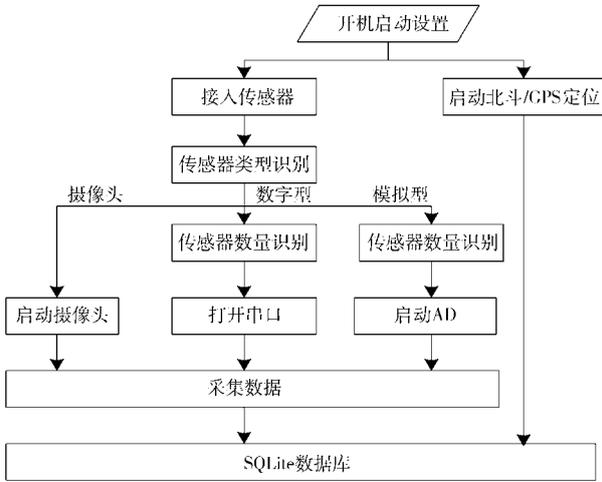


图 5 数据采集软件流程图

Fig. 5 Software diagram of data acquisition

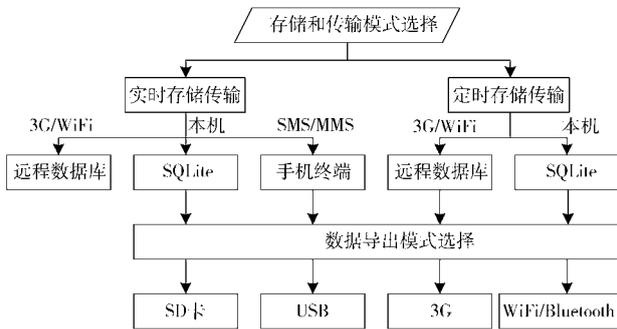


图 6 数据交换软件流程图

Fig. 6 Software diagram of data exchange

字式、电流/电压型以及视频/图像摄像头等多种类型传感器,并可使用集线器进行传感器接口的扩增。按键和触摸屏输入反应灵敏,时滞性较小,设置方便,液晶屏显示清晰,野外可视性良好。地理定位精度和速度性能良好。检测信息可保存至本机数据库,以表格、曲线或图片的方式进行显示和查询,并可通过SD卡、USB下载、3G、WiFi和Bluetooth等5种方式导出。检测终端外观尺寸152 mm×83 mm×34 mm,整机质量为330 g,可单手操作,便于携带和使用。

为对采集性能、通信性能和功耗等核心指标进行定量测试,将标准电源输出的3.3、3.0、2.0、1.0、0.5 V直流电压分别接入AD端口,测试模拟信号采集精度;以不同频率的标准3.3 V正弦电压为参考输入,测试其采集速率(图7,20 Hz频率下)。结果显示,基于Android操作系统的AD采集误差小于0.669 5%,AD采集最快速率达到350次/s。

通信性能测试包括3G传输速率及时延、TCP/IP上传速率。其中传输速率计算式<sup>[34]</sup>为

$$A = C \left( 1 - \frac{\Delta t_{out} - \Delta t_{in}}{\Delta t_{in}} \right) \quad (3)$$

式中  $\Delta t_{in}$  ——发送端时间间隔  
 $\Delta t_{out}$  ——接收端时间间隔

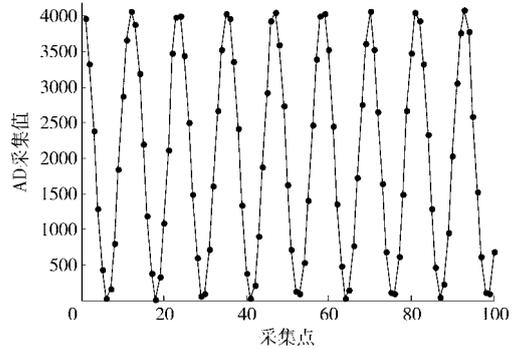


图 7 AD采集速率测试结果

Fig. 7 Test results of AD sampling rate

C——瓶颈带宽

经10次试验测试,3G下载速率达1 248 Kb/s,时延180.167 ms,TCP/IP数据上传稳定,传输速率7.512 Kb/s,表明通信性能良好。

测量检测终端在各种状态下的功耗(表2),并在标称7.4 V 3 400 mA·h可充电锂电池供电下,测量终端处于空载状态下最大工作时长。结果表明,检测终端休眠状态下平均功耗极低,整机最大功耗小于3.6 W,空载状态下(保持屏幕亮度最大)最大工作时长达6 h。

表 2 终端功耗测试结果

Tab. 2 Test results of power consumption performance

状态	开机	空载	休眠	工作	发送数据
功耗/W	<3	2.5~2.8	<1.1	2.9~3.6	<3.6

### 4.2 应用试验

将研制的终端配置为土壤多参数检测仪,并进行应用试验。外接土壤温湿度传感器(SWR-100W型)、土壤电导率传感器(ST-EC型)和土壤pH值传感器(ST-PH型),由1个集线器接入(图8)。在野外选择5个不同测试点,选取10 cm处的土壤剖面同时进行土壤温度、湿度、电导率和pH值检测。



图 8 检测终端应用(土壤多参数检测)

Fig. 8 Application of detection terminal (multi parameters detection of soil)

每个测试点进行 10 min 连续测试,每隔 10 s 采集 1 次数据,存储到本机 SQLite 数据库。检测结果如表 3 所示。可以看出,系统采集性能稳定,5 个采集

点各项土壤特性数据和定位信息重复性、一致性好。进一步分析表明,终端系统误差极低,检测精度仅取决于使用的传感器。

表 3 土壤多参数检测试验结果

Tab. 3 Results of multi parameters detection of soil

参数	测试点 1	测试点 2	测试点 3	测试点 4	测试点 5
土壤容积含水率/%	0.313 0 ± 0.000 1	0.374 2 ± 0.001 6	0.270 1 ± 0.000 1	0.350 4 ± 0.002 6	0.251 2 ± 0.000 6
土壤温度/℃	25.000 0 ± 0.000 01	23.430 9 ± 0.046 5	23.700 0 ± 0.000 3	25.665 1 ± 0.048 1	24.618 0 ± 0.038 8
土壤 pH 值	6.770 0 ± 0.028 2	6.837 5 ± 0.021 8	6.732 5 ± 0.009 8	6.589 4 ± 0.038 9	6.550 0 ± 0.000 7
土壤电导率/(mS·cm <sup>-1</sup> )	0.159 0 ± 0.005 5	0.500 4 ± 0.005 0	0.247 5 ± 0.004 7	0.109 2 ± 0.004 1	0.295 2 ± 0.005 7
测试点经度/(°)	117.257 402 ± 0.000 031	117.258 525 ± 0.000 131	117.259 846 ± 0.000 152	117.257 358 ± 0.000 050	117.259 262 ± 0.000 043
测试点纬度/(°)	31.875 010 ± 0.000 040	31.873 952 ± 0.000 100	31.873 139 ± 0.000 052	31.874 320 ± 0.000 031	31.872 963 ± 0.000 014

注:表中数据为均值和标准差。

## 5 结论

(1)检测终端选取主流的嵌入式 ARM 微处理器与 Android 操作系统相结合的一体化架构,为通用化拓展和高性能奠定了基础。

(2)对传感器接口、人机交互和数据交换等硬件电路进行了通用化设计,解决了影响通用性的关键问题,并在地理定位和电源系统上进行了改进。

(3)对软件驱动和接口进行了合理移植和定制,并设计了基于 SQLite 标准数据库的采集和交换软件,保证了系统调用和信息利用的性能,降低了二

次开发的难度。

(4)测试和应用试验表明,终端功能完备,性能良好,通过配接所需传感器即可对农田土壤及大气参数、作物图像和地理信息等进行精准、便捷检测,并具有多种模式的数据展示和交换功能。模拟信号检测误差小于 0.669 5%,3G 无线通信下载速率达 1 248 Kb/s,整机最大功耗小于 3.6 W,检测终端外观尺寸 152 mm × 83 mm × 34 mm,整机质量仅 330 g。与传统田间检测方法及设备相比,该终端通用性强,使用方便,性价比较高,易于二次开发,适用于农田多样化信息的高效、精准检测。

## 参 考 文 献

- 1 聂娟,孙瑞志,曹振丽,等. 精准农业信息物理融合系统的事件模型研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(1): 285 - 291,314. NIE Juan, SUN Ruizhi, CAO Zhenli, et al. Preliminary study on event model in cyber-physical systems for precision agriculture [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(1): 285 - 291,314. (in Chinese)
- 2 SRBINOVSKA M, GAVROVSKI C, DIMCEV V, et al. Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 88: 297 - 307.
- 3 MULLA D J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps [J]. Biosystems Engineering, 2013, 114(4): 358 - 371.
- 4 陈威,郭书普. 中国农业信息化技术发展现状及存在的问题[J]. 农业工程学报, 2013, 29(22): 196 - 205. CHEN Wei, GUO Shupu. Current situation and existing problems of agricultural informatization in China [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(22): 196 - 205. (in Chinese)
- 5 WEI Yichang, WANG Zhenying, WANG Tongchao, et al. Design of real time soil moisture monitoring and precision irrigation systems [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(17): 80 - 86.
- 6 BITELLA G, ROSSI R, BOCHICCHIO R, et al. A novel low-cost open-hardware platform for monitoring soil water content and multiple soil-air-vegetation parameters [J]. Sensors, 2014, 14(10): 19639 - 19659.
- 7 何东健,何勇,李民赞,等. 精准农业中信息相关科学问题研究进展 [J]. 中国科学基金, 2011, 25(1): 10 - 16. HE Dongjian, HE Yong, LI Minzan, et al. Research process of information science-related problems in precision agriculture [J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2011, 25(1): 10 - 16. (in Chinese)
- 8 SEGUNDO A K R, MARTINS J H, MONTEIRO P M D B, et al. A novel low-cost instrumentation system for measuring the water content and apparent electrical conductivity of soils [J]. Sensors, 2015, 15(10): 25546 - 25563.
- 9 徐坤,张西良,李萍萍,等. 便携式无土栽培基质多参数无线检测仪 [J]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 302 - 309. XU Kun, ZHANG Xiliang, LI Pingping, et al. Development of portable wireless detector for multi-parameter of soilless cultivation substrates [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 302 - 309. (in Chinese)
- 10 赵燕东,李宁,皮婷婷. 基于交流“四端法”的土壤电导率在线实时检测系统 [J]. 农业机械学报, 2015, 46(8): 299 - 307. ZHAO Yandong, LI Ning, PI Tingting. Soilelectrical conductivity online real-time detection system based on four-electrode method [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(8): 299 - 307. (in Chinese)
- 11 江朝晖,檀春节,支孝勤,等. 基于频域反射法的便携式土壤水分检测仪研制 [J]. 传感器与微系统, 2013, 32(1): 79 - 82.

- JIANG Zhaohui, TAN Chunjie, ZHI Xiaoqin, et al. Development of portable soil moisture detector based on principle of frequency domain reflectometry[J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2013, 32(1):79-82. (in Chinese)
- 12 裴晓帅, 孙红, 郑立华, 等. 车载式土壤光-电特性参数采集系统研究[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(增刊):90-95.  
PEI Xiaoshuai, SUN Hong, ZHENG Lihua, et al. Development of movable acquisition system for soil optical-electrical parameters [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(Supp.):90-95. (in Chinese)
- 13 钟苏丽, 侯卫平. 基于  $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$  的农业灌溉系统的实现[J]. *农机化研究*, 2014(6):206-209.  
ZHONG Suli, HOU Weiping. A realization of agricultural irrigation system based on  $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$  [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2014(6):206-209. (in Chinese)
- 14 郭文川, 程寒杰, 李瑞明, 等. 基于无线传感器网络的温室环境信息监测系统[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(7):181-185.  
GUO Wenchuan, CHENG Hanjie, LI Ruiming, et al. Greenhouse monitoring system based on wireless sensor networks[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(7):181-185. (in Chinese)
- 15 BABU V S, SRINIVAS D. Embedded wireless data transfer to cloud for agriculture application based on GPRS[J]. *International Journal of Science Engineering and Advance Technology*, 2015, 3(11):863-866.
- 16 李宇成, 黄堂猛. 基于 S5PV210 的 1080P 网络摄像头设计[J]. *计算机工程与设计*, 2014, 35(11):3813-3819.  
LI Yucheng, HUANG Tangmeng. Design and implementation of 1080P IP camera based on S5PV210[J]. *Computer Engineering and Design*, 2014, 35(11):3813-3819. (in Chinese)
- 17 YUAN Z, ZHANG Z, HAN X, et al. Vehicle navigation embedded terminal design based on beidou positioning technology[C]// 2015 7th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2015, 1:479-482.
- 18 高星伟, 过静珺, 程鹏飞, 等. 基于时空系统统一的北斗与 GPS 融合定位[J]. *测绘学报*, 2012, 41(5):743-748,755.  
GAO Xingwei, GUO Jingjun, CHENG Pengfei, et al. Fusion position of Compass/GPS based on spation temporal system unification[J]. *Acta Geodaetica et Cartographic Sinica*, 2012, 41(5):743-748,755. (in Chinese)
- 19 HE H, LI J, YANG Y, et al. Performance assessment of single- and dual-frequency BeiDou/GPS single-epoch kinematic positioning[J]. *GPS Solutions*, 2014, 18(3):393-403.
- 20 孟小华, 黄宗轩. Android 系统非标准设备驱动程序设计[J]. *微型机与应用*, 2011, 30(14):7-9,12.  
MENG Xiaohua, HUANG Zongxuan. The design of non-standard device driver for Android[J]. *Microcomputer & Its Applications*, 2011, 30(14):7-9,12. (in Chinese)
- 21 KIM Y J, CHO S J, KIM K J, et al. Benchmarking Java application using JNI and native C application on Android[C]// International Conference on Control, Automation and Systems, 2012:284-288.
- 22 HAO H, SINGH V, DU W. On the effectiveness of API-level access control using bytecode rewriting in Android[C]// Proceedings of the 8th ACM SIGSAC symposium on Information, Computer and Communications Security, 2013:25-36.
- 23 沈文伟, 杨建华, 陈叶富, 等. 嵌入式数据库 SQLite 在可视嗅觉系统中的应用[J]. *仪器仪表学报*, 2010, 31(6):1289-1293.  
SHEN Wenwei, YANG Jianhua, CHEN Yefu, et al. Application of embedded database SQLite in smell-seeing system[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2010, 31(6):1289-1293. (in Chinese)
- 24 江贤志, 刘华章, 张教育, 等. 基于 C8051F020 单片机的 RS485 串行通信设计[J]. *电子测量技术*, 2014, 37(3):121-124.  
JIANG Xianzhi, LIU Huazhang, ZHANG Jiaoyu, et al. Design of RS485 serial communication based on MCU C8051F020[J]. *Electronic Measurement Technology*, 2014, 37(3):121-124. (in Chinese)
- 25 张卫星, 张桂香, 谭成午. 基于 STM32 的环境多点监测系统设计与实现[J]. *计算机测量与控制*, 2014, 22(10):3141-3143,3164.  
ZHANG Weixing, ZHANG Guixiang, TAN Chengwu. Design of multipoint monitoring system on environment based on STM32 [J]. *Computer Measurement & Control*, 2014, 22(10):3141-3143,3164. (in Chinese)
- 26 XIA B. Research some problem on the RS-485 interface[J]. *Basic Automation*, 2002(1):23.
- 27 孟志达. 多功能 USB 2.0 集线器的设计与实现[J]. *计算机与现代化*, 2012(9):73-75,114.  
MENG Zhida. Design and implementation of multi-function USB 2.0 Hub[J]. *Computer and Modernization*, 2012(9):73-75, 114. (in Chinese)
- 28 MAO K K, ZHU X J, KANG W Q. Collection and transmission of BEV remote dynamic tracking system[J]. *Instrumentation Technology*, 2013(6):5.
- 29 曹昌龙. 北斗二代定位算法优化设计与应用[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.  
CAO Changlong. Localization algorithm optimization design and application of the second generation beidou system[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2014. (in Chinese)
- 30 怀洋, 邵琼玲, 路振民. 北斗/GPS 混合定位模块 UM220 应用研究[J]. *国外电子测量技术*, 2014, 33(3):76-79.  
HUAI Yang, SHAO Qiongling, LU Zhenmin. Application research of UM220 Beidou/GPS hybrid position module[J]. *Foreign Electronic Measurement Technology*, 2014, 33(3):76-79. (in Chinese)
- 31 TARKOMA S, SIEKKINEN M, LAGERSPETZ E, et al. Smartphone energy consumption: modeling and optimization[M]. London: Cambridge University Press, 2014.
- 32 SHEN M, JIANG J. Design and implementation of radio interface layer in Android video telephone system[C]// International Conference on Computer Science and Network Technology, 2011:1429-1432.
- 33 ZHAO A, WEI Z, YANG Y. Research on SQLite database query optimization based on improved PSO algorithm[J]. *International Journal of Database Theory and Application*, 2016, 9(4):239-246.
- 34 SESIA S, TOUFIK I, BAKER M. LTE-the UMTS long term evolution[M]. Hoboken: John Wiley, 2015.