

基于 Android 系统的光谱传感物联网移动终端设计

魏永畅^{1,2,3,4}, 王绪泉^{1,2}, 魏 杨^{1,2,3,4}, 黄松垒^{1,2}, 方家熊^{1,2}

- (1. 中国科学院上海技术物理研究所 传感技术联合国家重点实验室, 上海 200083;
2. 中国科学院上海技术物理研究所 中国科学院红外成像材料与器件重点实验室, 上海 200083;
3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 上海科技大学, 上海 200083)

摘要: 提出了一种基于 Android 系统的光谱传感物联网移动终端软件设计, 可以实现用户与光谱传感物联网的数据交互及数据处理功能; 移动终端包括用户信息, 节点信息, 数据信息三个模块, 使用 ViewPager 类搭建双列表界面展示节点信息, 使用 SOAP 协议与云服务器进行数据交互, 可以将得到的光谱以及环境数据以图像的形式展示, 并支持图像的保存功能; 进一步在移动终端上实现了光谱数据的归一化, 一阶微分, 二阶微分, 峰值寻找等数据处理功能; 环境数据包括温度、湿度、二氧化碳浓度以及光照强度数据, 可以实时显示最新环境数据, 也可选择时间段对环境数据进行查询绘图; 经测试, 该应用程序运行稳定, 可满足光谱传感物联网移动终端的基本应用需求。

关键词: 移动终端; Android; 近红外; 光谱数据处理; 光谱传感物联网

Design of Mobile Terminal in Spectral Sensing Internet of Things Based on Android Platform

Wei Yongchang^{1,2,3,4}, Wang Xuquan^{1,2}, Wei Yang^{1,2,3,4}, Huang Songlei^{1,2}, Fang Jiaxiong^{1,2}

- (1. State Key Laboratories of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China; 2. Key Laboratory of Infrared Imaging Materials and Detectors, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Shanghai Tech University, Shanghai 200083, China)

Abstract: This paper proposes a mobile terminal software design of the spectral sensing Internet of Things (IOT) based on Android system. It can realize data interaction and data processing functions between user and spectral sensing IOT. Three modules including user information, node information and data information. Using the ViewPager class to build a double-list interface to display node information, using the SOAP protocol to do the data interaction with the cloud server. The resulting spectral and environmental data can be displayed in the form of graphic and it can be saved in the phone. Furthermore, the software realizing spectral data processing function such as normalization, first-order and second-order differential, peak-finding. Environmental data including temperature, humidity, carbon dioxide concentration and light intensity data. It can display the latest environmental data in real time, and also can select time period to query and plot environmental data. After testing, the developed software runs stably and can realize the spectral sensing IOT mobile terminal software requirements.

Keywords: mobile terminal; Android; near infrared; spectral data processing; spectral sensing internet of things

0 引言

近红外光谱是指波长在 780—2526nm 范围内的电磁波^[1]。由于绝大多数无机化合物和有机化合物的化学键的振动在近红外光谱区会产生的倍频和合频的吸收, 通过对物质的近红外光谱分析可定性或定量的分析其组分^[2]。近红外光谱分析技术具有无损、快速高效、便于在线分析及测量结果稳定性好等优点^[3], 已经广泛应用于农业、医

药、食品、纺织、石油化工等多个领域^[4]。将近红外采集设备与物联网结合起来也是当下的研究热点。

据工信部报道, 世界物联网用户已经突破十亿, 并且每一季度仍保持 2.5% 的增速^[5]。在物联网的飞速发展, 感知层成功实现了温湿度信息、位置信息、视频监控等信息的获取和感知, 关于物质光谱的定性、定量分析可以通过近红外技术来实现。传统的光谱分析仪器由于体积和成本的限制, 难以直接应用于物联网领域。为方便用户随时随地获取物质光谱信息, 本课题组以自研光谱感知节点^[6], 搭建了光谱传感物联网。如图 1 所示, 光谱传感物联网由节点区域 (BLOCK, 包括光谱节点与环境节点, 其中环境节点包括二氧化碳浓度节点、温度节点、湿度节点以及光照强度节点)、云服务器、数据库、移动终端四部分构成。光谱节点采集光谱数据上传到云数据库, 移动终端通过访

收稿日期: 2018-08-25; 修回日期: 2018-10-25。

基金项目: 科技部重点研发(2016YFB0402401); 国家自然科学基金(61475179, 61604159, 61704180)。

作者简介: 魏永畅(1993-), 男, 山东济宁人, 研究生, 主要从事光谱传感物联网技术及应用方向的研究。

通讯作者: 黄松垒(1984-), 男, 福建莆田人, 副研究员, 主要从事超大规模集成电路设计方向的研究。

问云服务器请求数据,云服务器从云数据库获取移动终端所请求的对应时间、区域的光谱数据传输给移动终端。

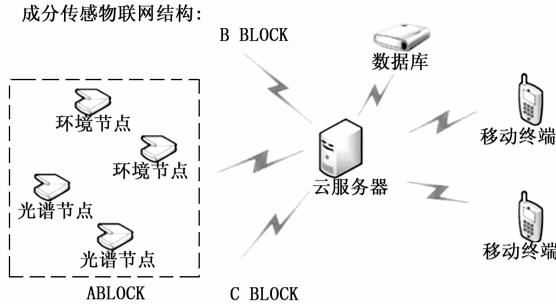


图 1 光谱传感物联网结构

近年来国内微型光谱仪移动终端软件发展迅速。哈尔滨工业大学赵杨进行了基于 Android 平台的激光光谱仪数据处理的研究,作者采用 Android 平台,利用 USB 接口连接光谱仪与移动终端实现数据传输^[7]。江苏大学耿德春进行了基于 Android 平台近红外光谱仪控制及工作状态监测的开发研究,实现通过移动终端对光谱仪的硬件控制,光谱扫描,数据与处理,模型调用等功能^[8]。桂林电子科技大学糜荣,王永,熊显名等进行了基于 Android 平台的微型光谱仪数据传输与显示研究,通过 wifi 网络将光谱仪与移动终端进行连接^[9]。但应用于光谱传感物联网的移动终端软件研究未见报道。

光谱传感物联网可突破感知节点与终端设备距离的限制,用户在蜂窝网络下即可获取数据。其中移动终端是用户与光谱传感物联网数据交互的媒介,本文对光谱传感物联网专用移动终端软件设计进行了研究。可展示物联网下光谱节点及环境节点信息,通过蜂窝网络获取数据并以图形化形式显示,以及对图像进行保存,进一步在移动终端上实现了光谱数据的归一化,一阶微分,二阶微分,峰值寻找的数据处理功能。

1 移动终端总体设计

近年来 Android 系统发展迅速,测控系统和仪器设备有使用基于 Android 操作系统的移动设备代替计算机设备的趋势,从而具有体积小、轻便易携、功耗低、处理能力强等优点^[10]。Android 是由谷歌公司推出的移动设备操作系统,基于 Linux,主要包括应用程序层、应用程序框架层、程序库、Android 运行库和 Linux 内核等部分^[11]。

本项目开发的移动终端重点在于实现手机与云服务器之间的通信及数据交互,使用户在使用蜂窝网络时可以随时随地访问数据库获取任意时刻的光谱或者环境数据,进行图形化展示及光谱数据的预处理,并将结果保存在手机。

1.1 移动终端功能设计

移动终端作为用户与光谱传感物联网交互的入口,需要实现登录注册,节点信息获取,数据获取与处理,图像数据保存功能。可分为三大模块:用户信息模块、节点信息模块以及数据信息模块,移动终端系统功能图由图 2 所示。

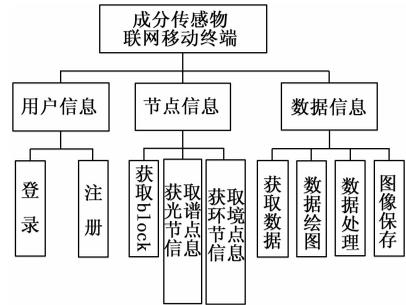


图 2 移动终端系统功能结构图

用户信息模块实现登录与注册功能。节点信息模块中由于光谱节点与环境节点是以 Block 为区域进行排布的,一个 Block 中包含数十个光谱节点与环境节点。为了提高查找对应节点信息的效率,先获取其所在 Block 信息,再从中进行查找。数据信息模块包括访问数据库获取数据,数据绘图,数据处理以及将图像保存在系统相册的功能。

1.2 移动终端开发环境

计算机系统: macOS 64 位操作系统; Java Jdk 版本: 1.8.0; Android 开发工具: Eclipse 及 Android Sdk; Android 调试环境: Android 虚拟机及魅族手机一台。

云服务器: 阿里云服务器,配置是 1 核 cpu, 2 G 内存, 1 Mbps 带宽。

数据库版本: SQL Server 2008。

2 移动终端功能实现

2.1 用户信息模块

用户信息模块实现了登录与注册这两种移动终端常用功能。

注册功能要求用户录入账户名称、密码、手机号码以及常用邮箱。当用户点击确认注册按钮时,先判断注册信息是否符合格式:格式不符合要求时会提醒用户更改注册信息,格式正确的话使用 Socket 与服务器进行通信。服务器端判断数据库中用户表里是否已经存在此账户名,如果存在则提示用户“用户名已存在,请更换”,如果不存在且用户各项信息格式正确,则在数据库用户表中新增用户,并在手机上显示注册成功。

在注册时用到的 Socket 又称“套接字”,其本质是编程接口,对 TCP/IP 进行封装。客户端和服务端进行通信,两者都要实例化一个 Socket 对象。客户端和服务端端的 Socket 是不一样的,客户端可以实现远程连接服务器、发送数据、接收数据、关闭连接等功能;服务器端还需实现绑定端口、监听到达的数据、接受来自远程机器的连接等功能。Android 在包 java.net 里提供了两个类: Socket 和 ServerSocket,前者用于实例化客户端 Socket 对象,后者用于实例化服务器 Socket 对象^[12]。客户端向服务器发送注册信息步骤如下:

1) 创建 Socket 对象

```
Socket socket = new Socket(ip,port);
```

2) 创建输出流

```
DataOutputStream ds = new DataOutputStream
(socket.getOutputStream());
3)将注册信息传送给服务器
ds.writeUTF(register_info);
4)关闭输出流与 Socket
ds.close();
socket.close();
```

其中 ip 指服务器 IP 地址, port 指服务器连接端口, register_info 指客户端发送至服务器的注册信息。

登录功能的实现使用 Soap 协议与服务器进行通信 (Soap 协议将在节点信息模块介绍), 服务器端将用户名和密码与数据库用户表中的信息进行匹配, 匹配成功后登录成功。

2.2 节点信息模块

在移动终端节点展示界面上采用双 List 列表形式展示, 左边一列展示 Block 信息, 右边一列显示所选 Block 下的节点信息。为了区分光谱节点以及环境节点, 在界面底部设置菜单栏, 分别为光谱信息、环境信息及个人信息, 由图 3 所示。底部菜单栏的设计提高了移动终端功能开发的灵活性, 因为各个菜单栏下的开发相互独立, 可以分别开发最后合并, 方便日后由于移动终端功能的改变对于模块的增加修改。

为实现菜单栏左右滑动切换页面 view 的效果, 移动终端中采用 ViewPager 类。其为 Android 扩展包 v4 中的类。建立底部菜单栏的方法如下:

1) 为底部菜单栏新建一个布局。

2) 将 ViewPager 添加到页面布局, 其下方添加底部菜单栏布局。

3) 为每个菜单对应的页面内容建立各自的布局, 通过适配器关联各个页面与 ViewPager。

4) 监听 ViewPager 与底部菜单栏事件, 进行页面的切换展示。



图3 节点信息展示界面

登陆成功后会跳转到节点显示界面, 此界面默认获取云数据库中用户名下的 Block 并进行显示。在光谱信息菜单栏时, 当选择具体的 Block 后, 移动终端会向服务器上传用户名以及 Block 信息以请求对应 Block 下的光谱节点信息, 云服务器从数据库中获取对应数据后传输给移动终端进行展示。

环境节点包括温度、湿度、二氧化碳浓度与光照强度节点。页面上的环境信息节点被选择后会跳转环境节点数据显示页面, 此页面会显示 4 种环境节点采集的最新数据。特

定选择某一个环境节点后会跳转到时间段选择页面, 用户可以选择时间段从而获取此时间段内采集的所有环境信息。环境信息菜单请求服务器获取数据的方式与光谱信息菜单的方式相同。

以上所涉及到的网络通信均采用 Soap 协议。Soap (简单对象访问协议) 是一种标准化的通信规范, 主要用于 Web 服务。Soap 基于 XML 标准, 用于在分布式环境中发布信息, 并执行远程过程调用。使用 Soap 不用考虑任何特定的传输协议 (通常选用 HTTP 协议), 就能使数据序列化^[12]。本实例中 Soap 调用 Webservice 的获取光谱数据具体步骤如下:

1) 添加 ksoap2 包。Webservice 是一种基于 SOAP 协议的远程调用标准, 通过 Webservice 可以将不同的操作系统平台, 不同技术, 不同语言整合在一块。在 Android SDK 中没有提供调用 Webservice 的库, 因此需要使用第三方的 SDK 来调用 Webservice。在这里采用 ksoap2 第三方 SDK。

2) 指定命名空间和调用的方法名, 如:

```
String namespace = "http://spectrum_data";
```

```
String methodname = "spectrum_data";
```

```
SoapObject req = new SoapObject(namespace, methodname);
```

3) 设置调用方法的参数值:

```
req.addProperty("username", username);
```

```
req.addProperty("block", blockname);
```

```
req.addProperty("lightnode", lightnode);
```

```
req.addProperty("time", time);
```

4) 生成调用 Webservice 方法的 Soap 请求信息。该信息由 SoapSerializationEnvelope 描述:

```
SoapSerializationEnvelope envelope = new SoapSerializationEnvelope(SoapEnvelope.VER10);
```

```
envelope.bodyOut = req;
```

5) 创建 HttpTransportSE 对象, 访问云服务器 url:

```
String URL = "IP_port" + "/spectrumdata
```

```
/services/spectrum_data";
```

```
HttpTransportSE transport = new HttpTransportSE(URL);
```

6) 使用 call 方法调用 Webservice 方法:

```
transport.call(null, envelope);
```

7) 使用 getResponse 方法获得 Webservice 返回的结果:

```
result = (SoapObject) envelope.getResponse();
```

8) 解析返回的内容。

在进行网络请求时需创建一个新的线程。Android 4.0 之后在主线程里执行网络请求会报 NetworkOnMainThreadException 的异常。网络请求会耗费大量时间, 造成主线程的阻塞, 使移动终端运行时出现阻塞卡顿, 所以不能在主线程里进行网络请求。创建线程并启动的方法为:

```
Thread t1 = new Thread(webInstance);
```

```
t1.start();
```

其中 webInstance 是创建的网络请求类的对象。

2.3 数据信息模块

2.3.1 数据绘图

经光谱感知节点采集到的数据信息为 204 个离散的光

谱数据点，格式为“波长—强度”。波长范围为 939~1 688 nm，强度范围为 0~1。有机分子的基团会对特定近红外波长产生吸收，因此光谱数据中蕴含着丰富的物质成分信息。但将原始数据直接以数字的方式在移动终端上进行显示，会对用户观测光谱数据造成诸多不便。因此移动终端进行光谱数据的图形化展示，这样做更为直观的展现不同波长所对应光谱的变化。

Android 中绘图常用 Paint、Canvas 类或 MPAndroid-Chart、AChartEngine 等开源图表库。本软件数据绘图部分采用 Android 开源项目 AChartEngine，其为一个制作常用图表的框架，该框架支持丰富的图表展示（如条形图、折线图、散点图、积图、气泡图等）^[13]。数据绘图的过程如下：

1) 创建二维多系列数据集用以存储光谱数据或者环境信息数据：

```
XYMultipleSeriesDataset dataset;
创建二维多系列画图器,用作设置图表的基本属性:
XYMultipleSeriesRenderer renderer;
创建 GraphicalView 对象,用以作为显示图表的 View:
GraphicalView line;
```

2) 创建 XYSeries 对象存储图表的 x , y 轴数据，即光谱数据波长与吸光度，或环境信息时间与环境数据。并添加其至 dataset。

```
XYSeries spseries;
dataset.addSeries(spseries);
for(i = 0; i < y_set.lenth-1; i++){
spseries.add(s_set[i],y_set[i]);
}
```

3) 使用 ChartFactory. getLineChartInten 方法绘图至 GraphicalView 对象，并将此对象添加至界面 View。

```
line = ChartFactory. getLineChartIntent (this, dataset, renderer);
layout. addView (line, 0);
```

2.3.2 数据处理

由于光谱感知节点本身固有的原因，所采集到的光谱数据中除了样本信息以外，还会包含其他干扰信息，如杂散光、散射光、仪器噪声等。这会对光谱图像精确性产生影响，如导致光谱的基线漂移，因此对采集到的近红外光谱数据进行预处理操作是十分必要的。

本软件中使用了两种数据处理方法，分别是归一化与微分去噪，微分方法包括一阶微分及二阶微分。实际应用中可根据需要进行预处理方法的选择。

1) 归一化^[14]：

归一化使数据处于同一范围内，可以有效减小奇异样本数据导致的误差影响。其对应的计算公式如下：

$$x_i = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (1)$$

式中， x 指处理前的吸光度， x 指处理后的吸光度。

2) 微分处理^[8]：

在近红外光谱分析中，微分（一阶微分，二阶微分）

是常用的光谱处理方法，主要作用是消除基线漂移。

一阶微分：

$$x'_i = \frac{x_{i+g} - x_i}{g} \quad (2)$$

二阶微分：

$$x''_i = \frac{x_{i+g} - 2x_i - x_{i-g}}{g} \quad (3)$$

式中， g 指微分窗口宽度，在本软件中一阶微分中 g 取 3，二阶微分中 g 取 6； x 指处理前的吸光度， x' 指处理后的吸光度。

光谱处理以及处理后的图像如图 4 所示。可以发现归一化处理将数据范围缩小至 0~1.0，一阶微分给出了整张谱图数据的变化率，二阶微分表示谱图变化率的变化情况，可以显示出原始谱图中的肩峰的确切峰位。

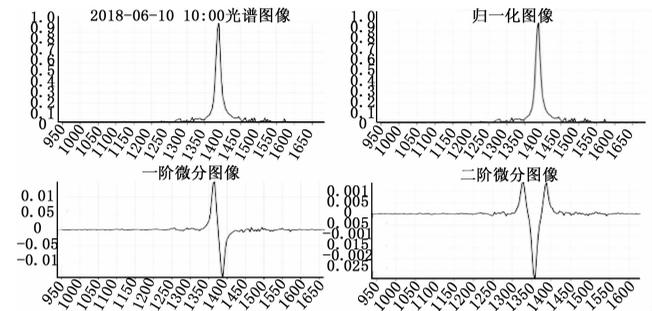


图 4 光谱数据处理

3) 峰值寻找：

近红外光谱主要是有机分子倍频与合频在近红外区域的吸收光谱^[13]。是光谱图像中蕴含物质信息最丰富的位置。因此波峰的寻找对于物质光谱的分析具有重要意义。

本软件存使用两个数组存储光谱数据，一个数组存储波长，另一个数组存储波长所对应的强度。在寻峰时使用寻找数组峰值的方法，遍历数组元素，与其周围元素进行比较，当差大于阈值（光谱数据最大值最小值之差的十分之一）时则可认为是寻找的峰值。

2.3.3 图像保存

移动终端每进行一次光谱数据请求都会将数据绘制成为图像。为方便用户记录保存图像以及将前后光谱图像进行对比，将图像保存到系统相册以备后续调用是移动终端必须的功能。

将 Android 界面上的光谱图像以图片格式保存至系统相册，方法是：

1) 将对应区域的 View 转换为 bitmap 对象：

```
Bitmap bitmap = Bitmap.createBitmap(view.getDrawingCache());
```

2) 获取手机 SD 卡，设置存储路径：

```
File sdCardDir = Environment.getExternalStorageDirectory();
String strpath = "/IOT 记录/" + time + "图像.png";
File file = new File(sdCardDir, strpath);
```

3) 使用 Bitmap 的 compress 方法指定压缩格式为 PNG 格式：

bitmap.compress(CompressFormat.PNG,100,fos);

4) 存储到系统相册中时需使用 sendBroadcast 方法向系统进行广播:

```
Intent intent = new Intent(Intent.ACTION_MEDIA_SCANNER_SCAN_FILE);
Uri uri = Uri.fromFile(file);
intent.setData(uri);
sendBroadcast(intent);
```

经测试, 可以将显示图像的区域保存为 PNG 格式图片到相册, 满足了用户保存图像的需求。

3 试验结果与分析

为检验移动终端软件运行情况, 于 2018 年 6 月 14 日早 9:00 进行试验。

试验时以云数据库中用户 liming 为登录账号, 其名下有 2 个 block, 其中 BLOCK1 中有 3 个光谱节点, 6 个环境节点。

光谱节点 1 号最新存储数据采集时间为 2018 年 6 月 13 日上午 10:05:00, 参见图 5。开启软件, 登录 liming 账号后选择 BLOCK1 中的光谱节点 1 号, 然后选择 2018 年 6 月 13 日 10:00, 来检测移动终端的光谱数据获取、数据处理及保存功能。试验结果如图 6 所示。

spectrumnode_id	光谱数据	日期
1	939.34 0.1441 942.95 0.114 946.5...	2018-06-13 10:00:00
1	939.34 0.1294 942.95 0.1112 946....	2018-06-13 10:01:00
1	939.34 0.2165 942.95 0.2039 946....	2018-06-13 10:05:00

图 5 数据库截图

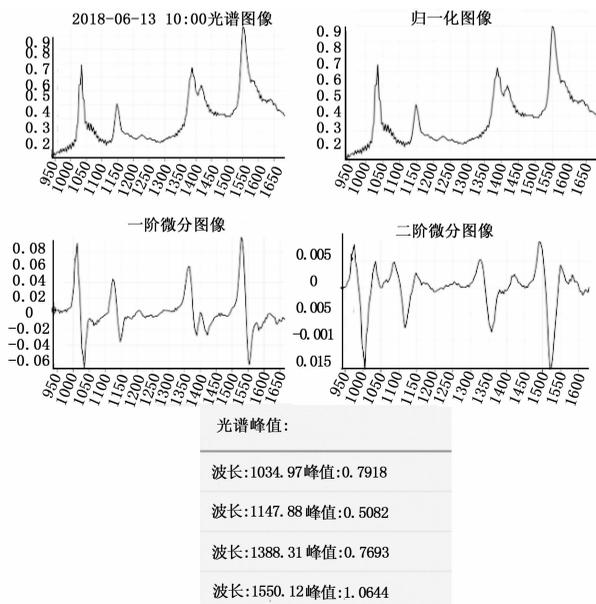


图 6 移动终端数据处理检测结果

由光谱图像及微分处理图像可知, 一阶微分图像可以分析光谱图像中的肩峰。一阶微分给出了光谱曲线的变化率, 其最大值最小值点不是光谱曲线的最大值最小值点, 而是光谱曲线的最大斜率点。在一阶微分图像中, 肩峰变窄, 更容易识别。

二阶微分图像表示光谱曲线变化率的变化情况, 可以找到光谱曲线的确切峰位。二阶微分比一阶微分基线噪声更多, 每做一次微分, 噪声就会增加, 但是信号强度却减小, 可以降低信噪比。

环境节点 1 号最新数据为 2018 年 6 月 10 日的数据, 如图 7 所示, 温度, 湿度, 二氧化碳浓度, 光照强度展示的为最新检测结果。阶段性的环境数据获取以温度为例, 获取 2018 年 6 月 10 日 10:29 至 15:29 的数据, 绘制图像见图 8。

节点1号的环境信息			
温度	湿度	二氧化碳浓度	光照强度
28.0°C	33.0%RH	1941.0Ppm	85.0Lux
最近更新	最近更新	最近更新	最近更新
10:29:00	10:29:00	10:29:00	10:29:00
按日期查询	按日期查询	按日期查询	按日期查询

图 7 节点 1 号的环境信息



图 8 节点 1 号温度曲线图

由试验结果可得移动终端成功从云服务器请求光谱数据进行处理并绘制出图像, 找出峰值。期间网络请求流畅, 图像绘制精准, 数据处理无误, 可将光谱数据简单形象的呈现给用户。对于环境信息, 此移动终端可以实时展示最新环境数据, 以及获取对应时间段的环境数据绘制图像, 直观的将环境信息变化情况用图像展现, 可以辅助用户对生产生活做出决策。此移动终端与服务器完成通信, 数据获取、绘图、保存以及处理功能实现正常, 实现了开发的预期效果, 满足了光谱传感物联网专用移动终端的需求。

4 结束语

本文设计的软件实现了光谱传感物联网移动终端的基本功能。界面简洁, 与用户交互性好。移动终端与服务器通信稳定, 可以方便用户获取数据并处理。使移动端光谱处理软件突破与光谱仪节点距离的限制, 在蜂窝网络环境下随时随地访问光谱及环境信息, 在将来的智能农业, 智慧城市等领域会有广泛用处。

参考文献:

[1] 祁兴普, 陈通, 陈斌. 基于 Android 微型近红外光谱仪实时检测云系统的实现 [J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7 (5):

1864 - 1869.

[2] Song Q, Ma GX, Infrared [M]. New York: Marcel Dekker Publishers, 2006.

[3] Chang M, Chu PJ, Xu KX. Spectroscopy and Analysis [M]. New York: Ellis Horwood Publishers, 1992.

[4] Zhang F, Wang Q, Ma ZH, et al. Practical NIR spectroscopy with application in food and beverage analysis [J]. Food Sci, 2007, 28 (1): 258.

[5] 王攀藻. 物联网终端设备软件的开发系统研究 [J]. 计算机科学, 2017 (S1): 515 - 518.

[6] 王绪泉, 黄松奎, 于月华, 等. 微型长波近红外物联网节点及实验研究 [J]. 红外与毫米波学报, 2018, 37 (1): 42 - 46.

[7] 赵 杨, 基于 Android 平台的激光光谱仪数据处理的研究 [D]. 哈尔滨, 哈尔滨工业大学, 2016.

(上接第 71 页)

向最大速度约 3 000 mm/s, 由于试件整个飞行过程是在失重条件下完成的, 故 Y 方向为自由落体运动, 基本为匀加速运动, 仅在点火瞬间产生微小扰动, Z 向速度整体较小, 表明试件运动基本不发生横向偏移。

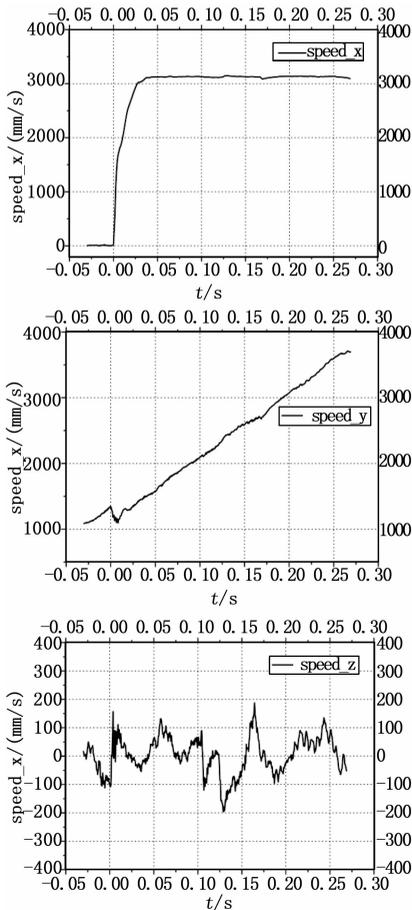


图 7 试件飞行过程中三维运动速度-时间曲线

4 结论

本文提出一种基于多目立体视觉的试件飞行速度测量方法, 通过多目相机标定、图像匹配技术来实现对试件整个飞

[8] 耿德春, 基于 Android 平台近红外光谱仪控制及工作状态监测的开发研究 [D]. 南京: 江苏大学, 2016.

[9] 糜 荣, 王 永, 熊显名, 基于 Android 平台的微型光谱仪数据传输与显示研究 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (12): 4259 - 4261.

[10] 王 晶, 阮林波, 渠红光, 等. 基于安卓的便携式无线多道能谱测量系统 [J]. 强激光与粒子束, 2014, 26 (12): 194 - 199.

[11] 洪胜杰, 顾玉琦, 寿国忠. 移动近红外珍稀木材鉴别云服务系统的设计与实现 [J]. 计算机应用与软件, 2017, 34 (1): 214 - 217.

[12] 陈 文, 郭一正. 深入理解 Android 网络编程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.

[13] 陈 通. Android 系统的微型近红外光谱仪开发及在食品质量检测中的应用 [D]. 南京: 江苏大学, 2016.

行过程中的运动速度测量。试验结果显示, 本方法测量结果准确可靠。对帮助设计和制造单位改进生产工艺, 提升产品性能具有很强的现实意义。

参考文献:

[1] 路晓东, 王名泉, 郝利华, 等. 基于双目立体视觉技术的信号弹高度测量方法研究 [J]. 测试技术学报, 2017, 31 (6): 505 - 511.

[2] 胡宝洁, 曾 峦, 熊 伟, 等. 基于立体视觉的目标姿态测量技术 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (1): 27 - 28.

[3] Zhang zhengyou. A flexible new technique for camera calibration. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence [J]. 2000, 22 (1): 1330 - 1334.

[4] Sutton M, Wolters W, Peters W. Determination of displacements using an improved digital image correlation method [J]. Image and Vision Computing, 1983, 1 (3): 133 - 139.

[5] 王琛影, 何小元. 相关识别中的曲面拟合法 [J]. 实验力学, 2000, 15 (3): 280 - 285.

[6] 姚学锋, 林碧森, 简龙晖, 等. 立体摄影术与数字散斑相关方法相结合用于研究三维变形场 [J]. 光学技术, 2003, 29 (4): 473 - 479.

[7] 潘 兵, 谢惠民, 李艳杰. 用于物体表面形貌和变形测量的三维数字图像相关方法 [J]. 实验力学, 2007 (6): 556 - 567.

[8] 顾国庆, 王开福, 许 星. 基于数字图像相关的刚体内微小转动测量及转动中心定位 [J]. 中国激光, 2012, 39 (1): 185 - 191.

[9] 邵新星, 陈振宁, 代祥俊, 等. 相机阵列测量二维应变场的高精度分析方法 [J]. 中国科学: 技术科学, 2015, 45 (5): 483 - 490.

[10] Shao X, Dai X, He X. Noise robustness and parallel computation of the inverse-compositional Gauss-Newton algorithm in digital image correlation [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2015, 71: 9 - 19.

[11] Chen Z, Quan C, Zhu F. A method to transfer speckle patterns for digital image correlation [J]. Measurement Science and Technology, 2015, 26 (9): 095201.

[12] 苏 勇, 张青川. 数字图像相关的噪声导致系统误差及散斑质量评价标准 [J]. 实验力学, 2017, 32 (5): 699 - 717.