

# 安卓手机的草地信息协同采集系统设计与实现

胡云锋<sup>1</sup>, 董群<sup>1,2</sup>, 陈祖刚<sup>1</sup>, 董昱<sup>1</sup>, 戴昭鑫<sup>1</sup>, 张云芝<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100864

2. 中国矿业大学, 江苏 徐州 221116)

**摘要:** 针对传统的草地资源调查方法流程繁琐、效率较低、多人协同能力较差。该文提出了基于安卓手机的草地信息协同采集系统架构, 设计了位置获取、地图显示、采样规划、信息采集、数据展示、报表生成、数据同步等系统核心功能模块, 并应用 Java 语言开发, 完整实现了系统各项功能。在内蒙古自治区及河北省的野外考察验证表明, 该系统能够满足草原监察和科研部门对于草地资源调查的基本需求。

**关键词:** 草地资源调查; 移动智能终端; 安卓系统; 移动 GIS; 系统开发

【中图分类号】TP311.11 【文献标识码】A 【文章编号】1009-2307(2017)06-

Design and implementation of grassland information cooperative acquisition system based on Android phone

HU Yunfeng<sup>1</sup>, DONG Qun<sup>1,2</sup>, CHEN Zugang<sup>1</sup>, DONG Yu<sup>1</sup>, DAI Zhaoxin<sup>1</sup>, ZHANG Yunzhi<sup>1</sup>

(1. Institute of Geographical Sciences and Resources Research, Chinese Academy of Science, Beijing 100864, China; 2. China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China;)

**Abstract:** The process of traditional methods for investigation of grassland resources was rather trival and low efficiency against the collaborations. The overall architecture of grassland information acquisition system based on android phone was put forward in the paper, and the core function modules of the system was designed, such as position acquisition, map display, sampling plan, information collection, data display, report generation, data synchronization and so on. Then the systems development was implemented completely. It was proved by field trip in the Inner Mongolia Autonomous Region and Hebei province, and the system satisfied the basic requirements of grassland resources survey and research departments

**Keywords:** grassland resources census; mobile intelligent terminal; Android system; mobile GIS; system development

## 0 引言

我国是草地资源大国, 草地面积 3.928 亿  $\text{hm}^2$ , 占全国国土面积的 41% 左右<sup>[1]</sup>, 草原面积居世界第二位<sup>[2]</sup>。我国北方拥有大面积的天然放牧场和良好的割草场, 南方也有许多草山草坡, 丰富的<sup>[1]</sup>草地资源是我国发展畜牧业重要物质基础。查清草地和植被的数量、质量和分布规律, 对草地资源开展动态监测, 这是合理地利用、开发草地, 科学地管理与建设草地的前提<sup>[3]</sup>。

农业部草原监理中心发布的《全国草原监测技术操作手册》<sup>[4]</sup>是开展草地资源调查的基础性技术规范。传统的草地资源调查方法, 通常是利用手持 GPS、数码相机以及纸质笔记本等工具, 在野外现场记录野外作业内容, 然后将这些纸本野外记录、GPS 导出数据、数码相片等交由内业人员进行文档电子化、数据空间连接, 统计汇总、空间制图等, 最后再分析和评价区域草地资源的空间格局和时间动态<sup>[5]</sup>。进入 21 世纪, 随着草地资源调查工作逐步走向信息化、专业化, 传统的草地资源调查方法已不能满足实际工作需要, 突出地表现在调查方法流程繁琐、工作效率较低、多人协同能力较差、内外业分离等特点上。草地资源调查迫切需要手段和方法上的更新。

安卓手机以其体积小、携带方便、操作灵活等特点被广泛应用于通讯、社交、娱乐、电子商务等大众应用场景中, 同时, 也有相当数量的应用系统 (APP) 被开发出来用于远程教育、智慧旅游、智能监控等专业应用场景中。但是, 将手机系统应用于科研活动中的实践还比较少见。在林业资源调查方面, 文献<sup>[6]</sup>研发了林业专题调查系统, 实现了树木资源信息的无纸化采集, 但该系统记录的数据还需要内业手工处理, 自动化程度不高。在灾情调查领域, 文献<sup>[7]</sup>研制的地质灾害野外信息采集系统实现了对多种地质灾害的移动数字化采集, 提高了地质灾害信息采集、管理的效率, 但系统数据也需要经过人工汇总, 不具备多人多组协同工作能力。在国土调查方面, 文献<sup>[8]</sup>开发了土地利用调查系统, 实现了土地利用变化

信息的野外信息采集；文献[9]开发土地期权变更调查系统，其自动化程度、协同性较好。在草地资源调查方面，文献[10]利用安卓平板电脑中集成的数码摄像头，实现了野外草地覆盖度的自动测量。文献[11]在集成 GIS 制图、分析等功能的基础上，实现了对草地产草量的估算。但是总体而言，国内外尚没有见到支持草地资源调查完整流程的信息采集和信息集成系统，更谈不上实践工作迫切需要的、具备时空协作能力和内外业联动的草地信息协同采集系统。

针对上述情况，本文作者以安卓手机作为移动调查终端，应用移动 GIS、数据库及移动通讯等技术，设计和开发了一套草地资源信息协同采集系统。该系统具有位置获取、地图显示、采样规划、信息采集、数据展示、报表生成、数据同步等核心功能；作者利用该手机系统于内蒙古、河北省进行了示范应用，取得了很好的应用效果。

## 1 系统总体框架设计

根据传统的草地资源调查流程，根据现代 GIS、RS 和移动通信等技术的支撑特点，可以将草地资源调查流程重组为如下关键步骤：到达采样地点，根据草地空间变异特性以及卫星遥感调查需求，确定样点布设方案；在各个样点，采集和记录样地基本特征信息、草本及灌木样方信息、植物物种及其频度信息等；实际考察中，还要记录采集人员信息、气象信息、地理位置信息，并拍照、录像，甚至录音，由此形成与采样点位置关联的多媒体信息。如果信息随时上传至云端，一方面是数据备份需求，同时也为多终端、多用户同步而准备。当天或者全部考察结束后，将数据库信息导出形成规范化图文报表，并据此开展卫星遥感判断、地图制图以及深入的时空动态分析。具体流程如下图所示：

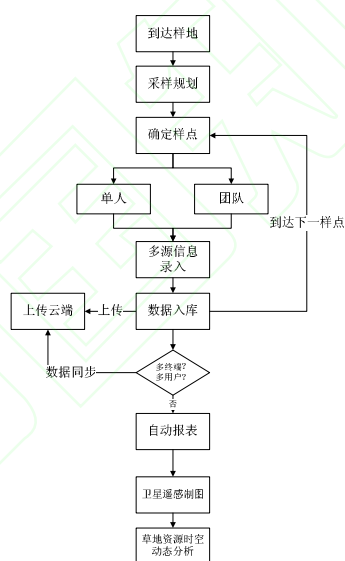


图 1 草地资源调查流程图

Fig.1 The Flowchart of Grassland Resources Investigation

从信息系统构成上分析，基于安卓手机的草地信息协同采集系统的基本框架设计如下：以安卓手机作为客户端，客户端使用安卓视图（view）组件，实现数据录入界面的交互；应用百度地图开发包（Baidu map SDK），实现经纬度位置信息的地址解析及地图展示；应用嵌入型数据库（SQLite），实现手机端数据存储；应用扩展标记语言（XML）技术，实现数据的规范化图文报表输出。云端基于阿里巴巴（Alibaba）提供的云服务器，部署地图发布服务（如 ArcGIS Server），实现空间数据的组织和管理。基于 SSH（spring, struct2, hibernate）Web 应用架构，实现了云端与客户端的同步。系统架构实现如图 2 所示。

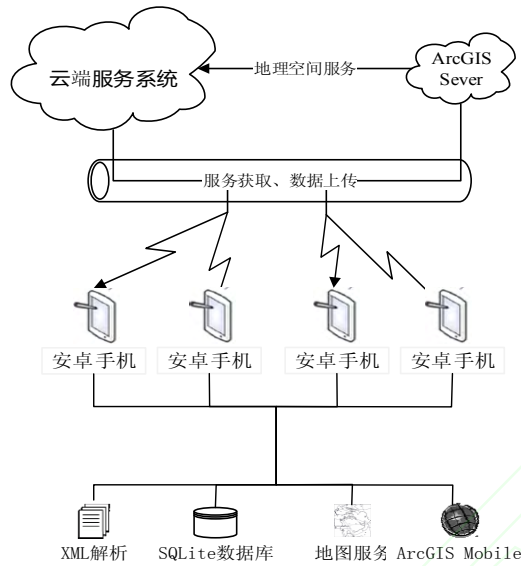


图 2 系统框架结构图  
Fig.2 The Structure of System Frame

## 2 系统功能设计

总体上，系统由数据采集、信息展示、数据共享、功能支撑 4 大模块构成。4 大模块之下，具体包括了地理定位、采样规划、多源信息采集、自动报表、数据同步等 12 个具体功能。系统功能模块框架如下图所示：

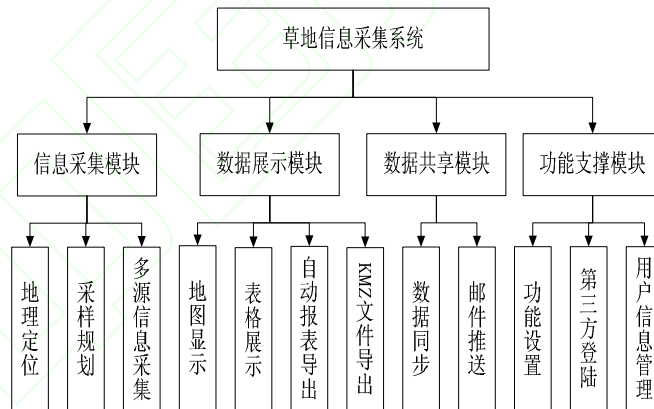


图 3 系统功能框架  
Fig.3 The Basic Functions of the System

在上述 4 大模块、13 个具体功能模块中，以下 5 个功能是系统的核心功能模块。

1) 地理定位。包括了地理定位和地址定位两个方面内容。所谓地理定位，是指获得采样点的经度、纬度、海拔等绝对空间位置信息；所谓地址定位，是指利用前述绝对的空间位置信息，进行地址反向解析，获取中文地址名称和地址编码，并显示到相应的地图中，或进一步为获取其它基于 LBS 服务 (location based service) 提供地址信息。

2) 采样规划。在采样区域，根据研究目的、区域空间变异特点以及考察习惯，设计区域观测采样方案，如系统采样 (均匀采样)、随机采样、大样地循环采样等。根据前述采样方法，并设置一定的参数，确定样点数量及其位置；而后根据规划确定样点位置，系统引导调查人员前往指定位置进行采样。

3) 多源信息采集。在样点规划完成后, 依据《全国草原监测技术操作手册》规定的观测项目进行信息采集和数据录入。在草地资源调查中, 最核心的信息就是“四度一量”, 即盖度, 高度、频度、多度以及生物量<sup>[10],[12]</sup>等 5 个指标。除此之外, 还包括记录采集人员信息、地理位置信息、样点气象信息, 以及卫星影像截图、现场相片、现场录像以及现场录音等多媒体信息。

4) 自动报表。将野外采集、记录的各项信息, 按照《全国草原监测技术操作手册》规定的图文样式, 自动形成规范的 Word 文档或者 Excel 文档; 并在后续过程中, 进一步输出到台式计算机或其它用户终端, 并打印、签字、提交和存档。

5) 数据同步。包括 2 个层面的功能, 即多用户之间的信息同步及单用户、多设备间的信息同步。所谓多用户之间的信息同步, 是指当区域较大, 任务较多时, 需要多人协同作业, 此时需要将同一项目组内全部成员所采集的数据都能彼此共享, 了解各自工作区域, 并最终集成为一套数据; 所谓单用户、多设备间的信息同步, 是指某一调查人员先后使用多台设备采集数据, 则任意一台设备所采集的数据可以同步到其它所有设备上。

### 3 系统开发与实现

#### 3.1 运行环境

1) 客户端环境。客户端以 MyEclipse10 为开发集成环境, 使用 Java 编程语言, 基于安卓 3.1 SDK 开发。系统最终运行在安卓 3.1 以上版本的手机终端, 手机要求支持 2G 网络(最好为 3G/4G 网络), 内置 GPS 或北斗、格洛纳斯 (GLONAS) 等任一定位芯片, 同时还具有重力、加速度、磁感应器等方向、方位感应芯片。

2) 云端环境。Web 端开发环境为 MyEclipse10, 使用 Tomcat7 作网络服务器, 服务端数据库为 MySQL, 并使用 ArcGIS for Server 提供地理空间信息服务。服务端部署到阿里云服务器上。

#### 3.2 主要实现技术

##### 3.2.1 地理定位

首先是获取绝对地理空间定位信息。在安卓移动操作平台中, 首先获取位置管理者, 即 LocationManager 对象, 然后生成位置监听类 LocationListener, 使用函数 locationManager.requestLocationUpdates(String provider, long minTime, float minDistance, LocationListener listener) 请求位置信息, 其中参数 provider 用来设置定位的方式, 常用的有 "gps" 和 "network" 两种。通过 LocationListener 类的 onLocationChanged() 函数返回 Location 位置对象, 由此获得经度、纬度、高程等信息。通过该类 updateGpsStatus() 函数, 还可以得到捕获卫星状态信息, 包括卫星所在的方位角、高度角、信噪比等。由此, 可以进一步在天球中标识相应卫星位置及其连接状况。

在前述绝对地理空间定位基础上, 还需要进一步获得中文地址信息、并在地图窗口中标志相应的点的位置。具体做法是: 引入百度 baidumapapi 和 locSDK 开发包, 并在应用的 AndroidManifest.xml 文件中添加相应标贴, 在 Android XML 界面控件布局文件中添加地图布局, 在应用程序中使用 SDKInitializer.initialize() 接口初始化地图服务。首先要初始化 LocationClient 类, 然后继承 BDLocationListener 位置监听类, 再使用 LocationClient.requestLocation() 请求位置。通过 BDLocationListener 中的 onReceiveLocation() 函数获得位置对象 BDLocation, 从 BDLocation 对象可获取地址、地理编码等相关信息。最后, 利用百度地图的开放接口, 将获得的位置信息添加到百度地图定位图层上, 从而实现当前点在地图上的标识。

##### 3.2.2 采样规划

为消除采样工作中的偶然性和尺度效应, 采样工作应当遵循一定的样点规划方案。地学研究中, 常使用系统均匀采样、简单随机采样以及大样地循环采样等 3 种样点布设方法。

均匀采样, 适用于样地空间变异较小的情形。样点规划时, 根据用户输入样地范围、采



样数量两项参数,判断行列数目以及行列之间的距离,然后使用循环方式依次生成样点,并将各点的屏幕坐标转换为地图坐标,并保存至数据库中。

随机采样,适用于样地空间变异特征未知的情形,样点规划时,根据用户输入样地范围、采样数量两项参数,利用随机数生成函数确定样点的位置(横轴坐标和纵轴坐标),并进一步将各点屏幕坐标转换为地图坐标,保存至数据库中。随机采样可以使得样地内每个位置都有平等的机会被抽取。

大样地循环采样,是一种能够在较低采样频率情况下,依然可以在不同的步长(距离)上保持采样密度的方法<sup>[16]</sup>。大样地循环采样方法最早是用于一维时间序列上的数据变异特征研究<sup>[17]</sup>,后来扩展到了二维空间平面上<sup>[18]</sup>,并广泛为生态学家所运用。大样地循环采样常使用 3/7、4/13、5/21、6/31、7/37 等 5 种采样模式。以 5/21 模式为例,该样点布设方案是以 21 个基本步长为一个循环单元,一般应循环 2 次以上;分别在 0, 1, 4, 14, 16 个基本步长处设置采样点。样点 (x, y) 坐标的推算如式 (1) 所示:

$$x^0 + s \cdot n + 21 \cdot s \cdot j, y^0 - s \cdot m - 21 \cdot s \cdot i \quad (1)$$

式中: s 为基本步长(可以为标准单位,如 m;也可以为复合单位,如 TM 卫星影像大小 30 m),  $(x^0, y^0)$  为起始坐标, m、n 的取值为{0,1,4,14,16},  $i = \{0, 1, 2, \dots, t-1\}$ ,  $j = \{0, 1, 2, \dots, t-1\}$ , t 为循环次数。

### 3.2.3 多源信息获取

草地资源调查中,最核心的信息是“四度一量”信息,此外,还有采集人员信息、地理位置信息、样点气象信息、样点遥感影像信息、以及相片、录像以及录音等多媒体信息。具体实现途径如下:

采集人员信息,通过读取用户登录信息表自动填充。

空间位置信息首先由安卓内置的位置管理者对象(LocationManager)的 requestLocation Updates() (函数)提供样点经纬度、海拔、定位精度等,由百度 SDK 中的 BDLocation 对象中的 getAddress()函数提供地址信息。

根据经纬度信息,由 getCityCode()函数获得城市地理编码,依据城市地理编码链接到中国天气网,利用 HttpClient 对象,以 get 方式抓取包含天气信息的 Json 对象,然后解析 Json 对象即可获取当前点的天气信息。

对于遥感影像信息获取,首先在云端基于 ArcGIS Server 发布地图服务,通过获取天地图影像图并做成地图瓦片;然后,根据此前得到的经纬度信息,由客户端向云端发出请求,从瓦片地图中获取当前点的卫星影像截图。

对于现场照相、录像和录音等多媒体信息获取,分别使用 Android 内置 Camera 对象的 takePicture()获取照相信息;使用 MediaRecorder 对象管理声音、视频录制,调用 setVideoSource()函数设置录像方式,调用 startVideo()函数进行录像;使用 setAudioSource 函数设置声音来源,调用 startAudio()函数记录调查过程中的语音信息。

“四度一量”信息是草地资源调查的核心信息,其人机交互程度最高。在此过程中,考虑到野外工作要求操作简单、响应快速的实际需求,应尽量减少复杂的人机交互操作——最典型复杂操作就是要求用户键入大段的文字。因此,系统研发中,应尽量使用选择、移动滑块方式获取文本、数值信息。对于提供的选择项,应使用智能推测和动态调整技术,将最可能的选项放置在最优先、最醒目的位置;对于一些数值信息(如植被盖度、盐渍化程度、沙化程度等),也要通过数码相片自动计算方法,为没有经验的用户提供参考值<sup>[10]</sup>。

### 3.2.4 自动报表

除了将样点标识在地图上以显示其空间位置之外,还可以将采集得到、并保存在本地 SQLite 数据库中的草地样方信息也展示到手机上。具体做法是:在手机端的 UI 界面上,通过布设一系列 ListView、Spinner 等控件,并通过 ArrayList<String>对象存储数据库中相应样点的字段信息、并汇总展示到手机界面上,供用户即时浏览、检查。

除了前述手机即时展示形式外,系统还需要根据农业部草原监理中心发布的《全国草原监测技术操作手册》提供的标准样式,将上述以计算机数据库形式保存的表格信息导出为图

文混排的报告文档。具体做法是：首先在 PC 端制作成一个包含字段名称、但具体内容待填充的 Microsoft Word 模板文件 (\*.docx 格式)，该文件实质上为一个 zip 压缩文件；解压后对 word 目录下的 document.xml 文件进行操作，即查找该 XML 文件中标识有字段名称的字符串，用对应的调查数据字段替换；全部替换完成后，重新压缩全部文件夹，并将 zip 文件后缀改名为 docx。如此，就实现了规范化的图文报表输出。

### 3.2.5 数据同步

数据同步可分成多用户之间的信息同步共享及单用户以及多终端设备间的信息同步共享。两者实现的区别在于客户端发送请求的参数不同，服务端根据上传的不同参数，通过查找云端数据库，分别将包含整个团队其他人或特定用户其他设备上的历史数据的 Json 对象作为响应结果返回给客户端，从而实现数据同步和共享。

为节约流量，系统默认在 WIFI 环境下数据同步，用户可自主选择是否只在 WIFI 下同步。当用户需要在同一账号下同步其他设备的数据时，在服务的请求中发送用户标识 (user\_id) 及设备标识 (device\_id) 参数。在云端数据库中查询该账号下除此设备标识的数据项，查找成功则返回 Json 格式的数据，若无其他设备数据或查找失败则返回标识码 ERROR，客户端把返回的 JSON 数据插入本地 SQLite 嵌入式数据库中。如果需要同步其他用户的数据，则在服务的请求中发送用户标识 (user\_id) 及团队标识 (group\_id)。在云端数据库中查询团队标识下除此本用户之外的数据项，查找成功则返回 Json 格式的数据，若无其他成员或查找失败则返回标识码 ERROR。

### 3.3 系统验证

本文在魅族 MX3、华为 B199 等手机上调试并安装了上述系统，并于 2015 年 9 月间在内蒙古锡林郭勒地区多个旗县进行了野外实地验证。锡林郭勒草原拥有丰富的自然资源，以其草场类型齐全、动植物种类繁多等特征而成为世界驰名的四大草原之一，既是华北地区的重要生态屏障，又是距首都北京最近的草原牧区，因此，在锡林郭勒地区进行实地调查，对验证系统的实用价值具有很大的意义。

野外调查小组经过系统影像查阅及实地农牧户调查设计了调查路线，根据实际情况对热点区域进行自动采样规划 (图 4)，到达指定样点后，系统自动获取位置、天气等信息并进行部分草地专业信息的自动测算 (如草地植被覆盖度)，野外小组在专家指导下进行其他草地信息的录入 (图 5)。多组多设备调查过程中，实现了设备间和组间的数据共享 (图 6)。最后在完成野外调查后，按规定报表规范生成草地野外调查报告 (图 7)。

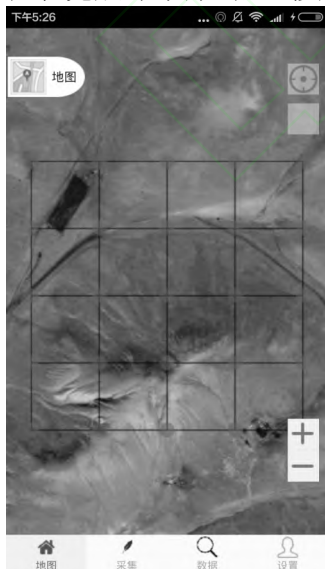


图 4 采样规划



图 5 多源数据获取



图 6 组内数据共享

Fig.4 Sampling Planing Fig.5 Multi-source Data Acquisition Fig.6 Data Sharing within Teams

野外测试表明：系统完全满足草原监察和科研部门对于草地资源调查的需求，是草地资源调查信息化、智能化的新突破，具有很好的推广示范价值；与其他领域类似终端应用相比，本系统在采样规划设计、多源信息自动获取、规范化报表生成、多人及多终端同步共享 4 个方面，具有显著优势。

草地样地基本特征调查表  
农业部草原监理中心制


样地号: 1160290041000004		日期: 20150920123909		记录人: 董群					
经度: 119.391251		纬度: 36.003714		海拔: 81.0 m					
天气信息		天气: 多云		温度: -4					
风向: 南风		湿度: 27		风力: 4-5					
样点位置		景观照编号: grass_side_pic_id							
样点地貌		山地、丘陵与沙地区+坡脚							
地上生物量编号		20160129001-up							
生物量土样编号		grass_biomum_land							
是否围栏		无围栏[ ] 围栏内[ <input checked="" type="checkbox"/> ] 围栏外[ ]							
综合评价		温带典型草原							
草本及小(半)灌木样方调查表									
样方号: 1160290041000004		样方面积: 0.5x0.5 (m²)							
草群自然高度: 15.0 cm		总盖度: 40.0 %							
汇总		样方 1		样方 2		样方 3		平均产量 (g/m²)	
鲜重 (g)		高度 (cm)		盖度 (%)		鲜重 (g)		盖度 (%)	
600		16		0.00		560		14	
560		14		50		690		15	
690		15		70		616.6666666666666			
总产量 (g)									
植物名称		绝对高度 (cm)		分盖度 (%)		株数		产草量 (g)	
中文名		地方名		拉丁名		鲜重		干重	
大针茅		45		40		63		110	
冰草		30		35		32		104	
冰草						19			
		相片编号		116029004173921608					
		类型		侧面					
		获取时间		2015年9月20日12:11:56					
		绕底边旋转角度		65					
		绕侧边旋转角度		9					
		正北方向顺时针偏角		70					
全图下载地址		http://182.92.100.29:8080/iGServer/pictures/116029004173921608.png							
以下图片因篇幅原因省略...									

图 7 草地野外调查报表

Flag 7 The Field Investigation Repor of the Grassland Resource

#### 4 结束语

作者以安卓手机作为移动调查终端，应用移动 GIS、数据库及移动通讯等技术，研发了一套草地资源调查系统，该系统具备样点布设规划、多源信息采集、遥感地图显示、自动报表输出等 4 类、12 项具体功能。该系统在内蒙古、河北等地区开展了示范应用，取得了良好示范效果。

需要指出的是，一方面，系统实现了多源信息的汇集（如地理位置、气象信息与草地资源信息）以及部分信息的自动化获取（如草地覆盖度），但是，与草地资源相关的许多信息仍然需要专业人员的辨识、解读（如植物物种、生物量）。如何结合既有数据库、专家知识库以及图像识别技术，形成更加智能的草地资源信息辨识信息（如区域生态系统类型、植物物种）和智能推荐系统（区域优势物种顺序推荐、样方生物量可能变化范围），这是未来系统研发工作的重要方向。

另一方面，虽然作者基于安卓手机开发的草地资源调查系统已经通过多次野外考察和应用示范证实了其可用性、便利性，但考虑到草地资源调查是一项高度专业化、规范化的工作。本终端系统还有待与草原勘察、设计部门和基层单位开展更大规模的推广和示范，以便真正达到实用、好用的水平。

#### 参考文献

- [1] 刘黎明, 张凤荣, 赵英伟. 2000-2050 年中国草地资源综合生产能力预测分析[J]. 草业学报, 2002, 1(1): 76-83. (LIU Liming, ZHANG Fengrong, ZHAO Yingwei. Forecast analysis of the comprehensive production capacity of grassland resources in China 2000-2050[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2002, 1(1): 76-83.)



- 
- [2] 杨继瑞. 走可持续发展的城市用地道路[J].中国房地产,1997,201:16-17. (YANG Jirui. Take the road of sustainable development of urban land[J].Chinese real estate,1997(201):16-17.)
- [3] 刘富渊, 李增元.草地资源遥感调查方法的研究[J].草地学报,1991,1(1):44-46. (LIU Fuyuan, LI Zengyuan.Study on remote sensing survey of grassland resources[J].Journal of grassland,1991,1(1):44-46.)
- [4] 农业部草原监理中心. 《中国草原发展报告(2011)》之草原监测预警[J]. 中国畜牧业,2013(23):60-61. (Grassland Supervision Center of the Ministry of Agriculture.The grassland monitoring and early warning in China grassland development report (2011)[J].Animal Husbandry in China,2013(23):60-61.)
- [5] 巴图娜存, 胡云锋, 艳燕, 刘纪远等. 1970年代以来锡林郭勒盟草地资源空间分布格局的变化[J].资源科学,34(6):1017-1023. (BATU Nacun, HU Yunfeng, YAN Yan, et al. The spatial distribution pattern of grassland resources in Xilinguole Meng since the 1970's. [J].Resources Science,34(6):1017-1023.)
- [6] 张雪芹, 张旭, 马琰,等. 基于RFID和Android的林木调查系统[J].物联网技术,2014(5):38-41. (ZHANG Xueqin, ZHANG Xun, MA Yan ,et al. Tree survey system based on RFID and Android[J].Internet of things technology,2014(5):38-41.)
- [7] 余丰华, 夏跃珍, 杨克红,等. 移动GIS技术在地质灾害数据采集领域的应用研究[J].中国地质灾害与防治学报,2006,17(2):102-106.(YU Fenghua, XIA Yuezhen, YANG Kehong et al.Application of mobile GIS technology in the field of geological hazard data acquisition[J].Chinese Journal of Geological Hazard and Control,2006,17(2):102-106.)
- [8] 郭亮, 杨卫军, 李珏,等. 基于移动GIS的建设用地现状信息快速采集技术研究[J].城市勘测,2015(3):19-22. (GUO Liang, YANG Weijun, LI Yu et al. Research on the fast acquisition technology of construction land status information based on mobile GIS[J].City Survey,2015(3):19-22.)
- [9] 肖国磊. 基于Android的移动终端在土地权属调查中的应用[J].地理空间信息,2015,13(4):160-162. (XIAO Guolei. Application of mobile terminal based on Android in land ownership investigation[J].Geospatial Information,2015,13(4):160-162.)
- [10] 陈祖刚, 巴图娜存, 徐之英, 等. 基于数码相机的草地植被盖度测量方法对比研究[J].草业学报,2014,23(6):20-27. (CHEN Zugang,BATU NacUN,XU Zhiying, et al. Comparative study on measurement method of grassland vegetation coverage based on digital camera[J].Acta Prataculturae Sinica,2014,23(6):20-27.)
- [11] 任鹏, 胡云锋, 贾建华, 等. 基于GIS的草地产草量的估算系统的研究与实现[J].测绘通报,2012(4):89-91. (REN Peng, HU Yunfeng,JIA Jiangfua, et al. Research and implementation of the estimation system of grass land quantity based on GIS[J].Bulletin of Surveying and Mapping,2012(4):89-91.)
- [12] 李士美, 谢高地, 张彩霞.典型草地上现存生物量资产动态[J].草业学报,2009,18(4):1-8. (LI Shimei, XIE Gaodi,ZHANG Caixia.The dynamic of the existing biomass assets on the typical grassland[J].Acta Prataculturae Sinica,2009,18(4):1-8.)
- [13] 艳燕, 胡云锋, 刘越,等.内蒙古草地样带地上生物量变化[J].草业科学,2012,29(10):1497-1502. (YAN Yan, HU Yunfeng, LIU Yue et al. Changes of the grassland on the ground in Inner Mongolia[J]. Pratacultural Science,2012,29(10):1497-1502.)
- [14] 赵登亮, 刘钟玲, 杨桂霞,等.放牧对克氏针茅草原植物群落与种群格局的影响[J].草业学报,2010,19(3):6-13. (ZHAO Dengliang, LIU Zhongling, YANG Guixiang et al. Effects of grazing on *Stipa krylovii* steppe plant community and population pattern[J].Acta Prataculturae Sinica,2010,19(3):6-13.)
- [15] BECKER S A, GIBSON R.A study of a generic schema for management of multi-database systems[J]. Journal of Database Management,1996,7(4): 14-20.
- [16] 邴飞龙, 邵全琴, 王军邦, 等. 大样地循环采样的草地生物量空间异质性及误差分析[J].草地学报,2012,20(2):258-266. (BING Feilong, SHAO Quanqin, WANG Junbang, et al.The grassland biomass heterogeneity and error analysis of the large ample cycle sampli



- 
- ng[J].Journal of Grassland,2012,20(2):258-266.)
- [17] CLINGER W, VAN NESS J W. On unequally spaced time points in time series[J]. The Annals of Statistics,1976,4(4):736-745.
- [18] CLAYTON M K, HUDELSON B D. Confidence intervals for autocorrelations based on cyclic samples[J]. Journal of the American Statistical Association, 1995,90(430):753-757.

### 作者信息

**作者简介:** 胡云锋 (1974—), 男, 江西赣州人, 副研究员, 主要研究方向为地理信息系统应用。

E-mail: huyf@reis.ac.cn

**基金项目:** 国家发改委、财政部 2012 年卫星及应用产业发展专项 (20122083); 国家高分辨率对地观测系统重大专项。

收稿日期: 2015-11-17

