

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.15.0102



基于 WPF 的三角图自动识别系统构建方法

——以土壤质地分类系统为例

李建波¹, 房宗启², 纪全菊³, 王卫华¹

(1. 昆明理工大学现代农业工程学院, 云南 昆明 650500; 2. 山东科技大学信息科学与工程学院, 山东 青岛 266500; 3. 北京林业大学环境科学与工程学院, 北京 100083)



李建波

摘要: 以平面三角坐标图为研究对象,指出了传统三组分体系分类命名时人工查找方式的缺点. 以土壤质地分类三角图为例,提出了土壤质地自动识别系统(STARS)设计思路,介绍了对该体系分类边界的解析编程方法. 以 Visual Studio 为开发工具,基于微软用户界面框架 WPF 实现系统界面(前台代码)开发,使用 C#语言完成业务逻辑(后台代码)的编写,借助动态依赖库 NPOI 实现对 Excel 文件的操作,最终完成土壤质地自动识别系统的建立. 文中详细介绍了 STARS 建立中所需的类设计和算法设计,旨在为其他三组分体系平面三角坐标图自动识别系统的建立提供方法和理论指导. 该方法简单易学,软件界面美观,且具有计算速度快、数据处理量大、零误判率、高鲁棒性、容错能力强等特点.

关键词: 土壤质地;平面三角坐标图;自动分类系统;类设计;用户界面框架

中图分类号: S152.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2016)04-0339-07

李建波, 房宗启, 纪全菊, 等. 基于 WPF 的三角图自动识别系统构建方法——以土壤质地分类系统为例[J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(4): 339-345.

LI Jianbo, FANG Zongqi, JI Quanju, et al. Triangle coordinate diagram automatic recognition system software design based on WPF: a case study of soil texture[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering (JDIME), 2016, 34(4): 339-345. (in Chinese)

Triangle coordinate diagram automatic recognition system software design based on WPF: a case study of soil texture

LI Jianbo¹, FANG Zongqi², JI Quanju³, WANG Weihua¹

(1. Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650500, China; 2. College of Information Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266500, China; 3. School of Environmental Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the flat triangular coordinate diagram, the defects of artificial lookup method used for naming and classifying the three-component systems were pointed out. Taking soil texture classification triangle as example, the design idea of the soil texture automatic recognition system (STARS) was put forward and the method of parsing and programming for the classifying boundary of the above systems was introduced. Visual Studio was used as development tools, windows presentation foundation was used to implement system interface development (foreground code), C# language was used to complete the business logic (code-behind), and dynamic dependent libraries NPOI were used to achieve operating Excel file, and finally the STARS was created. The classes design and algorithm de-

收稿日期: 2015-05-09; 网络出版时间: 2016-04-11

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20160411.1600.018.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51409136); 昆明理工大学自然科学基金资助项目(KKSY201423023)

作者简介: 李建波(1990—),男,山东青岛人,硕士研究生(jianbo69@sina.cn),主要从事土壤物理、地理信息系统研究.

王卫华(1982—),女,陕西西安人,副教授,博士(通信作者, wangweihua1220@163.com),主要从事土壤物理、节水灌溉研究.

sign required in the process of building the STARS were described, which intended to provide a method and theoretical guidance for the automatic recognition system establishment of other three - component system's flat triangular coordinate diagram. The method is easy to learn, and the software interface is beautiful. Furthermore, the STARS has fast computing speed, large data processing capacity, zero false positives, high robustness and fault tolerance.

Key words: soil texture; plane triangle coordinate diagram; automatic classification system; class design; windows presentation foundation

平面三角坐标图简称三角图,通常采用百分数坐标形式来表示三组分体系中某项要素与整体结构比例.三角图作为一种结构信息图像,3条边代表3种不同的要素,3个顶点可看作是3个原点,各轴要素按比例组合进行种类划分,即可成为分类图.其应用在土壤学、地质学、地理学、统计学中范围甚广,如:土壤质地分类、超镁铁质岩分类与命名、碳酸盐化学分类命名、砂岩和杂砂岩按碎屑组分的划分、工业区位因素的影响程度、人口年龄结构的比重、三大产业构成比重等.

在三角图自动查询研究中,近年来国内外学者主要有以下成果:GERAKIS等^[1]基于美国农业部(USDA)土壤质地分类三角图,提出一套适用于Window 95系统中的土壤质地自动分类计算机程序;LIEBENS^[2]介绍了利用电子表格的宏语言对美国农业部土壤质地分类三角图量化的方法;TEH等^[3]阐述了利用C++语言结合三角图内的投点理论的分类方法适用于任何土壤质地分类方案.另外,美国农业部网站上提供基于美国农业部分类的土壤质地计算器(soil texture calculator),用户可在网络环境下(或下载自带计算程序的Excel文件)直接输入砂粒含量、黏粒含量,经过计算输出粉粒含量和土壤质地类型.国内亦有少数学者关注于三角图自动识别系统研究等方面的工作,如:杨红卫等^[4]基于Visual FoxPro平台采用对三角图的点、线坐标解译,探究岩类命名的方法;张萌等^[5]利用Excel的逻辑函数功能实现砂岩的自动命名;张丽萍等^[6]基于计算机图形学创建了土壤质地自动查询系统;郭彦彪等^[7]利用Excel逻辑函数功能实现土壤质地的自动查询.软件成果相比于电子表格宏语言成果在使用的便捷性和可靠性等方面具有更强的优势,而上述国内学者中除了张丽萍等外均未获得正式的软件成果.张丽萍的成果和美国农业部官网的土壤质地计算器均是输入砂粒含量和黏粒含量,从而获得土壤质地结果,这种方法虽然减少了一个粒度含量的输入,但增加了由于手动输入的偶

然误差造成土壤质地结果出错的概率.当下国内对三角图自动识别系统的研究较少,尚处于探索阶段,开发适合中国人使用的三角图自动识别软件在学术研究中具有重要的意义.文中旨在通过介绍利用微软推出的用户界面框架(windows presentation foundation, WPF)建立土壤质地自动识别系统(soil texture automatic recognition system, STARS)的方法, STARS建立的理论思想与方法可适用于一系列基于三角坐标图自动分类查询系统的建立.

1 土壤质地传统查询方法

土壤质地根据土壤颗粒机械组成划分,在成土过程中继承了成土母质的类型与特点,同时受到耕种、施肥、灌溉等人为因素的影响,是土壤比较稳定的自然属性.土壤质地分类是土壤导水性、持水性、导热性、导气性、保肥、供肥和保温性的主要影响因素^[8].国内学者在土壤物理、水土保持工作等领域的研究中多使用国际土壤联合会(international society of soil science, ISSS)发布的国际制土壤质地分类和美国农业部制订的土壤质地分类,根据土壤物理学教材^[9]和美国农业部网站资料利用CorelDraw X4对国际制和美国农业部土壤质地分类三角坐标图进行矢量化,如图1所示,图中 c, p, s 分别为黏粒、粉粒和砂粒的含量.

在传统读图方法中,首先确定原点 and 坐标轴正方向.读取三角图中某点对应的各粒度含量时,从该点引平行于坐标轴正方向的射线交于坐标轴的读数即为该点对应的粒度含量.反之,已知供试土样各粒度含量确定其质地类型方法:在各坐标轴上找到3个粒度的百分含量值,沿与坐标轴(正方向)呈 60° 角方向做延长线,3条延长线交于1点,该点所在区域即为该土样所属的质地类型.在实际工作中首先要检验各粒度含量之和是否等于 100% ,否则会出现3条线无法交于1点的现象.因此传统的人工查询费时费力且易出错,当需要对大批量土样

数据进行土壤质地分类时,人为因素对分类结果造

成的误差显得尤为突出.

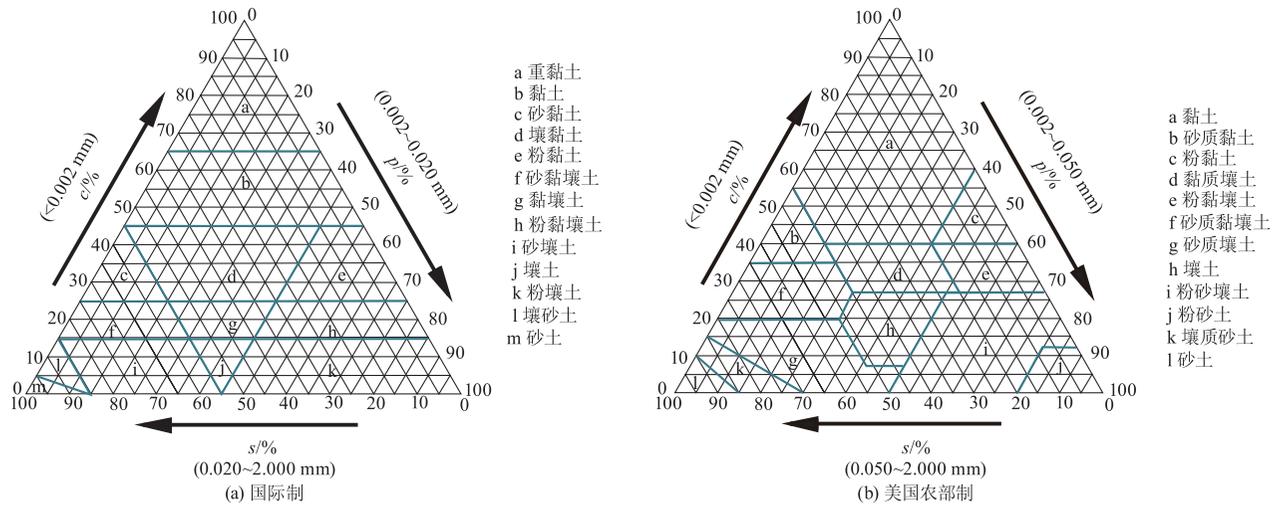


图1 土壤质地分类三角坐标图
Fig.1 Triangle coordinate diagram of soil texture classification system

2 系统设计原理

2.1 设计思路

2.1.1 需求分析

系统目标:实现土壤质地自动识别功能,该系统须能实现对单个供试土样质地分类的识别,且能实现批量数据的识别.

识别依据:土壤颗粒机械组成,即供试土样砂粒、粉粒和黏粒的百分含量.

分类标准:国际制土壤质地分类标准和美国农业部制土壤质地分类标准.

2.1.2 系统设计

本系统使用面向对象的软件开发方法对系统进行设计,使用三层架构进行系统设计,分别为视图层、业务逻辑层和数据访问层.

1) 视图层:该层负责为用户提供系统使用界面,是用户与系统进行交互的接口.使用者可通过用户界面向系统发出需要执行的操作指令,系统通过该层响应用户发出的操作指令和显示程序执行的结果.

2) 业务逻辑层:该层负责土壤质地识别算法的实现.根据用户选择的土壤质地分类标准(国际制标准或美国农业部制标准)对输入或读取到的土壤粒度含量数据,实现土壤质地类型分类算法,用以实现土壤质地类型的自动识别.

3) 数据访问层:该层负责读写 Excel 文件(即读取 Excel 中的批量待识别数据和写入 Excel 分类

结果)和读取使用者通过用户界面输入的单个土壤粒度含量数据.

鉴于此,程序流程图如图2所示.

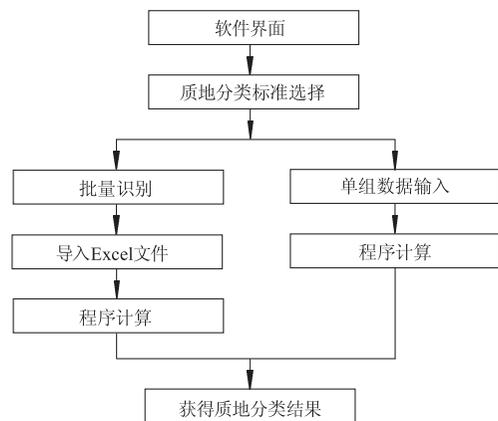


图2 程序设计流程图
Fig.2 Programming flowchart

2.2 基于坐标系分类的解析编程

程序编写中,最重要一步是根据三角图中各质地类型的分类界线对不同的质地类型进行程序语言表述,在对传统三角图的边界进行C#语言解析时,对分类界线所属的质地类型,根据工作经验将其归入小于该分界线粒级含量的土壤质地类型中,采用“(sand + silt + clay < 99.999 999) || (sand + silt + clay > 100.000 001)”允许各粒级含量之和存在百万分之一的误差,体现人机关系友好性.当土壤质地类型界线平行于坐标轴时,该区域的编程较简单,如国际制土壤质地分类三角形中黏土区域可用“(clay > 45 && clay <= 65)”直接表示.当土壤

质地类型界线与坐标轴不平行时,如国际制土壤质地分类三角形中砂土区域、美国农业部土壤质地分类三角形中砂土和壤质砂土区域,其边界需根据平面非直角坐标系点斜式对边界直线进行解析,公式为

$$Y_{\text{sand}} = kX_{\text{clay}} + b_{\text{sand}},$$

式中: Y_{sand} 为土壤质地边界线上某点对应的砂粒含量值; X_{clay} 为土壤质地边界线上某点对应的黏粒含量值; k 为边界线在平面非直角坐标系中的斜率; b_{sand} 为边界线与砂粒含量坐标轴的交点对应的砂粒含量.将边界线上任意已知点的砂粒含量和黏粒含量代入式中求得 k 值即可得到该边界直线的表达式.如:国际制土壤质地分类三角形中砂土区域可用“(sand > clay * 2 + 85)”表示.

3 系统建立

3.1 开发工具与环境

开发语言:C#和WPF,WPF是微软推出的用户界面框架^[10],自公之于众以来,其革命性的创建独立应用程序和软件的方式引起了人们的高度关注,是当前窗体应用程序的主流开发语言.

开发工具:Microsoft Visual Studio 2010.

依赖动态库:NPOI 2.1.3,NPOI是POI项目的.NET版本. POI是个开源的Java读写Excel、Word等微软OLE2组件文档项目.NPOI构建在POI 3.x版本之上,它可以在没有安装Office或者相应环境的机器上对Word/Excel文档进行读写操作.

运行环境:需操作系统支持.Net Framework 3.0及以上版本.

系统环境:Microsoft Windows 7.

3.2 类设计及算法设计

本系统使用的开发语言是C#,故采用面向对象的思想进行程序设计.通过分析,完成该系统需开发4个主要类:土壤样本数据实体类——SoilEntity, Excel文件操作类——ExcelFileOperate,计算公式类——CalculateFormulas和程序的主窗体类——MainWindow.

主要实现的算法有:根据国际制和美国农业部标准实现的土壤质地分类算法、读写Excel文件数据的算法和批量数据分类算法.

3.2.1 类设计

1) 土壤样本数据实体类(SoilEntity).该实体类作用是存储和管理每个土壤样本信息.包括4个属性:砂粒含量值 sand、粉粒含量值 silt、黏粒含量值

clay和被识别的土壤类型 result.系统将获得的每条样本原始数据都封装成一个SoilEntity实体并存储在内存中,对土壤质地进行分类时,从SoilEntity实体中取出数据并调用分类算法进行分类,最后将该实体的分类结果写回到SoilEntity实体的result属性中.

2) 计算公式类(CalculateFormula).负责实现系统中使用到的分类算法和数据处理算法.包括3个方法:根据美国农业部标准实现的分类算法实现的“获得美国制分类结果”对应的getUSDAResult方法,根据国际制标准实现的分类算法实现的“获得国际制分类结果”对应的getISSSResult方法,以及根据读取的数据和选择的分类标准进行批量数据处理的数据Handle方法.

3) Excel文件操作类(ExcelFileOperate).负责实现Excel文件的读写操作.包括4个方法:获得导入文件的文件名getOpenFileName方法,获得导出文件的文件名getSaveFileName方法,读Excel数据的readExcelData方法,写Excel数据的writeExcelData方法.

4) 系统主窗体类(MainWindow).负责用户界面显示和对用户触发的按钮点击事件进行处理.需要实现的方法有:用来获得用户选择的土壤质地分类标准的getCalculateType方法和重置输入框的setEmpty方法.用来处理的事件方法主要有4个:点击获得分类结果按钮触发的事件用btn_SingleCalculate_Click方法处理,点击导入文件按钮触发的事件用btn_ImportData_Click方法处理,点击进行计算按钮触发的事件用btn_Calculate_Click方法处理,点击导出结果按钮触发的事件用btn_ExportData_Click方法处理.

4类的关联关系如图3所示,其中MainWindow类需要依赖SoilEntity,ExcelFileOperate和CalculateFormula,而CalculateFormula需要依赖SoilEntity.

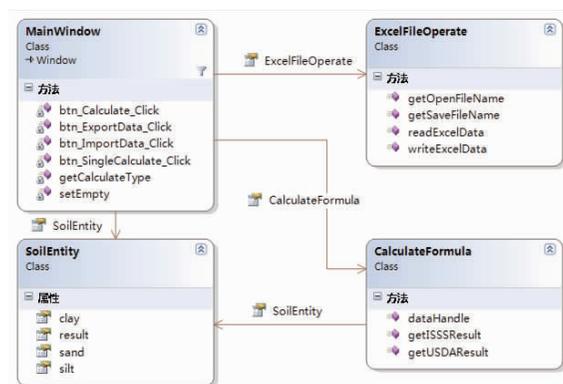


图3 类设计关联关系图

Fig. 3 Relationship diagram of class design

3.2.2 算法设计

STARS的主要算法中,获得美国农业部制分类结果算法、获得国际制分类结果算法根据相应的制式标准和规则判断即可实现,二者分别对应 getUSDAResult 及 getISSSResult 方法实现,在此不再赘述。下面详细介绍读取 Excel 中批量土壤质地数据的算法、将批量结果数据写入 Excel 中的算法,及根据用户选择标准批量获得分类结果算法的详细步骤。

1) 算法一:读取 Excel 中批量数据的算法步骤,共8步,即 readExcelData 方法的实现思想。

输入:Excel 文件所在路径及文件名。

输出:List < SoilEntity > 对象,该对象中存放着封装了属性值 sand, silt 和 clay,但未给 result 属性赋值的 SoilEntity 实体对象集。

Step 1 以读取方式打开 Excel 文件,根据文件名确定创建的工作簿格式(.xls 或 .xlsx);

Step 2 打开第1个 Sheet(程序只使用 Excel 的第1个 Sheet);

Step 3 获得当前 Sheet 中的数据总行数;

Step 4 依次读取1行数据中的3个数值;

Step 5 将本次读取的3个数值封装到实体类 SoilEntity 中;

Step 6 将本次封装的 SoilEntity 实体添加到链表 List < SoilEntity > 中;

Step 7 跳转至 Step 4 直到最后1行;

Step 8 关闭读 Excel 的数据流并返回 List < SoilEntity > 对象。

2) 算法二:批量数据的分类算法步骤,共5步,即 dataHandle 方法的实现思想。

输入:算法一输出的 List < SoilEntity > 对象和用户选择的计算类型 calculateType。

输出:每个 SoilEntity 的 result 值存放分类结果的 List < SoilEntity > 对象。

Step 1 判断算法一获得的 List < SoilEntity > 对象是否为空,非空转 Step 2,空则返回 NULL;

Step 2 遍历 List < SoilEntity > 对象,读其中的每个 SoilEntity 对象;

Step 3 将 SoilEntity 封装的值取出,并根据用户选择的计算类型 calculateType 调用相应的分类方法(getUSDAResult 或 getISSSResult)以获得该对象分类结果;

Step 4 将 Step 3 的识别结果存放到 SoilEntity 的 result 属性中;

Step 5 返回包含分类结果的 List < SoilEntity >

对象。

3) 算法三:将批量数写入 Excel 中的算法步骤共7步,即 writeExcelData 方法的实现思想。

输入:算法三的输出(即包含 result 分类结果的 List < SoilEntity > 对象 list)和 Excel 文件的存储路径及存储文件名。

输出:包含最终分类识别结果数据的 Excel 文件。

Step 1 以写的方式打开 Excel 文件,根据文件名确定创建的工作簿格式(.xls 或 .xlsx);

Step 2 打开第1个 Sheet;

Step 3 将 Sheet 的第1行设置上表头信息;

Step 4 遍历 List < SoilEntity > 对象 list,每次取出1个 SoilEntity 对象;

Step 5 将 SoilEntity 对象中的属性值读出,依次赋值给 Sheet 中每行相应的单元格中;

Step 6 跳到 Step 4 直到最后1个 list 对象写入 Sheet 中;

Step 7 将 Sheet 数据流写入工作簿并关闭写 Excel 的文件流,Excel 文件创建成功。

3.3 系统界面介绍

STARS 只含1个窗体,该窗体功能区由上到下分为3个部分,如图4所示。各部分简介如下:

1) 选择土壤质地分类标准。供用户选择的有国际制和美国农业部制2个选项,且用户每次只能选择1个标准,系统默认为国际制。

2) 单个识别。该部分的独立功能是通过用户输入各粒度的百分含量实现对土壤质地的自动识别。界面包含3个可供用户输入各粒度含量的数据输入框,将颗粒分析获得的土样各粒度含量输入后,从而获取土样质地类型。为方便用户使用和提高识别率系统内置了数据验证功能,即在计算之前对数据进行验证,若用户输入了不符合规范的数据,系统会给出相应的提示,供使用者修正数据,如:遗漏数据或输入的数据中包含非数值字符、某一粒度含量不在0~100%范围内、3项粒度含量之和不等于100%等,系统会弹出提示框提示用户输入合理数据,同时帮用户清空刚才输入的错误数据。

3) 批量识别。该功能是本系统的核心功能,点击【导入数据】按钮,将颗粒分析结果的 Excel 文件数据导入到 STARS;通过【开始计算】按钮和【导出结果】按钮可将分类结果导出到重命名的 Excel 文件中。使用者需按照导入数据、进行计算和导出结果的顺序操作使用该功能。若操作顺序有误,系统

会给出相应提示,避免出错。



图 4 系统界面
Fig. 4 System interface

4 应用实例

作者在陕西省省域尺度土壤物理基本参数的空间变异性研究^[11]中,利用 STARS 查询 1 053 个测点的土壤质地分类,实现土壤质地批量快速检索。

在土样采集中,用标准环刀(100 cm³)取地表 0~20 cm 土样带回实验室风干、研磨,过 2 mm 筛后用马尔文激光分析仪(MS2000 型)测定土壤颗粒机械组成。对单个土样进行质地识别时,首先选择土壤质地分类标准【国际制】(或【美国农业部制】),分别输入各粒度的百分含量,然后点击【获得分类结果】按钮,系统根据用户之前选中的分类标准调用相应算法进行计算,最后显示本次分类结果。为便于用户输入数据,点击【重置分类数据】按钮后,系统会帮助用户清空之前录入的数据,便可进行再次输入与计算。

对批量土样进行质地识别时,将土壤机械组成结果导出后另存为 Excel 文件(兼容 .xls 和 .xlsx 格式),Excel 文件中前 3 列字段分别设为砂粒含量(s)、粉粒含量(p)和黏粒含量(c),如图 5 所示。打开 STARS 界面,先选择土壤质地分类标准【国际制】(或【美国农业部制】),再选择批量识别,点击【导入数据】后将需要计算转换的 Excel 文件导入,文件导入后系统会提示“文件导入成功”点击【进行计算】后系统开始对数据文件进行程序运算,待界面显示“计算完成”后,点击【导出结果】选择结果文件的导出位置,保存为可供用户直接对结果进行统计分析的 Excel 文件,批量识别结果如图 6 所示。

在陕西省调研中的 1 053 个实测土样颗粒分析结果中随机抽选 13 个土样进行人工结果比对,如表 1 所示,STARS 所得的结果与人工查询的结果完全一致,说明了该系统的简捷性、适用性和准确性。在

导出的 Excel 文件中添加供试土样采样点的经纬度坐标字段后可将文件直接导入 ArcGIS 中,实现土壤质地不同尺度下的空间变异性研究。

	A	B	C
1	s/%	p/%	c/%
2	94.15	3.88	1.97
3	67.13	26.06	6.81
4	60.25	28.46	11.29
5	65.47	11.13	23.4
6	39.31	41.21	19.48
7	46.56	30.05	23.39
8	59.52	35.03	5.45
9	44.25	23.39	32.36
10	26.67	42.76	305.7
11	30.21	40.06	29.7

图 5 文件导入示意图
Fig. 5 Schematic of file import

	A	B	C	D	E
1	样本编号	s/%	p/%	c/%	结果(国际制标准)
2	1	94.15	3.88	1.97	砂土
3	2	67.13	26.06	6.81	砂壤土
4	3	60.25	28.46	11.29	砂壤土
5	4	65.47	11.13	23.4	砂黏壤土
6	5	39.31	41.21	19.48	黏壤土
7	6	46.56	30.05	23.39	黏壤土
8	7	59.52	35.03	5.45	砂壤土
9	8	44.25	23.39	32.36	壤黏土
10	9	26.67	42.76	305.7	某项粒度含量不在有效范围
11	10	30.21	40.06	29.7	粒度含量之和不等于100%

图 6 结果导出示意图
Fig. 6 Schematic of export results

表 1 土壤质地类型自动分类结果(部分)
Tab. 1 Results of soil texture automatic classification (Section)

样本编号	采样点坐标		土壤颗粒含量/%			质地类型
	经度	纬度	s	p	c	
1	110.503 1°E	38.842 1°N	96.15	3.68	0.17	砂土
2	110.185 2°E	37.755 8°N	73.10	16.56	10.34	砂壤土
3	108.116 0°E	37.363 3°N	70.21	18.46	11.33	砂壤土
4	109.329 0°E	36.864 1°N	66.07	21.13	12.80	砂壤土
5	110.169 8°E	36.050 4°N	49.34	31.02	19.64	黏壤土
6	109.432 8°E	35.762 1°N	46.56	32.05	21.39	黏壤土
7	108.148 6°E	35.017 4°N	55.82	25.03	19.15	砂黏壤土
8	109.788 8°E	34.519 9°N	54.20	23.39	22.41	黏壤土
9	107.362 8°E	34.293 1°N	28.52	41.03	30.45	壤黏土
10	108.184 8°E	34.052 3°N	26.67	42.76	30.57	壤黏土
11	110.539 4°E	33.437 8°N	57.69	28.50	13.81	砂壤土
12	106.673 1°E	33.153 4°N	30.21	40.06	29.73	壤黏土
13	108.738 3°E	32.695 0°N	33.06	39.23	27.71	壤黏土

5 结论

1) STARS 体积小易传输、免安装、解压后可直接打开使用,软件只有 1 个窗体,在选择分类标准及进行单个识别和批量识别时不用切换窗口,操作简便,易学易用,界面为简体中文版,适合国内学者、研究人员使用。

2) 提供数据验证和错误提示。系统对所有样本数据进行有效性验证,有利于提高数据有效率和识别率,同时对用户的误输入给出错误提示,方便用

户定位和修正错误数据.同时对砂粒、粉粒、黏粒含量3组数据输入,增加了数据的自检效果,可有效减少土壤质地结果的出错概率.

3)采用C#语言直接对各土壤质地类型区域进行编程解析,减少了由其他方法带来的复杂计算过程,方法更为简便.

4)STARS可同时支持Excel的*.xls格式和*.xlsx格式,数据处理量大.使用*.xls格式文件可一次性处理65 535组数据,而使用*.xlsx格式可一次性处理1 048 575组数据.两格式之间的数据可以任意转换,用户可直接在Excel实现识别结果的统计分析,极大地方便了用户使用.

5)在后续研究中,将该软件作为插件植入激光粒度仪系统内,可按用户所需直接输出供试土样的各粒度含量和土壤质地分类结果.STARS的建立方法适用于其他3组分体系分类系统,如:岩类命名等.STARS的设计理论亦适用于双三角图自动识别系统的建立.如:国际地质联合会(IUGS)岩石学委员会对深成岩分类方法推荐的QAFP双三角图方案.本软件可供国内学者免费交流使用,有需要系统设计完整代码者请联系作者.

参考文献 (References)

- [1] GERAKIS A, BAER B. A computer program for soil textural classification[J]. Soil science society of America journal, 1999, 63(4): 807-808.
- [2] LIEBENS J. Spreadsheet macro to determine USDA soil textural subclasses[J]. Communications in soil science and plant analysis, 2001, 32(1/2): 255-265.
- [3] TEH C B S, RASHID M A. Object-oriented code to lookup soil texture classes for any soil classification scheme[J]. Communications in soil science and plant analysis, 2003, 34(1/2): 1-11.
- [4] 杨红卫,汪新庆,刘刚.基于三角图命名岩类的计算机命名研究[J].地矿测绘,2003,19(3):4-6.
YANG Hongwei, WANG Xinqing, LIU Gang. The study about using computer to name rock which named basing on triangular diagram[J]. Surveying and mapping of geology and mineral resources, 2003, 19(3): 4-6. (in Chinese)

- [5] 张萌,黄思静,冯文新,等.巧解砂岩分类三角图[J].成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(4):423-429.
ZHANG Meng, HUANG Sijing, FENG Wenxin, et al. Further calculating plots in a triangle for the classification of sandstones[J]. Journal of Chengdu University of Technology (science & technology edition), 2005, 32(4): 423-429. (in Chinese)
- [6] 张丽萍,张懿铨,王英安.基于计算机图形学的土壤质地自动分类系统[J].地理科学进展,2006,25(3):86-95.
ZHANG Liping, ZHANG Yili, WANG Ying'an. Automatic soil texture classification system based on computer graphics[J]. Progress in geography, 2006, 25(3): 86-95. (in Chinese)
- [7] 郭彦彪,戴军,冯宏,等.土壤质地三角图的规范制作及自动查询[J].土壤学报,2013,50(6):1221-1225.
GUO Yanbiao, DAI Jun, FENG Hong, et al. Standard mapping of soil textural triangle and automatic query of soil texture classes[J]. Acta pedologica sinica, 2013, 50(6):1221-1225. (in Chinese)
- [8] 张丽萍,张懿铨,王英安.国内外土壤质地自动分类程序介绍[J].土壤通报,2007,38(5):989-992.
ZHANG Liping, ZHANG Yili, WANG Ying'an. Computer programs of automatic classification for soil texture [J]. Chinese journal of soil science, 2007, 38(5):989-992. (in Chinese)
- [9] 邵明安,王全九,黄明斌.土壤物理学[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [10] 琚彬.基于WPF平台的自定义控件开发[D].西安:西安电子科技大学,2008.
- [11] 王卫华,李建波,王铄,等.省域尺度土壤水气热参数空间变异特征及主控因子分析[J].排灌机械工程学报,2015,33(7):626-633.
WANG Weihua, LI Jianbo, WANG Shuo, et al. Provincial-scale spatial variation of soil water-air-thermal parameters and its main controlling factor analysis[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering, 2015, 33(7): 626-633. (in Chinese)

(责任编辑 徐云峰)