

基于遥感影像的作物生长监测系统的设计与实现

姜晓剑, 刘小军, 田永超, 姜海燕, 曹卫星, 朱艳*

(南京农业大学江苏省信息农业高技术研究重点实验室, 南京 210095)

摘要: 利用遥感监测技术实时快速地获取作物长势参数和氮素营养状况, 可以为作物的精确管理提供决策支持。在已有作物(小麦和水稻)生长监测模型的基础上, 采用 GDAL 和 GDI+信息处理方法, 使用 EM 算法对反演的作物长势参数进行聚类分析, 在 Microsoft .NET 平台上构建基于聚类分析和遥感影像的网络化作物生长监测系统。系统具有常见格式遥感影像读取、遥感信息提取、作物长势参数反演、聚类分析、专题图制作以及信息发布等功能, 并以江苏省方强农场为案例区, 对系统的部分功能进行了测试与检验。结果表明, 该系统能够准确的读取遥感影像信息, 反演作物生长参数, 并可根据聚类分析结果自动制作专题图, 通过互联网予以发布, 从而初步突破了用户无法直接参与遥感影像分析过程的瓶颈, 为区域尺度的作物生长监测和精确管理调控提供了决策支持。

关键词: 农作物, 遥感, 聚类分析, 生长监测, 反演

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.03.027

中图分类号: S127

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-03-0156-07

姜晓剑, 刘小军, 田永超, 等. 基于遥感影像的作物生长监测系统的设计与实现[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 156—162.
Jiang Xiaojian, Liu Xiaojun, Tian Yongchao, et al. Design and implementation of remote sensing image-based crop growth monitoring system[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(3): —. (in Chinese with English abstract)

0 引言

遥感影像包含丰富的信息, 可以快速、无损、实时、大范围地监测农作物的长势、产量和品质。利用数据挖掘技术对遥感影像进行分析和处理, 可以有效地分析、抽取遥感影像海量信息中的特征信息, 结合网络对信息进行发布和共享, 可以为区域尺度的作物精确管理提供可靠的决策支持。为了从遥感影像中提取有用信息, 国内外已经建立了许多已投入运行的农作物遥感监测系统^[1-4], 然而这些监测系统大多数基于 Client/Server 架构, 主要功能模块依赖于商业遥感影像处理平台(如 IDL), 并在客户端运行, 因此遥感影像的分析处理难以和普通用户形成有效的互动, 无法及时、广泛的共享和发布遥感信息。同时遥感影像包含的信息量巨大, 如何对其信息进行有效的分析、处理、共享和传输, 成为制约遥感技术广泛应用的瓶颈之一。聚类算法, 如 EM(expectation maximization, 期望最大化)、K-means(K 均值)等, 已成为图像识别中常用的算法, 在遥感影像分类中得到了广泛的应用^[5-12]。聚类分析可以在没有任何先验知识的情况下, 抽取特征信息, 对具有海量信息的遥感影像数据进行概括性的描述^[13]。随着计算机硬件技术的发展, 聚

类分析已成为数据挖掘的主要方法之一, 同时也是遥感影像数据挖掘的有效方法^[14-15], 结合数据库技术和机器学习, 能够快捷、自动地对遥感影像中的海量信息进行抽取和提炼。本研究拟在课题组已有作物生长监测模型的基础上^[16-19], 综合运用数据库技术、聚类分析技术和遥感影像处理技术等, 构建基于聚类分析和遥感影像的网络化作物生长监测系统, 实现遥感影像数据的自动处理, 用户可通过网络参与分析遥感影像包含的作物长势信息, 为区域尺度的作物生长监测和精确管理调控提供决策支持。

1 系统的设计与实现

1.1 系统结构设计

系统采用 Browser/Server 架构, 主要包括数据层、业务逻辑层和表现层, Web 服务器使用因特网信息服务(internet information services, IIS)。其中数据层由数据库组成, 主要用于遥感影像及其反演数据的存储和管理; 业务逻辑层由作物(小麦和水稻)生长监测模型、聚类分析模块和遥感影像处理模块组成, 主要提供遥感影像反演计算和专题图制作的功能; 表现层由 ASP.NET 页面组成, 包含图像显示控件和用户交互控件, 主要提供图像显示、用户请求处理等功能。具体的系统结构与流程见图 1。

1.1.1 数据层

数据层即数据库服务层, 采用 Microsoft SQL Server 2005 构建数据库结构, 主要用来存储和管理遥感影像数据, 保存反演的作物长势参数。另外, Microsoft SQL Server 2005 的分析服务提供聚类分析功能, 能对反演的作物长势进行分析和处理, 其结果将作为系统中专题图分类的

收稿日期: 2009-09-21 修订日期: 2010-02-28

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-08-0797); 国家自然科学基金(30871448); 江苏省自然科学基金(BK2008330); 江苏省创新学者攀登计划(BK20081479)资助

作者简介: 姜晓剑(1978—), 男, 江苏淮安人, 博士生, 主要从事数字农作技术的研究。南京 南京农业大学农学院, 210095。

Email: aspnetant@gmail.com

*通信作者: 朱艳(1976—), 女, 江苏南通人, 教授, 博士生导师, 主要从事信息农学的研究。南京 南京农业大学农学院, 210095。

Email: yanwu@njau.edu.cn

依据。

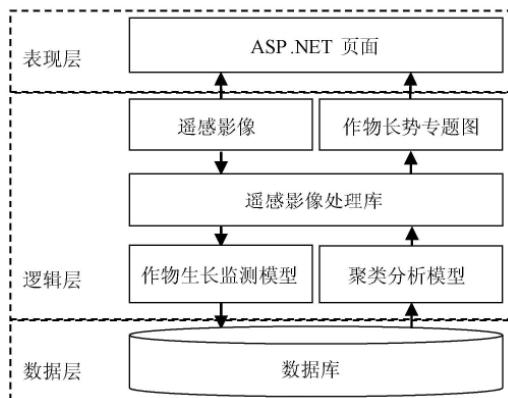


图 1 系统结构及流程图
Fig.1 System structure and flow chart

1.1.2 业务逻辑层

业务逻辑层由 4 部分组成: 1) 遥感影像处理模块, 主要用于读取和处理遥感影像的各个波段信息, 为作物生长监测模型的运行提供输入参数; 2) 作物生长监测模型, 基于提取的遥感信息进行作物类型的识别, 并对作物生理和生化参数进行定量反演, 从而监测作物长势。本课题组已建立的作物(小麦和水稻)生长监测模型可以反演植株氮碳含量与积累量, 叶片光合色素含量和积累量、碳氮比, LAI 和生物量等, 并可进行产量和品质指标的估测; 3) 聚类分析模型, 用于分析作物生长监测模型的计算结果, 实现基于单个作物长势参数分类或基于多个作物长势参数聚类的功能, 其结果作为专题图制作的参考依据之一; 4) 专题图制作模块, 基于聚类分析模型运行的结果或用户定义的分类值, 进行专题图的制作, 用户也可以参考聚类结果, 根据自身的判断以及对遥感影像的了解, 对分类值进行调整, 重新生成专题图。用户通过分析比较专题图中各分类的空间分布以及数值, 即可为区域作物的精确管理与调控提供决策支持。

1.1.3 表现层

表现层主要由 ASP.NET 页面组成, 包含图像显示控件和用户交互控件, 前者用于显示图像, 后者用于显示相关计算结果和用户提交的请求。用户可以自己调整分类的分段值、数值范围、颜色等属性, 制作相关的专题图。

1.2 系统实现

系统在 Microsoft.NET 平台上使用 ASP.NET 进行网络应用开发, 构建了遥感影像读取、作物长势参数反演、专题图制作的业务逻辑。对地理数据抽象库(geospatial data abstraction library, GDAL)进行了编译和重新封装, 在 Microsoft.NET 平台上实现了遥感影像数据读取和存储功能^[20-24], 支持常见格式的遥感影像(如 ERDAS Imagine、Vexcel MFF2、PCI.aux Labelled、CEOS、CEOS2、ENVISAT、TIFF 等遥感影像文件)^[25]; 综合本课题组已有作物生长参数反演方面的研究成果^[16-19], 构建了作物生长监测模型库; 通过 Microsoft SQL Server 2005 构建数据库结构, 管理和存储遥感影像信息和作物生长监测模

型计算结果; 使用 Microsoft SQL Server 2005 分析服务体系中的分析管理对象(analysis management object, AMO)来建立、处理和管理聚类模型, 调用 ADOMX.NET 查询聚类模型运行结果^[26-27], 并对作物生长监测模型的计算结果进行聚类分析; 利用 GDI+(graphics device interface plus), 结合遥感影像, 对反演的作物长势信息进行处理, 通过互联网与用户进行交互, 生成专题图, 予以发布和共享。

2 系统主要功能及技术原理

系统使用 GDAL 读取遥感影像波段信息、预览遥感影像数据, 然后根据 NDVI 的阈值提取作物信息, 反演作物(小麦和水稻)长势参数并进行聚类分析, 并能依据聚类分析结果或者用户自定义的分类属性制作专题图, 监测农作物长势, 辅助用户进行作物精确管理, 其主要功能见图 2。

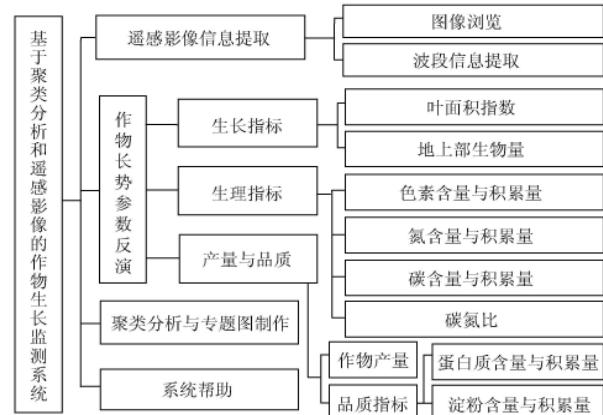


图 2 系统功能简图
Fig.2 Function of the system

2.1 遥感影像信息提取

对 GDAL 源码进行编译, 得到 Microsoft .NET 平台上可用的 GDAL 动态链接库, 系统对 GDAL 动态链接库进行调用, 读取遥感影像中包含的各个波段信息, 提供给作物(小麦和水稻)长势参数反演模块进行计算, 并将遥感影像数据的数值转换为 0~255 之间的整数, 用于灰度显示或者彩色图像显示的 RGB 值。用户可以通过系统中的遥感影像预览功能查看遥感影像信息(包括遥感影像中涉及的波段数目和各波段的波长)、浏览转换后的各波段的灰度图像以及合成后的假彩色图像(波段可由用户选择)。

2.2 作物长势参数反演

系统采用 NDVI 进行作物信息提取, 即逐一计算像元的 NDVI 值, NDVI 的计算公式如下

$$NDVI = (R_{\text{nir}} - R_{\text{red}}) / (R_{\text{nir}} + R_{\text{red}})$$

式中: R_{nir} ——近红外波段的反射率; R_{red} ——红光波段的反射率。当 NDVI 值满足某种作物的 NDVI 范围(NDVI 的上限和下限可由用户设定), 则标志为该种作物, 反之, 该像元被掩膜为零值。

用于作物长势参数反演的遥感监测模型来自课题组基于多年地空遥感试验构建的适用于地面或高空遥感的

作物(小麦和水稻)生长监测模型,可以反演小麦和水稻作物的生长指标、生理指标、产量与品质指标等。其中,生长指标主要包括绿色叶面积指数和地上部生物量;生理指标主要包括氮素营养、碳素营养、碳/氮状况和光合色素等;籽粒品质指标主要包括蛋白质含量与积累量、淀粉含量与积累量等。系统根据作物生长监测模型中所使用的波段信息读取遥感影像中适宜的波段数据,反演作物长势参数,最后将计算结果存入数据库中用于下一步的分析处理。

2.3 聚类分析

遥感影像反演得到的作物长势参数的数据量巨大,因此,本系统使用聚类算法对大量的计算结果(长势参数)进行分析,以期快捷、迅速地为用户提供整体、概要性的计算结果,从而使用户从大量的计算结果中获取特征信息。Microsoft SQL Server 2005 分析服务中,其聚类分析功能主要使用 K-means 和 EM 算法。在分析服务中, K-means 算法可以根据事先定义的簇平均值划分对象,基于平方误差准则进行收敛,从而达到分类的目的;如果未指定分类数和初始分类,则使用试探性方法确定要生成的分类数并生成初始分类^[28]。由于无法事先获取待处理遥感影像的数据分布特征,因此系统中使用 K-means 算法时不指定分类数和初始分类,该种情况下 K-means 算法对孤立点数据是敏感的,少量的极值将对平均值产生影响,从而使分类产生偏移。部分极值将会显著的影响 K-means 分类结果,导致分类结果在整体分布中产生偏差。而在部分极值存在的情况下,EM 算法的分类结果则根据概率将极值部分单独划分到一类中,各个分类较好地反映了数据的整体分布,各分类之间的关系也可以通过概率直观地显示出来。EM 算法则是根据对象和簇之间的隶属关系发生的概率来进行分类,具有较宽广的使用范围,并且 EM 算法划分的分类范围是有重叠的,根据各分类的概率可以找出连接的聚类^[29],排除部分极值对分类的影响。系统采用 EM 算法,对遥感影像反演的某个参数进行分类,或者对多个参数进行聚类,从而对作物的生长情况及其籽粒产量和品质等进行全面、综合的分析。系统通过 Analysis Services 体系结构中的分析管理对象(analysis management object, AMO)来管理、建立并处理聚类分析模型,可以根据用户提交的请求创建数据挖掘结构和数据挖掘对象,对作物长势参数进行实时的聚类分析^[30]。

2.4 专题图制作

系统对读取的遥感影像进行转换,根据聚类分析的结果或者用户自定义数据来定义颜色的 RGB 值,使用 GDI+对遥感影像中的像元进行绘制,生成专题图。其中,系统使用 ADOMD.NET 查询聚类分析模型的运行结果,查询语句如下:

```
Select Node_Description from [MiningModel].content
```

2.5 系统帮助

本模块主要提供系统的使用方法说明,为用户提供系统操作使用过程的详细帮助文档,指导用户正确操作和使用本系统,并提供系统版权信息等。

3 系统应用

以 2006 年 5 月 3 日江苏省盐城市方强农场的 1 景 LISS4 遥感影像处理为例,对系统中的主要功能进行了初步的测试与检验。江苏省盐城市方强农场地处江淮平原东部,中心经纬度为 120°28'E、33°31'N,耕地面积约 3 000 hm²。遥感影像中的种植作物大多数为小麦。遥感影像含有 3 个波段,影像大小为 1 973×2 216 个像元,像元大小为 5 m×5 m,使用 ENVI 软件对遥感影像进行了预处理和剪裁。系统管理员将待发布的 LISS4 遥感影像通过系统管理界面加入到系统遥感像库中,并建立相应的聚类分析模型。用户可以通过浏览器查看遥感影像库中的遥感影像(波段信息、单波段图像以及伪彩色合成图像),选择模型库中的作物监测模型来反演作物长势参数,并使用相应的聚类分析模型对作物长势参数进行分析和处理,最终用户可以浏览基于聚类分析结果生成的专题图,亦可以自定义生成专题图。

3.1 基于 GDAL 的遥感影像提取

分别利用本系统和 ENVI 软件对遥感影像进行了读取。本实例中使用的 LISS4 遥感影像所含数据为 DN 值,与 ENVI 软件相比,本系统中读取遥感影像包含的 3 个波段信息的 RMSE 均为 0。如果遥感影像的数据为处理后的反射率,则存在微小的 RMSE(量纲为 10⁻⁵),产生误差的原因主要是 GDAL 和 ENVI 读取的遥感影像数据的小数位数稍有不同。以上结果说明系统中遥感影像数据的读取是可靠的,同时也说明 GDAL 可以作为遥感影像读写工具用于科学研究。

3.2 基于监测模型的作物长势参数反演

系统首先采用 NDVI 的阈值进行小麦种植田块信息的提取^[31],识别出的非小麦种植田块采取掩膜处理。基于遥感影像读取模块提取遥感影像的 3 个波段信息,调用作物生长监测模型库中的小麦监测模块,对小麦长势参数进行定量反演,并将反演得到的小麦长势参数(叶面积指数、叶片氮含量和氮积累量等)存储到数据库中。基于方强农场小麦试验中 2006 年 5 月 3 日与 LISS4 卫星影像过境同步的地面观测数据,对系统中反演的小麦长

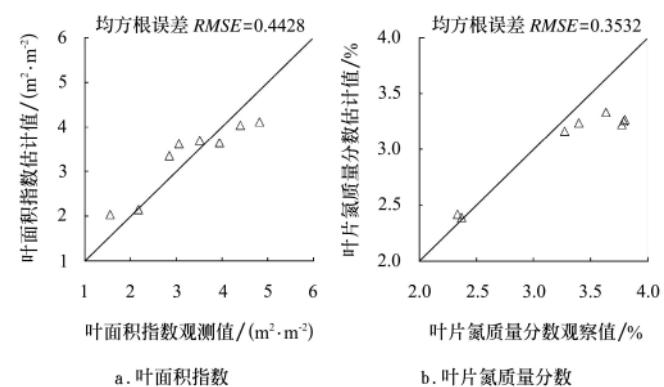


图 3 监测模型反演小麦叶面积指数和叶片氮质量分数的检验结果

Fig.3 Testing results of LAI and leaf nitrogen content in wheat inversed by monitoring models

势参数进行了检验, 叶面积指数和叶片氮含量的检验结果如图3。其中8个取样点实测的LAI和叶片氮含量与遥感影像反演值之间的RMSE分别为 $0.4428\text{ m}^2/\text{m}^2$ 和0.3532%, 说明监测模型能较为准确的反演小麦长势信息。

3.3 基于聚类分析的专题图生成

系统根据方强农场2006年5月3日的遥感影像反演了小麦叶面积指数和叶片氮含量, 使用K-means和EM算法进行了单指标分类处理, 分类时由算法自动计算分类的数目, 结果如表1所示。

表1 EM和K-means算法对叶面积指数和叶片氮含量聚类结果

Table 1 Single clustering results of LAI and leaf nitrogen content using EM and K-means algorithm

| 分类 | 叶面积指数/($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) | | 叶片氮质量分数/% | |
|----|--|-------------|-------------|-------------|
| | EM | K-means | EM | K-means |
| 1 | [3.97,5.15] | [3.90,5.15] | [3.18,3.86] | [3.15,3.86] |
| 2 | [3.62,4.20] | [3.64,4.06] | [2.98,3.31] | [3.00,3.24] |
| 3 | [3.11,3.68] | [3.40,3.66] | [2.69,3.02] | [2.86,3.01] |
| 4 | [2.59,3.16] | [3.14,3.40] | [2.39,2.72] | [2.71,2.86] |
| 5 | [2.22,2.64] | [2.88,3.13] | [2.18,2.43] | [2.56,2.71] |
| 6 | [1.98,2.24] | [2.62,2.88] | [2.05,2.19] | [2.41,2.56] |
| 7 | [1.72,1.98] | [2.36,2.62] | [1.90,2.05] | [2.26,2.41] |
| 8 | [1.46,1.72] | [2.10,2.36] | [1.75,1.90] | [2.12,2.26] |
| 9 | [1.20,1.46] | [1.84,2.10] | [1.60,1.75] | [1.97,2.16] |
| 10 | [1.01,1.20] | [1.44,1.86] | [1.49,1.60] | [1.74,1.97] |
| 11 | — | [1.01,1.51] | — | [1.49,1.77] |

注: EM——期望最大化; K-means——K均值。

从表1可以看出, 一般情况下采用K-means和EM算法均可以对遥感影像中的计算结果进行正常分类。Microsoft K-means算法在未指定分类数目的情况下, 可以根据数值的范围计算分类的最佳数目, 因此在分类结果中, 各个分类的边界产生较少的重叠现象, 但是分类容易受极值的影响而产生偏差。而基于EM算法的分类结果中, 各个分类的边界大多有重叠, 而且各个分类之间的界限不是很明显, 通过这种重叠关系可以找出各个分类之间的连接区域以及某个分类的相邻分类, 即使用EM算法不仅可以进行分类, 而且可以根据各个分类的概率获取分类之间的关系。因此本系统中的聚类模型采用EM算法, 并基于EM算法的分析结果生成专题图。

小麦叶面积指数与氮素营养状况密切相关, 是表征植被冠层结构最基本的参量, 而小麦叶片氮含量与植株氮素状况及土壤肥力水平密切相关, 是表征小麦营养状况和长势的重要参数, 因此本文以反演的叶面积指数和叶片氮含量为指标, 对遥感影像中的像元进行聚类分析, 被划分在同一类表示该类中的小麦叶面积指数和叶片氮含量的分布具有一定的相似性。通过这种聚类分析, 可以综合考虑叶面积指数和叶片氮含量来了解区域内小麦长势的整体分布。系统对叶面积指数和叶片氮含量进行

聚类分析时, 不设置分类的数目, 使用系统中EM算法的默认模型自动判断最终的聚类数目。系统自动将叶面积指数和叶片氮含量聚类为13类, 如表2所示。从表2可以看出, 被划分在同一类中的LAI和叶片氮含量分布趋势大致相同, 即往往较大的LAI和较高叶片含氮量被划分为一类, 反之亦然。

表2 使用EM算法对叶面积指数和叶片氮含量进行聚类的结果

Table 2 Clustering results of LAI and leaf nitrogen accumulation using EM algorithm

| 分类 | 叶面积指数/($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) | 叶片氮质量分数/% | 分类概率 | 样本数 |
|----|--|-------------|------|--------|
| 1 | [3.97,5.15] | [3.18,3.86] | 0.14 | 451687 |
| 2 | [2.86,3.28] | [2.55,2.79] | 0.12 | 380929 |
| 3 | [3.24,3.68] | [2.77,3.02] | 0.11 | 355919 |
| 4 | [3.63,4.03] | [2.99,3.20] | 0.10 | 243529 |
| 5 | [2.09,2.43] | [2.11,2.30] | 0.09 | 242953 |
| 6 | [2.36,2.69] | [2.26,2.45] | 0.08 | 267222 |
| 7 | [2.63,2.89] | [2.42,2.57] | 0.08 | 273786 |
| 8 | [1.86,2.11] | [1.97,2.12] | 0.06 | 204597 |
| 9 | [1.46,1.71] | [1.75,1.90] | 0.05 | 162512 |
| 10 | [3.96,4.19] | [3.18,3.31] | 0.05 | 227662 |
| 11 | [1.20,1.46] | [1.60,1.75] | 0.05 | 147354 |
| 12 | [1.01,1.20] | [1.49,1.60] | 0.04 | 131325 |
| 13 | [1.76,1.78] | [-∞,1.93] | 0.02 | 87726 |

最终, 用户可以根据自身的判断和对遥感影像所显示区域的了解来修改专题图, 为作物生长监测提供决策支持(图4)。从图4可以判别田块轮廓, 并且在不同的田块中, 叶面积指数亦有差异。因此, 系统使用聚类模型能够用于处理和分析遥感影像信息, 对遥感影像数据进行概括性的描述, 帮助用户从整体上了解遥感影像所包含的信息。



图4 系统专题图操作界面
Fig.4 Interface of the thematic map generation in the system

4 讨论

本研究使用GDAL读取和处理遥感影像, 利用作物

(小麦和水稻)生长监测模型反演其长势,结合聚类算法分析作物长势的空间分布特征,进而构建了基于聚类分析和遥感影像的网络化作物生长监测系统,能基于网络平台迅速、便捷的发布遥感信息,从而初步解决了用户无法直接参与遥感影像分析过程的瓶颈。在江苏省方强农场的应用也表明,本系统在江苏中部和南部区域内能可靠的提取遥感影像信息,根据本课题组已有作物(小麦)生长监测模型反演作物长势,结合 Microsoft SQL Server 2005 中的分析服务,以聚类分析为辅助决策工具,为区域尺度的作物生长监测和精确管理调控提供决策支持。与已有的基于遥感影像的作物生长监测系统相比,本系统主要有以下特点:

1) 本研究在 Microsoft .NET 平台上使用 C#语言进行网络应用程序开发,使用 GDAL 对遥感影像信息进行可靠的读取和转换,脱离了遥感影像商业处理软件平台运行环境的限制,对遥感技术的应用推广具有一定的促进作用。

2) 本系统在课题组已有作物(小麦和水稻)生长监测模型的基础上,反演了小麦和水稻的生长指标、生理指标、品质与产量指标,为进一步以 LAI、地上部生物量、叶片氮素状况等农学参数为基础,将生长监测模型与作物生长模型、知识模型在 Microsoft .NET 平台上进行有效耦合与集成奠定了技术基础。

3) 使用聚类分析方法对遥感影像反演的生长指标、生理指标、品质与产量指标等进行综合分析,能帮助用户从整体上了解遥感影像所包含的海量信息,并通过网络平台使用户直接参与作物生长监测分析和专题图制作以及遥感信息的发布与共享。

4) 系统架构采用 Browser/Server 模式,表现层、逻辑层和数据层分离,安全性高,各功能(遥感影像读取、转换、计算、分析)由相对独立的模块实现,可扩展性强。其中,逻辑层的作物生长监测模型库可以根据不同类型遥感影像和作物生长监测方面的研究成果进行扩充和完善,从而实现不同生态区不同作物类型的生长监测。

然而,由于本研究工作涉及的知识面较广,对遥感影像的处理逻辑和数据挖掘流程还需要进一步完善,以期充分利用遥感影像信息,提高计算的准确度和效率。本研究中仅使用了聚类分析方法对特定区域特定时期的遥感影像进行了分析,今后可以综合使用数据挖掘中的决策树、时序、聚类以及神经网络算法等,对不同时相的遥感影像数据建立不同的处理模型,从而充分挖掘遥感信息中包含的规则,更加准确、有效地对遥感信息进行全面而综合的分析。另外,今后拟收集更多的试验资料对本系统监测模型和聚类分析结果作进一步的检验和评价。

5 结 论

在课题组已有作物(小麦和水稻)生长监测模型的基础上,采用 GDAL 和 GDI+信息处理方法,并结合聚类

分析方法(EM 算法),对反演的作物长势参数进行综合分类,在 Microsoft .NET 平台上构建了基于聚类分析和遥感影像的网络化作物生长监测系统,实现了遥感影像的读取和处理、作物种植信息的提取、作物长势参数的反演、聚类分析、专题图制作以及信息发布等功能,初步解决了用户无法直接参与遥感影像分析过程的瓶颈,为区域尺度的作物生长监测和精确管理调控提供了决策支持。

[参 考 文 献]

- [1] Potdar M B, Geoge H R, Petter M J. Sorghum yield modeling based on crop growth parameters determined from visible and near-IR channel NOAA AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14(5): 895—905.
- [2] 蒙继华, 吴炳方, 李强子, 等. 运行化的农作物长势遥感监测系统[J]. 高技术通讯, 2007, 17(1): 94—99.
Meng Jihua, Wu Binfang, Li Qiangzi, et al. An operational crop growth monitoring system by remote sensing[J]. High Technology Letters, 2007, 17(1): 94—99. (in Chinese with English abstract)
- [3] 徐新刚, 吴炳方, 蒙继华, 等. 农作物单产预测系统的设计和实现[J]. 计算机工程, 2008, 34(9): 283—285.
Xu Xingang, Wu Binfang, Meng Jihua, et al. Design and implementation of crop yield forecasting system[J]. Computer Engineering, 2008, 34(9): 283—285. (in Chinese with English abstract)
- [4] 刘扬, 周清波, 刘佳, 等. 基于遥感和 WebGIS 的冬小麦估计支持系统[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3371—3375.
Liu Yan, Zhou Qingbo, Liu Jia, et al. Study on remote sensing and WebGIS-based winter wheat yield estimating supporting system[J]. Agriculture Science in China, 2008, 41(10): 3371—3375. (in Chinese with English abstract)
- [5] Bandyopadhyay S, Maulik U. Genetic clustering for automatic evolution of clusters and application to image classification[J]. IEEE Pattern Recognition, 2002, 35(6): 1197—1208.
- [6] Hu Tianming, Sung S Y. A hybrid EM approach to spatial clustering[J]. Computational Statistics & Data Analysis, 2006, 50(5): 1188—1025.
- [7] Cheng Hengda, Shi Xianjun, Min Rui, et al. Approaches for automated detection and classification of masses in mammograms[J]. Pattern Recognition, 2006, 39(4): 646—668.
- [8] Li Ying, Vodacek A, Zhu Yushan. An automatic statistical segmentation algorithm for extraction of fire and smoke regions[J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 108(2): 171—178.
- [9] Guo Ping, Jia Yunde, Lyu M R. A study of regularized gaussian classifier in high-dimension small sample set case based on MDL Principle with application to spectrum recognition[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(9): 2842—2854.
- [10] 居红云, 张俊本, 李朝峰, 等. 基于 K-means 与 SVM 结

- 合的遥感图像全自动分类方法[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(11): 318—320.
- Ju Hongyun, Zhang Junben, Li Chaofeng, et al. Automated remote sensing image classification method based on K-means and SVM[J]. Application Research of Computers, 2007, 24(11): 318—320. (in Chinese with English abstract)
- [11] 徐怡, 李龙澍, 李学俊. 基于粗燥熵和K-均值聚类算法的图像分割[J]. 华东理工大学学报: 自然科学版, 2007, 33(2): 255—258.
- Xu Yi, Li Longshu, Li Xuejun. Image segmentation based on rough entropy and K-means clustering algorithm[J]. Journal of East China University of Science and Technology: Natural Science, 2007, 33(2): 255—258. (in Chinese with English abstract)
- [12] 骆剑承, 周成虎, 梁怡, 等. 有限混合密度模型及遥感影像EM聚类算法[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7A(4): 336—340.
- Luo Jiancheng, Zhou Chenghu, Liang Yi, et al. Finite mixture model and its EM clustering algorithm for remote sensing data[J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7A(4): 336—340. (in Chinese with English abstract)
- [13] 周小成, 汪小钦. 遥感影像数据挖掘研究进展[J]. 遥感信息, 2005, 3: 58—62.
- Zhou Xiaocheng, Wang Xiaoqin. An overview about study in data mining from remote sensing images[J]. Remote Sensing Information, 2005, 3: 58—62. (in Chinese with English abstract)
- [14] 潘建刚, 赵文吉, 宫辉力. 遥感图像分类方法的研究[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2004, 25(3): 86—91.
- Pan Jiangang, Zhao Wenji, Gong Huili. The research of remote sensing image classification method[J]. Journal of Capital Normal University: Natural Science Edition, 2004, 25(3): 86—91. (in Chinese with English abstract)
- [15] 安琼, 杨邦杰, 焦险峰. 作物遥感识别中的数据挖掘[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 181—186.
- An Qiong, Yang Bangjie, Jiao Xianfeng. Data mining technology for crop identification using remote sensing[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(8): 181—186. (in Chinese with English abstract)
- [16] 薛利红, 朱艳, 张宪, 等. 利用冠层反射光谱预测小麦籽粒品质指标的研究[J]. 作物学报, 2004, 30(10): 1036—1041.
- Xue Lihong, Zhu Yan, Zhang Xian, et al. Predicting wheat grain quality with canopy reflectance spectra[J]. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30(10): 1036—1041. (in Chinese with English abstract)
- [17] 李映雪, 朱艳, 曹卫星. 不同施氮条件下小麦冠层的高光谱和多光谱反射特征[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(2): 103—108.
- Li Yingxue, Zhu Yan, Cao Weixing. Characterizing canopy hyperspectral and multispectral reflectance under different N-application conditions in wheat[J]. Journal of Triticeae Crop, 2006, 26(2): 103—108. (in Chinese with English abstract)
- abstract)
- [18] 薛利红, 曹卫星, 罗卫红, 等. 基于冠层反射光谱的水稻群体叶片氮素状况监测[J]. 中国农业科学, 2003, 36(7): 807—812.
- Xue Lihong, Cao Weixing, Luo Weihong, et al. Diagnosis of Nitrogen Status in rice leaves with the canopy spectral reflectance[J]. Agriculture Science in China, 2003, 36(7): 807—812. (in Chinese with English abstract)
- [19] 薛利红, 曹卫星, 罗卫红. 基于冠层反射光谱的水稻产量预测模型[J]. 遥感学报, 2005, 9(1): 100—105.
- Xue Lihong, Cao Weixing, Luo Weihong. Rice yield forecasting model with canopy reflectance spectra[J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(1): 100—105. (in Chinese with English abstract)
- [20] Rao M, Fan Guoliang, Thomas J, et al. A web-based GIS decision support system for managing and planning USDA's conservation reserve program (CRP)[J]. Environmental Modeling and Software, 2007, 22(9): 1270—1280.
- [21] Raup B, Kaab A, Kargel J S, et al. Remote sensing and GIS technology in the global land ice measurements from space (GLIMS) project[J]. Computers and Geosciences, 2007, 33(26): 104—125.
- [22] Raup B, Racoviteanu A, Khalsa S J S, et al. The GLIMS geospatial glacier database: A new tool for studying glacier change[J]. Global and Planetary Change, 2007, 56: 101—110.
- [23] Graham J, Newman G, Jarnevich C, et al. A global organism detection and monitoring system for non-native species[J]. Ecological Informatics, 2007, 2(2): 177—183.
- [24] Serranoa S, Jiménez-Hornero F J, Gutiérrez de Ravéb E, et al. GIS design application for "Sierra Morena Honey" designation of origin[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 64(2): 307—317.
- [25] GDAL. Geospatial data abstraction library[EB/OL]. <http://www.gdal.org/>, 2008-11-04/2009-08-21.
- [26] Chu Yianshu, Tseng Shianshyong, Tsai Yujie, et al. An intelligent questionnaire analysis expert system[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(2): 2699—2710.
- [27] Melomed E, Gorbach I, Berger A, et al. Microsoft SQL Server 2005 Analysis Services[M]. Indiana: Sams Publishing, 2007.
- [28] Microsoft. Microsoft Clustering Algorithm Technical Reference[EB/OL]. <http://msdn.microsoft.com/zh-cn/library/cc280445.aspx>, 2009-7-30/2009-08-21.
- [29] Tang Zhaohui, MacLennan J. Data mining with SQL Server 2005[M]. New York: John Wiley and Sons Inc, 2005.
- [30] Microsoft. Programming AMO Data Mining Objects[EB/OL]. <http://technet.microsoft.com/en-us/library/ms345087.aspx>, 2009-7-30/2009-08-21.
- [31] 鞠昌华. 利用地-空高光谱遥感监测小麦氮素状况与生长特征[D]. 南京: 南京农业大学农学院, 2008.
- Ju Changhua. Monitoring nitrogen status and growth characters with ground – air hyperspectral remote sensing in wheat[D]. Nanjing: College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, 2008. (in Chinese with English abstract)

Design and implementation of remote sensing image-based crop growth monitoring system

Jiang Xiaojian, Liu Xiaojun, Tian Yongchao, Jiang Haiyan, Cao Weixing, Zhu Yan^{*}

(Jiangsu Key Laboratory for Information Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Quick and real-time monitoring of crop growth status based on remote sensing can support the decision-making on precision crop management. Based on growth estimating models in wheat and rice established by the authors' group, a RS image-based monitoring system was developed based on the Microsoft .NET framework using GDAL and GDI+ as information processing methods and EM algorithm for classifying crop growth indices. This system realized the multiple functions as accessing the RS images with common formats, extracting crop information, inverting growth indices, clustering analysis, generating the thematic map and issuing the information with remote sensing technology. Several functions of the system were tested using the RS images at Fangqiang Farm, Jiangsu Province. The results showed that the system could effectively read general remote sensing images, invert the crop growth indices, classify the crop growth information based on the cluster models, interact with users for generating the thematic map of crop growth status, and issue the RS image information rapidly via internet. The present system has overcome the previous weakness that the ordinary users could not directly participate in the process of RS images analysis, and can help to monitor the crop growth condition and provide decision support for precision crop management at regional scale.

Key words: crops, remote sensing, cluster analysis, growth monitoring, inversion