

文章编号: 1007-4619(2007) 03-0420-06

干旱监测遥感支持系统的设计与实现

金 川, 秦其明, 汪冬冬, 阿布杜瓦斯提·吾拉木
(北京大学 遥感与地理系统研究所, 北京 100871)

摘 要: 主要介绍了干旱监测遥感支持系统的设计和实现, 说明了系统的整体框架结构及其所具备的通用性、可扩展性等特点。为了实现系统的可扩展性, 根据 COM 原理, 遥感支持系统开发了一个特别接口, 用户可以借此向系统中添加自己开发的其他功能模块, 或新的文件格式驱动。此外还着重介绍了垂直干旱指数的计算原理和程序实现算法, 并结合宁夏试验区的实际应用对监测结果进行了展示。文中重点介绍了利用 C++ 语言实现垂直干旱指数 (PDI) 的详细步骤, 并对其中寻找土壤点和内存管理等关键算法进行了细致分析。

关键词: 土壤水分监测; 定量遥感; 干旱; PDI
中图分类号: TP79 文献标识码: A

Design and Implementation of Drought Monitoring Remote Sensing Supporting System

JIN Chuan, QIN Qiming, WANG Dongdong, Abduwasit GHULAM
(Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The main objective of this paper is to introduce the implementation of Perpendicular Drought Index (PDI), a simple effective drought monitoring tool in integrated remote sensing supporting system (RSSS) for parameter retrieval and drought estimation.

The quantitative remote sensing models are changing and various and the remote sensing data formats are complex and diverse. The research group used component oriented programming thoughts to solve these problems, making this system extendable in data source and models. The system could deal with various familiar formats of RS image. According to the COM rule, the IRSSS developed a particular interface in order to guarantee the users add new function module or file I/O driver by themselves.

This paper introduces the implementation of PDI using C++ program language. There are four steps designed to complete the task. The general process and purpose of every step is explained and especially the method of finding soil point and memory management are introduced as the key technology.

Our research group has implemented the drought monitoring function based on the basis of the RSSS system. Furthermore, according to the observation data of Ningxia, the research group generated many results of various Drought Indices. The paper also presents the results of evaluated drought situation of Ningxia Hui Autonomous Region of China that indicates the accordance with regional hydro-environmental data.

Key words: soil moisture monitoring; quantitative remote sensing supporting system; drought; PDI

收稿日期: 2006-09-01; 修订日期: 2006-10-30

基金项目: 国家高新技术研究发展计划 (编号: 2003AA135010); 中国气象部门新技术促进计划 (CMA)——基于遥感数据表面参数反演的
气象灾害监测与评估和国家 863 计划: 煤层气的热红外遥感与超低频电磁探测与开发 (编号: 2006AA06Z233) 资助。

作者简介: 金 川 (1980—), 男, 北京大学博士研究生。主要从事遥感与地理信息系统的相关研究和应用开发。E-mail: qm9it@pku.edu.cn
(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 引 言

目前在农业干旱监测方面, 国内外已有各种各样的干旱指数用来评估干旱区的旱情。这些评价指数取得了很多有意义的成果, 例如桑德霍特在塞内加尔利用 TVD 进行干旱监测工作^[1]。不过该领域中大多数研究目前还处于实验阶段, 没有形成成熟实用的软件系统。此外, 由于数学原始公式过于复杂, 某些干旱指数的实现算法也亟待改进和简化, 以适应实际计算的需要。

2 遥感反演平台

北京 大学 GeoSINA (Geospatial Information Analysis & Application Laboratory) 实验室基于 COM 组件技术, 开发出了一套实用的遥感参数反演软件系统。该系统提供了标准的对外接口, 能让用户自主添加新的功能模块, 具有很好的通用性和可扩展性。

遥感反演系统主平台分为三个部分——预处理模块、数据管理模块及数据显示模块。该系统能够支持大多数遥感数据格式。用户能够自己添加新的文件读写驱动和功能模块。本软件系统架构如图 1 所示。

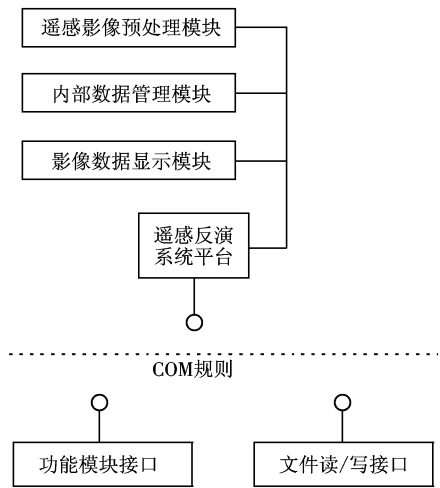


图 1 系统架构
Fig 1 System structure

根据 COM 组件编程原理, 整个系统包含三类主要接口。这些接口保证了系统具备良好的可扩展性。为了与文件读写驱动模块及其他功能模块自由连接, 系统主模块包含了一个用来对外开放的接口类。此外, 文件驱动和功能模块也提供了能与主模块连接的接口。这样, 用户就能依照这些接口的规

范, 向系统中添加自己开发的文件驱动或功能模块。

3 系统模块设计

根据本系统所面向的任务需求, 功能模块共分为 5 部分。这些模块之间的数据和消息交换, 都通过统一的数据传递格式进行, 保证了整个系统的运行顺利。各模块的功能分别介绍如下。

3.1 文件存取模块

系统以 COM 原理为基础, 对 ATSR、NOAA、AVHRR、L1B、MODIS HDF 等常见的遥感数据格式都能支持。所有文件存取模块都实现了以下 6 个函数:

- Connect 用来连接相应文件格式驱动
- GetFileHeader 获得文件头指针
- ReadBandInfo 读取文件波段概要信息
- ReadChannel 读取文件数据内容
- WriteFileHeader 写入文件头信息
- WriteChannel 写入文件数据

主模块在读取遥感数据时, 只调用事先定义好的函数, 由这些函数自动选择与所要读取文件格式相配的文件存取模块, 调用模块中相应的处理函数, 将文件中的数据读入系统内部数据结构中。需要对内部数据进行保存时, 即可调用相关的 WriteFileHeader、WriteChannel 等函数进行处理, 而系统主模块中不必为每种数据格式单独设置存取函数。文件存取模块采用统一接口, 这样就保证了系统的稳定性和可扩展性。

3.2 数据显示模块

为了使遥感影像和计算结果更加形象直观, 系统为用户提供了多种显示方式。用户可以选择单波段或多波段方式显示遥感影像——在单波段显示方式中可以显示普通的灰度图像, 也可利用调色板使单波段数据以彩色方式显示出来; 在多波段显示方式中, 可以选取三个波段分别以红、绿、蓝三种颜色叠加显示。

此外, 系统还支持 Shape 等矢量数据的读取, 能够以栅矢叠加形式显示相关影像和计算结果。图 2 是宁夏行政区划边界矢量数据与遥感影像的叠加显示结果。

3.3 内部数据管理

本系统定义了一套完整的内部数据格式——由



图 2 系统显示界面
Fig 2 Display interface of system

CRSRPF ile类进行管理。系统内部的所有数据计算工作都是基于该类进行的。在处理中,主模块首先利用文件读取模块读入所需的外部文件,将相关文件头信息和波段数据存入 CRSRPF ile的属性成员中。然后再将 CRSRPF ile的对象传给数据处理模块,进行后续计算工作。

当计算完成之后,还可将计算结果保存成 RSRP文件格式。在本系统的实际应用中,大多数结果都被保存成该类文件格式,当然也可开发其他文件格式驱动模块进行存储。

3.4 数据预处理模块

系统的数据预处理模块主要包括遥感影像几何校正、辐射校正及大气影响去除等功能。

3.5 干旱监测

系统利用 IDF格式数据,实现了地表温度反演 (LST)、归一化植被指数 (NDVI)计算等基本功能^[2]。为全方位多角度监测旱区旱情,系统在获取 LST和 NDVI的基础上,提供了 5种干旱检测指数:前 4种为温度植被干旱指数 (TVDI)、温度条件指数 (TCI)、植被条件指数 (VCI)和归一化温度植被角度 (NIVA)以及垂直植被指数 (PDI),能够从多种角度衡量监测区域的植被、水分条件。GeoSNA实验室将自己提出的垂直植被指数 (PDI)原理和算法加入到系统之中,取得了良好效果。下面介绍前 4类指数的相关原理和实现方法,本文第 4部分将详细介绍

PD的实现过程。

(1) TVDI

所需数据: LSI和 NDVI结果数据

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s_{min}}}{T_{s_{max}} - T_{s_{min}}}$$

式中, T_s 表示某像元的地表温度; $T_{s_{min}}$ 表示该像元位置的 NDVI值对应的最低地表温度; $T_{s_{max}}$ 表示 NDVI值对应的最高地表温度。

(2) TCI

所需数据: LSI结果数据

$$TCI = \frac{T_{s_{max}} - T_s}{T_{s_{max}} - T_{s_{min}}}$$

式中, $T_{s_{max}}$ 表示研究区域某时段最大地表温度, $T_{s_{min}}$ 表示最小地表温度。

(3) VCI

所需数据: NDVI结果数据

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

式中, $NDVI_{max}$ 表示研究区域某时段 NDVI最大值, $NDVI_{min}$ 表示 NDVI最小值。

(4) NIVA

所需数据: LSI和 NDVI结果数据

$$NIVA = \frac{2}{\pi} \arctan \left(T_s + \frac{50}{NDVI \times 100} \right)$$

4 干旱指数 PDI

GeoSNA研究小组提出了一种新的干旱指数——PDI (Perpendicular Drought Index, 垂直干旱指数),用来监测地区的干旱情况。在 NIR—Red二维散点图上,遥感影像各像素点的分布接近于一个三角形^[3]。PDI是在 NIR—Red二维散点空间中,垂直于经过坐标原点的土壤基线的法线 (平行于土壤基线,如图 3所示),描述了水分含量在 NIR—Red光谱特征空间的分布规律,离土壤基线法线越远表示越干旱,越近越湿润^[4]。因此,PDI是一种很好的干旱情况评价指数 (关于 PDI原理的更多信息,请参阅参考文献 [4]中吾拉木的介绍)。

PDI的计算公式如下

$$PDI = \frac{1}{\sqrt{M + 1}} (R_{red} + MR_{nir}) \tag{1}$$

式中, R_{red} 为红光波段的反射率; R_{nir} 为近红外波段的反射率; M 为根据土壤点线性回归得到的土壤线的斜率。

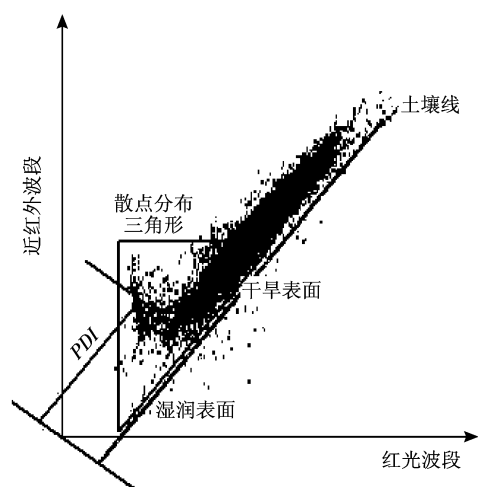


图 3 PDI示意图
Fig 3 Meaning of PDI

这里主要介绍利用 VC++编程实现 PD 的主要过程。

计算 PD 的过程如图 4所示, 共分为 4个步骤。

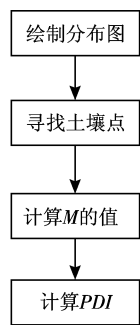


图 4 PD 计算过程
Fig 4 The process of the calculation of PDI

第一步首先绘制各像素在红波段和近红外波段的二维空间内的分布图。横坐标代表该像素位置的红光波段反射率; 纵坐标代表近红外的反射率。遥感影像中的每个像素都要根据各自在这两个波段中的取值, 绘制到这个二维平面中。

本研究中使用的遥感影像格式为“IDF”文件, 这是广泛应用于中国气象部门的通用影像格式。每个空间分辨率为 1000m 的 IDF 文件都包含了 36 个波段信息, 每个波段有 2000×2000 个像素点。如果要把每个像素点都绘到二维平面图上, 工作量将会非常大, 也没有这种必要。由于绘制像素分布图的目的只是显示出像素的整体分布状态, 因此可以从所有像素中随机取样, 在图上只绘制出取样点。这样不仅能体现出像素点的分布情况, 也能大大降低绘图的耗时。

第二步是从图中选择代表土壤信息的土壤点。这步工作的目的是通过一个多边形, 使大多数土壤点落入该多边形之内。用户能够直接在二维分布图中圈选土壤点。根据参考文献 [4] 中介绍的 PD 原理, 二维分布图上各像素点的分布形状类似一个直角三角形, 分布在三角形斜边附近的各点即为土壤点。所以斜边所在的直线也被称为土壤线。在用户绘制多边形的同时, 系统会记录多边形的各个顶点, 并遍历每个像素点, 判断该点是否落入多边形内, 以找到所有的土壤点。在第一步中得到的像素分布图, 只是反映了整体的分布态势, 系统并不能马上根据用户绘出的多边形找出落入其中的土壤点。由于图像中像素点的数目达到了 400 万个, 要想遍历所有像素需要耗费大量时间。研究小组提出并实现了一种高效率算法, 能够完成这项艰巨的工作。该算法将在下一小节里详细介绍。

第三步是计算 M 的值。所有落在土壤线附近的土壤点, 通过一元线性回归能够得到土壤线的斜率。这个斜率值就是所要计算的 M。利用最小二乘法, 以所有土壤点的红波段反射率作为 x 近红外反射率作为 y 值, 能够回归计算得到一条土壤线的直线方程, 从而得到斜率 M^[4]。计算 M 值的公式如下:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{2}$$

式中, x_i 是像素在红光波段的反射率, \bar{x} 是土壤点像素在红光波段反射率的平均值, y_i 是像素在近红外波段的反射率, \bar{y} 是土壤点像素在近红外波段反射率的平均值。

第四步就是计算 PDI 的最终结果, 并作为 RSRP2 文件格式保存起来。对于图像上的每个像素点, 系统应用公式 (1) 就能很容易地计算出该点的 PD 值, 这里不再赘述。

最终的 PD 结果数据需要保存成系统自定义的 RSRP2 格式。该格式首先定义了一个文件头结构, 里面包含了波段数目、数据极值、文件大小、数据类型及文件名称等信息。一般的, 结果数据都会保存成双精度数据, 以免降低精度。

5 关键技术

5.1 利用多边形选取土壤点的算法

得到多边形各个顶点信息之后, 就能根据这些

定点的最大最小坐标值, 获得一个多边形的外接矩形 (ER, Enclosing Rectangle)。显然, 只有落入该矩形内的像素点, 才有可能属于落入多边形内部的土壤点。这样, 很多在外接矩形之外的点将被清除出去, 降低了后面的工作量。

系统采用了一种利用二维平面坐标值判别土壤点的方法。对于每个待判断的像素点, 系统先根据该点在红光 近红外平面上的坐标值, 作出一条平行于 x 轴 (红光反射率) 的射线, 射线顶点即为该像素点, 方向向左 (与 x 轴正方向相反)。然后遍历多边形的每条边, 考察各边是否与射线相交, 并累计交点个数。判断相交的办法首先确定当前这条边两个端点的 y 值, 如果待判断的像素点的 y 值不在这两个端点之间, 那么这条边显然不与射线相交。若像素点 y 值 (旧 y 值) 在端点区间内, 就要获得该边所在直线的方程, 把像素点的 x 值代入方程之中, 得到新的 y 值。不同的直线方程有不同的斜率, 根据斜率正负性及像素点新旧 y 值的大小关系, 能够得到 4 种组合。表 1 表示的就是各种组合代表的相交判断结果。

表 1 “ y ” 值与斜率的组合关系
Table 1 The conditions of the slope and “ y ”

边的斜率	y 值大小比较	
	新值 > 原值	新值 < 原值
斜率 > 0	相交	不相交
斜率 < 0	不相交	相交

当多边形所有的边都被遍历之后, 系统将累计该点射线与多边形各边的交点总数。如果交点数目为奇数, 则该点为落入多边形内部的土壤点, 反之则不属于土壤点。

如图 5 中所示, p_1 点在多边形外接矩形之外,

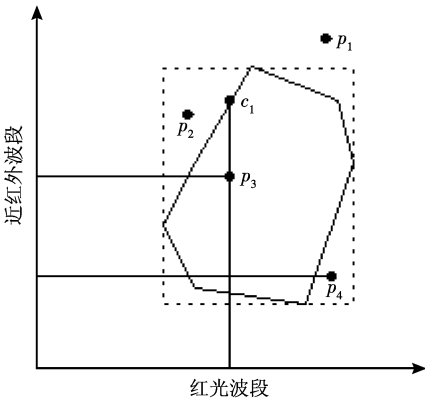


图 5 不同位置的像素点

显然不可能属于土壤点。以 p_2 为顶点的射线和多边形各边共有一个交点, 因此 p_2 被认为是土壤点。以 p_3 为顶点的射线和多边形各边共有两个交点, 因此该点不是土壤点。

当系统遍历了影像的所有像素点之后, 落入多边形内部的土壤点将被挑选出来, 用来计算上一小节介绍的 PD 值。

5.2 内存管理

系统使用了大量的指针变量。如果使用不当或某些内存空间没有及时释放, 很可能造成内存溢出的错误。为了避免这类问题的发生, 系统在处理指针数据时非常谨慎, 尽可能保证指针开辟的空间能够及时释放。系统声明了一个新的数据管理类——CRSRPDataSet, 该类负责管理所有涉及遥感影像数据的任务。CRSRPDataSet 具有各种类型的数据成员 (图 6), 能够分别存储不同的数据, 包括文件头、波段数值、文件驱动以及其他辅助信息。CRSRPDataSet 帮助系统完成了大部分数据管理工作。

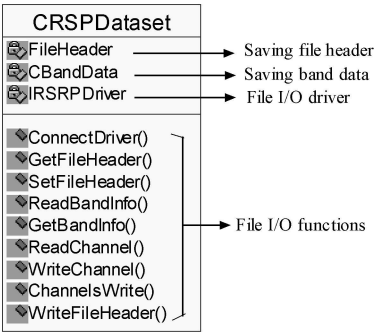


图 6 CRSRPDataSet 类的结构
Fig 6 The structure of class CRSRPDataSet

6 结果与应用

基于遥感支持平台, 研究小组开发了一套完整的计算 PD 的方法。对于有 400 万个像素点的 LDF 文件, 计算 PD 的耗时小于两秒。本系统已经用于中国宁夏回族自治区的干旱监测工作, 为当地政府的决策提供了积极帮助。

干旱灾害是宁夏回族自治区自然灾害中最常见、影响范围最广、损失最大的一种。每年的 3—10 月是宁夏农作物生长发育和产量形成的关键时期, 而此时春旱、夏旱和秋旱却频繁出现, 还经常出现连旱情况, 影响范围少则一个地市, 多则整个宁夏自治区, 给农业生产造成很大损失^[5]。图 7 中绿色区域为干

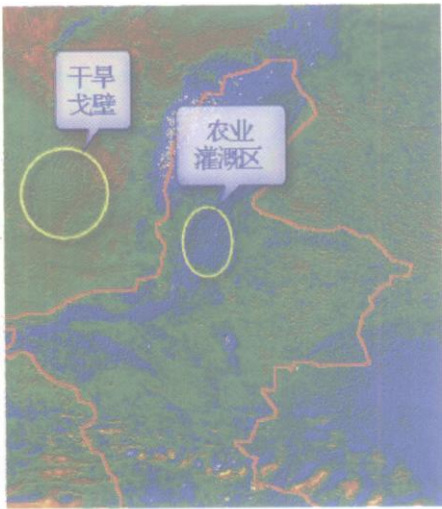


图 7 宁夏回族自治区 PD 计算结果图
Fig 7 The result of PDI in Ningxia

旱戈壁, 表示其干旱程度大于蓝色灌溉区域。
通过与实地调查的资料对比, PD 的计算结果能够正确反映干旱情况。目前研究小组下一阶段的研究目标主要是, 提高算法的计算效率, 进一步降低计算时间。另一方面, 要使当前系统具备高效处理

海量数据的能力。
参 考 文 献 (References)

[1] I Sandholia, Kjeld Rasmussen. A Simple Interpretation of the Surface Temperature/Vegetation Index Space for Assessment of Surface Moisture Status[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 213—224.

[2] Wan Z M, Wang P X, Li X W. Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index Products for Monitoring drought in the Southern Great Plains, USA[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24, 1—12.

[3] Wang C Y, Luo C F, Qi S H, et al. A Method of Land Cover Classification for China Based on NDVI-Ts Space[J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(1): 93—99.

[4] Abduwasit Ghulam, Qin Q M, Zhan Z M. Designing of the Perpendicular Drought Index (PD I) [A]. Proceedings of International Conference on Water Ecosystems and Sustainable Development in Arid and Semi-arid Zones[C]. Urumqi, China, 2006, Oct 9—15.

[5] Dong Y X, Zhou Z X. Climate and Agriculture of Ningxi[M]. Yinchuan: People's Publishing House of Ningxi, 1986 [董永祥, 周仲显. 宁夏气候与农业 [M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1986]