

# 宏观生态环境遥感监测系统总体设计与关键技术

王 勇, 庄大方, 徐新良\*, 江 东

(中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要:** 宏观生态环境遥感监测系统是基于环境遥感监测应用技术的软件实现。本文重点介绍了宏观生态环境遥感监测系统的总体结构设计、业务流程设计和核心功能设计, 以及模型转换与实现技术、实时投影转换技术与以文件和数据库相结合的数据管理技术、基于 XML 的数据实时交换技术、产品自动化生产技术等关键技术, 并给出了系统的应用实例。系统应用结果表明, 该系统符合我国宏观生态环境遥感监测业务应用模式, 提高了环保部门生态环境遥感常规模式下的监测水平和紧急模式下的应急监测能力, 将会在宏观生态环境遥感监测和评价服务中发挥重要的作用。

**关键词:** 监测系统; 总体设计; 原型研究; 宏观生态环境

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2011.00672

## 1 引言

近些年来, 全球环境遥感监测计划纷纷出台: 诸如有, NASA 的地球观测计划、美国农业和资源环境空间遥感计划、欧空局地球观测计划、加拿大全球雷达卫星计划、日本地球观测计划等综合性大型卫星系统<sup>[1]</sup>。这对影响全球环境变化的物理、化学、生物及社会等因素的认知, 综合分析并预测全球环境变化, 区分与评估自然和人类活动对地球环境的影响等具有重要的借鉴作用。

在国家环境保护部的主持, 中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院遥感应用研究所、中国测绘科学研究院、中国航天科技集团公司第五研究院 503 所、南京师范大学等单位的共同参与下, 开展了“基于环境一号等国产卫星的环境遥感监测关键技术及软件研究”。由中国科学院地理科学与资源研究所主持的第六子课题“基于环境一号等国产卫星的宏观生态环境遥感监测应用技术与软件研发”是其重要组成部分, 宏观生态环境遥感监测系统是基于环境遥感监测应用技术的软件实现。

该系统的主要目的是构建集成宏观生态环境遥感数据处理技术、模型转化与实现技术、数据实时交换技术、生态环境综合评价技术的, 符合我国宏观生态环境遥感监测业务应用模式和运行方案的业务系统。

## 2 宏观生态环境遥感监测系统的总体设计

### 2.1 系统结构设计

宏观生态环境遥感监测系统由十个业务子系统组成: 即全国生态环境质量评价子系统、城市环境遥感监测与评价子系统、国家级自然保护区遥感监测与评价子系统、大型工程/区域开发项目遥感监测与评价子系统、重要生态功能区遥感监测与评价子系统、国家生态建设区遥感监测与评价子系统、土壤遥感监测与评价子系统、固废遥感监测与评价子系统、区域生态环境灾害遥感监测与评价子系统、全球环境变化遥感监测与评价子系统。考虑到宏观生态环境遥感监测的业务需求, 在设计上体

**收稿日期:** 2011-05-01; **修回日期:** 2011-09-01.

**基金项目:** 国家科技支撑计划项目(2008BAC34B06-02); 国家航天局环境星应用推广课题(2008A02A09)。

**作者简介:** 王勇(1975-), 男, 湖北随州人, 博士, 助理研究员, 研究方向为 GIS 理论及应用、应用系统开发等。

E-mail: wangy@lreis.ac.cn

\* **通讯作者:** 徐新良(1972-), 男, 山东青岛人, 副研究员, 研究方向为土地应用和信息建设等。E-mail: xuxl@lreis.ac.cn

现了“拆分自由、协同运行”的思想,使得各个子系统既可以独立安装和运行,也可以整体安装彼此协作运行,在逻辑结构上分为:数据层、应用层和表示层,如图 1 所示:

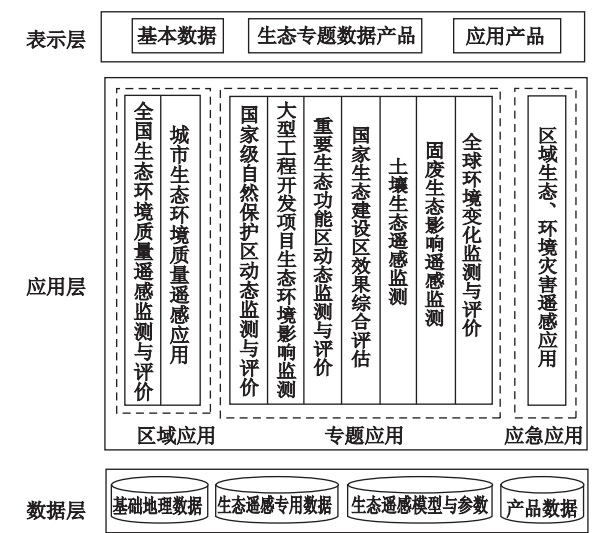


图 1 系统总体结构

Fig. 1 The architecture of the system

(1)数据层:主要由基础地理数据、生态遥感专用数据、生态遥感模型与参数和产品数据组成。基础地理数据主要提供各种比例尺的行政区划、区域范围(例如大型工程、自然保护区等),以满足不同尺度的数据支持应用。生态遥感专用数据包括:生态敏感目标专题数据(重点城市数据、国家级自然保护区数据、重要生态功能区数据、国家生态建设区数据、大型工程建设区数据、重点固废区数据等)、中国生态研究网络综合数据(动态监测数据、台站空间数据、气象栅格数据等)、全国土地资源数据(多个时期土地利用分类数据、土地利用变化数据、土地适宜性分类数据等)、全国土壤数据,主要提供生态监测和评估应用。生态遥感模型与参数数据主要提供监测与评价的各种模型和参数(如生物量提取模型、景观生态指数等 24 种生态监测和评估模型)。产品数据主要指系统运行过程中的中间产品和最终产品,包括:土地利用数据产品、生物物理参数产品、地表物理参数产品、景观生态指数产品等。

(2)应用层:包括区域性应用、专题性应用和应急应用。主要是对多种数据源进行信息提取、转换和抽取,为各业务系统提供数据支持。在以环境卫星和其他卫星为主要数据源,反演和获取生态系统

结构、生态系统过程和生态系统驱动因子、景观生态因子等关键要素的基础上,针对宏观生态环境监测的业务需求,对全国生态环境质量状况、国家级自然保护区、重点城市、重大工程/区域开发、重要生态功能保护区、土壤污染、固废环境状况、国家生态建设区和全球环境问题等进行遥感动态监测与评价,对区域突发性生态与环境灾害进行应急监测。

(3)表示层:主要由各个业务功能界面组成,包含监测和评价结果的展示,基础数据和原始数据显示、用户交互、生态环境监测结果的模拟、专题图的生成、评价结果的生成、可视化表达等。

2.2 系统业务流程设计

宏观生态环境遥感监测系统有两种运行模式:常规模式和应急模式,分别对应于日常环境监测和应急情况下环境监测。

常规模式下,宏观生态环境遥感监测系统接受外界业务调度指令,并将指令下发给各个业务子系统(区域生态、环境灾害遥感应用子系统除外)。各个子系统根据各自数据需求,向相关行政单元提出数据请求,在获取满足生产所需的数据后,启动各自的生产任务,完成业务运行需求后,将监测分析评价结果提交给相应的行政单元,并告知其生产任务已完成的状态。本模式采用开放式设计,系统具有良好的扩展性,能根据业务的需要,不断地拓展新的应用子系统和新功能。常规模式下的业务流程如图 2 所示。

宏观生态环境遥感监测系统的应急工作模式旨在对区域生态、环境灾害遥感应用子系统,通过建立对突发性生态环境灾害事件的快速遥感监测处理能力,以在较短的时间内,完成生态、环境灾害目标及其周边生态环境质量状况的产品生产,提供最新的监测评价结果,为有关部门提供快速决策依据。应急模式下的数据处理总体流程与常规模式相似。不同之处在于外界指令下达任务给区域生态、环境灾害遥感应用子系统后,子系统将直接从图像处理与专题产品生产服务所生成的数据集中提取所需标准数据,并优先从相应的存储单元提取所需相关数据。在产品生产任务完成后,优先向运行管理单元通知报告、向数据管理单元请求提交数

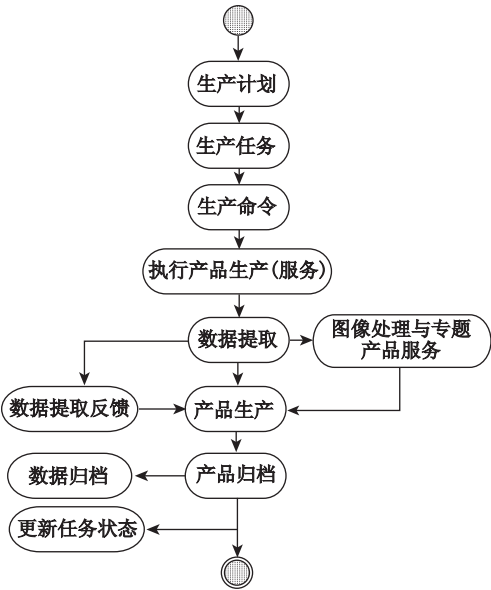


图 2 常规模式业务流程图

Fig. 2 Normal mode transaction flow diagram

据。应急模式下的业务流程如图 3 所示。

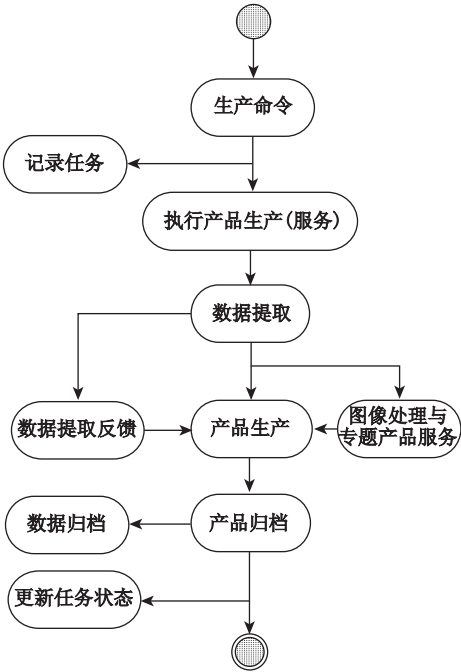


图 3 应急模式业务流程图

Fig. 3 Urgent mode transaction flow diagram

2.3 系统核心功能设计

宏观生态环境遥感监测系统包含了图形图像处理功能、模型及模型库管理功能、图形操作及显示功能、查询检索功能、统计功能、专题图制作功

能、数据及用户管理功能，每一类功能包含了若干类和若干层次的子功能。限于篇幅，本文只介绍核心的监测和评价功能。监测和评价功能按照子系统的不同其功能组成各不相同：

(1)全国生态质量遥感监测与评价，包括：生态系统宏观结构监测、生态系统自然条件监测、生态系统人类胁迫监测、生态系统生产力监测、生态质量综合评价；

(2)城市生态遥感应用，包括：城市用地信息提取、城市景观遥感监测、城市绿地遥感监测、城市热岛遥感监测、城市湿地遥感监测、区域城市化遥感监测、城市生态环境质量评价；

(3)区域生态、环境灾害遥感应用，包括：雪灾冻害生态影响遥感监测、突发地震生态影响遥感监测与评估、洪水生态遥感监测、突发环境污染事故遥感监测与评价；

(4)国家级自然保护区动态监测与评价，包括：国家级自然保护区监测、国家级自然保护区评价、国家级自然保护区预警；

(5)大型工程/区域开发项目生态环境影响监测，包括：占地特征参数变化监测与评价、植被变化监测与评价、景观格局变化监测与评价、生物生境变化监测与评价、土地破坏程度监测与评价、地质灾害变化监测与评价、扬尘监测与评价、水环境影响变化监测与评价、重金属污染监测与评价、生态环境影响综合评价；

(6)重要生态功能区动态监测与评价，包括：由江河源及重要水源涵养区生态环境监测、洪水调蓄区生态环境监测、防风固沙区生态环境监测、水土保持重点区生态环境监测、重要渔业水域生态环境监测和重要生态功能区生态结构和服务功能评价；

(7)国家生态建设区域效果综合评估，包括：基本农田建设区监测评价、天然林保护工程区监测评价、防护林体系建设工程区监测、退耕还林还草工程区监测评价、沙源治理工程区监测评价、水土流失综合治理工程区监测评价；

(8)土壤生态遥感监测，包括：城市周边农田污染遥感监测、土壤沙化遥感监测、土壤盐渍化遥感监测、土壤盐渍化遥感监测、土壤退化综合评价；

(9)固废生态影响遥感监测，包括：固废堆放场

植被恢复状况监测、固废堆放场水域恢复监测、固废生态环境影响评价;

(10)全球环境变化监测与评价,包括:二氧化碳监测与分析、敏感区域与敏感生态系统的监测与分析。

核心监测和评价功能含有 130 多个模块,涉及了原始数据的输入、评价模型的选择、中间的结果的输出与保存、图形图像数据的展示、人机交互等步骤,需要与其他类型功能组协同运行,共同完成。

3 系统实现的关键技术

3.1 模型转换与实现技术

本系统中涉及到应用模型有 300 多个,有单一模型,有组合模型;有用公式描述的模型,有用流程描述的模型;有参数固定的模型,有参数需实时调整的模型。面对种类、形式、内容各异的模型,如何快速应用,如何能将模型运算和数据运算进行有效的结合,是本系统需要解决的关键问题之一。本研

究中采用模型驱动架构(model driven architecture, MDA)<sup>[2]</sup>的方法来解决上述问题。MDA 方法是将业务模型与实现技术相分离,以达到提高软件的可重用性和可移植性的目的。模型和模型转换与实现技术是 MDA 方法的核心,模型转换与实现的过程为:(1)根据系统建立源模型并确定模型转换方法;(2)按照该方法选取相应的模型转换规则;(3)按此规则将源模型转换为目标模型。MDA 的模型转换方法通常有以下几种<sup>[2-6]</sup>:直接转换法、关系代数转换法、模式的转换法、图文转换法、(文本)XLST 转换法、形式化的 UML 类图转换法、结构驱动转换法。

宏观生态环境遥感监测系统模型转换与实现的思路:根据目标应用特性和平台应用特性抽象出源模型,在此基础同时,依据转换要实现的目的和不同实现技术制定多个映射规则,在转换和映射的过程中加入模型验证技术和方法,并通过这些映射规则及模型转换方法,将源模型转换成目标模型,在此过程中不断与数据库进行交互,保存中间结果和最终结果。如图 4 所示。

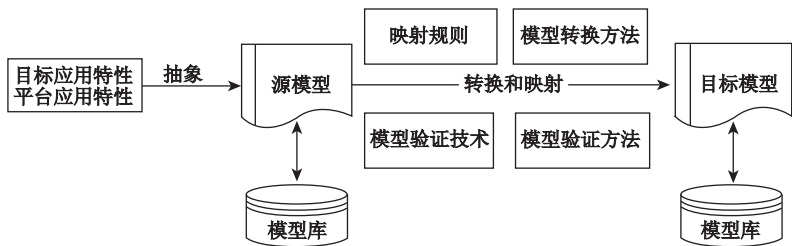


图 4 模型转换与实现  
Fig. 4 Model transformation and implementation

的另一关键问题。

3.2 实时投影转换技术

投影转换就是在地球球面与图纸平面之间建立点与点之间函数关系的数学方法,即建立球面点与平面点的映射关系。投影转换随着多坐标体系的 GIS 和 RS 数据应用面的不断拓宽,实时投影技术越来越受到人们的重视,其可让用户能够转换、比较和复合不同来源的、具不同投影方式和坐标系统的数据<sup>[7]</sup>。在宏观生态环境监测领域,特别是海量数据环境下,本系统面对环境监测庞大的数据量、来源各异的数据格式,选择一种既保持转换速度又保持转换精度的转换策略,也是本系统需解决

3.3 将文件和数据库相结合的数据管理技术

宏观生态环境遥感监测所涉及的数据量非常庞大,目前为止已超过 80TB,对海量影像数据库的管理方式有 2 种:基于文件的方式和基于商用数据库的方式。文件管理方式具有相对更高的数据执行效率,而数据库管理方式则在处理数据的并发性和集成性方面有显著优势<sup>[8]</sup>。本系统结合二者的优势,采用文件形式和关系型数据库 Oracle 10g 混合的结构共同存放数据。这种混合结构对需保持完整性的原始数据和数据量庞大的单景影像采用



文件方式管理,而对需快速检索和多次使用的信息则保存在关系数据库中。

### 3.4 将 XML 的数据实时交换技术

XML (eXtensible Markup Language, 可扩展的标记语言)是一套定义语义标记的规范,是半结构化数据的一种特殊表现形式。W3C (World Wide Web Consortium) 的 XML 工作组定义为:“XML 是一种通用的标记语言,它能够标记结构化和半结构化文件、关系数据库和对象库等多种不同数据源的信息内容”<sup>[9-10]</sup>。随着信息技术的发展,符合 XML 规范的数据广泛存在,使得 XML 类型的数据成为主要的数据形式之一,已经成为数据交换的事实标准。本系统中,数据实时交换主要体现在:(1)原始数据的保存与交换,系统支持对数据的同步和异步操作,需要对数据占用情况进行监控和数据副本拷贝,在原始数据的拷贝和保存的过程,使用 XML 进行数据通讯交换;(2)分类系统的颜色定义及保存,系统中主要涉及到 3 类分类系统:城市用地分类、土地利用分类和土地生态分类,其分类的名称、代码、颜色、数值等都需要实时维护修改和交换;(3)监测和评价产品的中间结果保存,中间结果包括:产品名称、保存路径、产品类型、时间等。在监测和评价过程中,有些影像产品的中间产品数据量非常巨大,如果保存在数据库中,不仅数据交换的速度非常慢,而且会造成系统崩溃等异常退出现象。因此,本系统采用基于 XML 形式实现数据的实时交换;(4)结果产品与专题图制作过程的数据实时交换,结果产品类型、颜色标准、分类值等都通过 XML 进行实时交换。各种数据的应用,通过 XML 进行交换和通讯,达到数据实时使用的目的。

### 3.5 产品自动化生产技术

系统产品包括专题产品和应用产品,专题产品包括植被覆盖度、生物丰度指数等 24 种产品,应用产品包括森林生态系统结构信息监测、生态环境质量变化分级等 160 余种产品。如何把种类众多、类型各异、结果多样的产品迅速、自动生产出来,并能够快速、有效地形成专题图和监测评价简报,也是该系统的关键技术之一。该系统采用产品自动化生产技术,充分结合业务工作流技术、并行计

算、多任务调度和多线程并行来实现产品快速和自动化生产。自动化生产分为两种模式:专家模式和业务模式。专家模式针对业务流程熟练、监测评价模型精通的专业人员,能够实时编辑和选择模型及模型参数;业务模式针对业务流程固定、业务运行日常化的业务人员,仅能选择监测评价方法。在业务流程定制完成后,系统能够自动、快速、并行的生成监测区域内的监测评价专题产品和应用产品。

## 4 系统开发应用实例

考虑到数据特点和业务系统运行特点,宏观生态环境监测系统采用混合语言编程实现。系统主要部分,包括:图像处理、模型运算、监测评价功能、图形展现、数据管理,采用 IDL (Interactive Data Language) 语言完成开发,专题图制图部分以 Visual Studio. Net 为编程环境, C# 为开发语言, ArcEngine 组件为图形制作控件完成开发。

作为第四代开发语言,IDL 具有语法简单、界面简洁、面向矩阵的高效运算方式、丰富图形显示技术、多源的数据分析工具<sup>[11]</sup>,而被广泛应用于与数据处理、数据分析、数据可视化相关的科学研究中和快速原型系统开发中<sup>[12]</sup>。这也是本原型系统选择 IDL 作为主要开发语言的原因之一。

系统实现的部分界面,如图 5-8 所示。图 5 为系统登录主界面,图 6 为系统应用主界面,图 7 为全国 2000 年植被覆盖度监测结果,图 8 为全国 2005 年植被覆盖度监测结果。

## 5 结语

宏观生态环境遥感监测系统主要由数据处理技术、模型转化与实现技术、数据实时交换技术等集成。其符合我国宏观生态环境遥感监测业务应用模式和运行方案的设计。系统设计中,充分考虑到监测应用和数据特点,利用 .NET 和 IDL 语言混合编程,进而提高了数据处理精度、计算效率和可视化效果,减少了开发时间,提升了运行效率。在环保部环境应用中心试运行结果表明:该系统能很好地应用于宏观生态环境遥感监测和评价。



图5 系统登录主界面  
Fig.5 The logging in interface

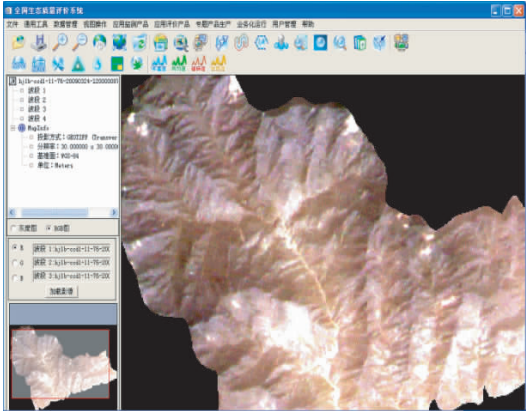


图6 系统应用主界面  
Fig.6 The main interface

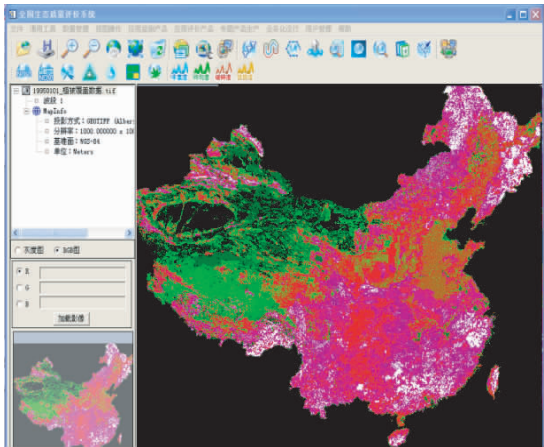


图7 植被覆盖度监测(2000年)  
Fig.7 Monitoring result: vegetation coverage  
(Year 2000)

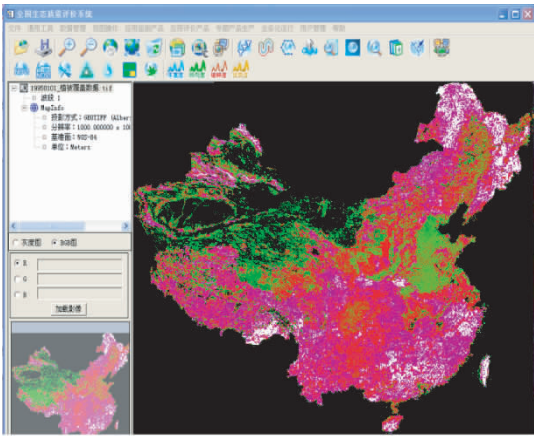


图8 植被覆盖度监测(2005年)  
Fig.8 Monitoring result: vegetation coverage  
(Year 2005)

参考文献:

[1] 王桥,郑丙辉. 环境遥感技术研究与应用进展[J]. 卫星应用,2006, 14(1):35- 40.

[2] MDA Specifications [EB/OL]. <http://www.omg.org/mda/specs.htm>,2011.

[3] 戚铁林,李亚芬,王普. MDA 模型转换平台中模型转换方法的研究[J]. 计算机工程与设计,2011,32(1): 202- 205.

[4] Milicev D. Automatic Model Transformations Using Extended UML Object Diagrams in Modeling Environments[J]. IEEE Transaction on Software Engineering, 2004,28(4):413- 431.

[5] Sendall S. Model Transformation: The Heart and Soul of Model-driven Software Development[J]. IEEE Software,2003,33(7):42- 25.

[6] Braun P, Marschall F. Transforming Object Oriented Models with BOTL[J]. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 2003, 72(3):214- 231.

[7] 胡志勇,何建邦. 分布式地理信息共享形式及技术策略[J]. 计算机工程与应用,2000, 36(12):51- 54.

[8] 汪承义,赵忠明,杨健. 可视化遥感影像库系统设计与实现[J]. 计算机工程, 2008, 34(2):283- 285.

[9] <http://www.w3.org/tr/>.

[10] 肖如林,苏奋振,等. 三维虚拟地球的海洋信息适用性分析及原型研究[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(4): 555- 561.

[11] <http://www.ititvis.com/language/en-US/ProductsServices/IDL.aspx>.

[12] 程传周,杨小唤,等. 农业生产潜力计算与分析系统的

设计与实现[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(2): 205 - 212.

## Design of Macro-ecological Environment Remote Sensing Monitoring System and the Key Technologies

WANG Yong, ZHUANG Dafang, XU Xinliang, JIANG Dong

*(State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)*

**Abstract:** As global environmental issues become more and more prominent, remote sensing technology with large amount of information to monitor global environmental change has become an important manner. Macro-ecological environment remote sensing monitoring system is implementation of environment remote sensing applied technologies. The architecture of the system and the transaction flow diagram and its core functions are introduced. At the same time, the model transformation and implementation of technology, real-time projection conversion technology, a combination of file-based data and database management technologies, XML-based real-time data exchange technology, automated production technology are expatiated. The prototype system is constructed using .NET and IDL mixing programming language and its application examples are presented. System application results show that this system meets the remote sensing monitoring requirements using macro-ecological environment business applications model to improve the environmental protection department level under the normal mode and emergency capability under the emergency mode. This system can play an important role in the macro-environment remote sensing monitoring and evaluation.

**Key words:** monitoring system; general design; prototype system research; macro-ecological environment