

# 塔里木河流域沙漠化监测预警系统设计与实现

孟现勇<sup>1,2</sup>, 刘志辉<sup>2,3,4</sup>, 杜晶<sup>5</sup>, 蔺虎<sup>1,2</sup>, 武泓静<sup>6</sup>

1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046;
2. 新疆大学 绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046;
3. 新疆大学 干旱生态环境研究所, 新疆 乌鲁木齐 830046;
4. 干旱半干旱区可持续发展国际研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830046;
5. 新疆师范大学 计算机科学技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830054;
6. 纽芬兰纪念大学 工程与应用学院, 加拿大 圣约翰斯 A1B3X5)

**摘要:**文中针对塔里木河流域沙漠化预测预警的迫切需要,建立塔里木河流域沙漠化数据库、模型库,以VB+SuperMap Objects(C/S)、c#+SuperMap IS.NET(B/S)为混合架构,实现了预警监测系统和WEBGIS发布系统的建立。结合监测数据及预测模型对研究区进行预测预警,结果表明预测精度高达90%。该系统解决了多元GIS数据在关系型数据库中高效存储与组织问题,此外野外集沙系统的实时监测传输系统使系统功能更加完善。该预警系统为塔河下游量身定做,并具有一定的普适性,可为政府相关部门、研究人员提供决策支持服务,已在实际应用中发挥了重要作用。

**关键词:**沙漠化;沙漠化数据库;预警模型;IS.NET;C#.NET

中图分类号:TP311

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)05-0159-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.05.041

## Design and Application of Tarim Desertification Monitoring and Early Warning System

MENG Xian-yong<sup>1,2</sup>, LIU Zhi-hui<sup>2,3,4</sup>, DU Jing<sup>5</sup>, LIN Hu<sup>1,2</sup>, WU Hong-jing<sup>6</sup>

1. School of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;
2. Key Laboratory of Oasis Ecology Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;
3. Institute of Arid Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;
4. International Center for Desert Affairs—research on Sustainable Development in Arid and Semi-arid Lands, Urumqi 830046, China;
5. School of Computer Science and Technology, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;
6. Faculty of Engineering and Applied Science, Memorial University of Newfoundland, St. John's, A1B 3X5, Canada)

**Abstract:** To meet the urgent needs of desertification monitoring in the Tarim River watershed, it established desertification and model databases for the early warning monitoring system and WEBGIS in the study area based on an integrated framework of the VB+SuperMap Objects (C/S) and the c#+SuperMap IS.NET (B/S). By using the observed data and the prediction model for early warning, the results showed that around 90% prediction accuracy could be achieved. The proposed system can provide an efficient storage and organization for multivariate GIS data in relational database, and the real time monitoring system of the field sand collection could improve the performance of the system. The proposed system is originally developed for the downstream of the Tarim River watershed. Due to the universality, the system can support decision making for related government departments and researchers, and has played an important role in practice.

**Key words:** desertification; desertification database; early warning model; IS.NET; C#.NET

收稿日期:2012-07-20;修回日期:2012-10-25

基金项目:新疆高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目(708090);国家自然科学基金资助项目(40871023);中国沙漠气象科学研究基金(Sqj2007004);绿洲生态教育部重点实验室开放课题(XJDX0201-2008-08)

作者简介:孟现勇(1987-),男,河南上蔡人,硕士研究生,研究方向为水文与水资源、GIS应用与系统开发;刘志辉(通讯作者),博士,教授,研究方向为水文与水资源、“3S”技术应用与开发。

# 0 引言

灾害预警研究是近年来的环境研究重点,主要方向包括方法技术与理论研究两方面。国外关于预警系统最早为美国地质调查局于 1985 年在旧金山湾地区建立的泥石流预警系统,1986 年美国人 Earl E. Brabb 首次提出将 Geographic information system (GIS)应用于地质灾害的研究中。其后的灾害研究逐渐将计算机科学技术及其他相关技术结合,1996 年美国 Mariomejia 等人将决策支持系统 (DSS) 与地理信息技术结合,建立自然灾害风险评估系统。2001 年, A. Zerger 通过地理信息系统研制出自然灾害风险评估系统。美国学者 Gregory C 等于 2002 年利用 GIS 技术和多种减指数为 Kansas 州东北部建立泥石流预测系统<sup>[1,2]</sup>以应对泥石流的袭击。在灾害预警研究方面,国内学者研究起步较晚,由于国家对预警机制的重视,国内预警的研究已有丰硕的成果。

从监测手段来看,2004 年,丁辰等针对滑坡提出了远程监测子系统的建立,监测手段包括传送系统和采集器、监测发布平台等<sup>[3]</sup>。从分析灾害角度看:李良等于 2006 年提出基于 GIS 山洪预警决策信息系统的研究,该研究对山洪预警作出了突出贡献<sup>[4]</sup>。从发布灾害信息角度看:中国气象局于 2008 年以安徽为试点,从软、硬件两个方面进行气象预警信息发布系统建设。并提出通过 LED 发布灾害信息,解决了灾害信息发布不及时、不到位的问题<sup>[5]</sup>。但相对于沙漠化等缓变灾害预警还没有完整的系统及理论,预警系统实现更是空白。

文中以塔里木河下游为研究区,将 GIS 技术与通信技术融合,解决很多重大沙漠化预警问题,此外团队设计的集沙采集系统解决了沙漠数据野外采集难题。塔河沙漠化模型库、知识库和数据库的建立使其更加完整。该系统建立有利于政府决策及各研究部门对塔里木河沙漠化灾害进行长期监测。

## 1 沙漠化监测系统体系结构

### 1.1 系统软件架构

从缓变型灾害预警的实时性及长期性考虑系统架构分为四层:分别为应用层、中间层、数据层、基础层。应用层为研究和决策者在应用层通过浏览器或沙漠化预警监测系统主界面向数据层发送指令包并通过不同接口实现响应指令;中间层可处理用户传入指令并通过调用数据层实现分析过程;数据层是荒漠区数据库和模型库的数据支持基础,接受基础层对其指令

请求。相比其他预警系统,本系统创新地增加了数据监测子系统,该模块为沙漠化预警监测系统的子系统,位于应用层,可实时从试验区传回沙漠化数据并接受监测中心控制。系统软件架构如图 1 所示。

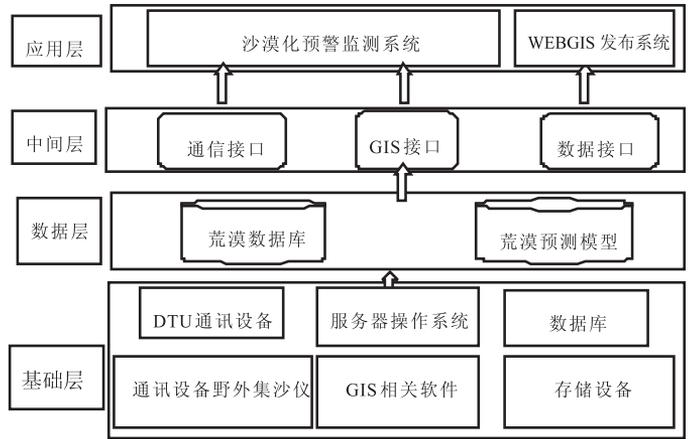


图 1 系统软件架构图

### 1.2 系统功能模块结构设计

塔里木河沙漠化监测预警系统主要包括两部分:预警监测系统 (C/S 部分) 和 WEBGIS 发布系统 (B/S 部分)。

该部分位于整体架构的应用层,通过将上述两部分整合,可完成对沙漠化数据采集、处理与分析,野外采集的数据(沙重、风速、风向、温度等与风沙活动敏感的因子)随即通过通信接口和(数据传输单元)DTU 进行通信。并将数据传入沙漠化数据库并通过位于应用层的相关 GIS 软件对监测数据进行分析、处理,并实时将分析结果通过 WEBGIS 发布系统进行发布,如图 2 所示。

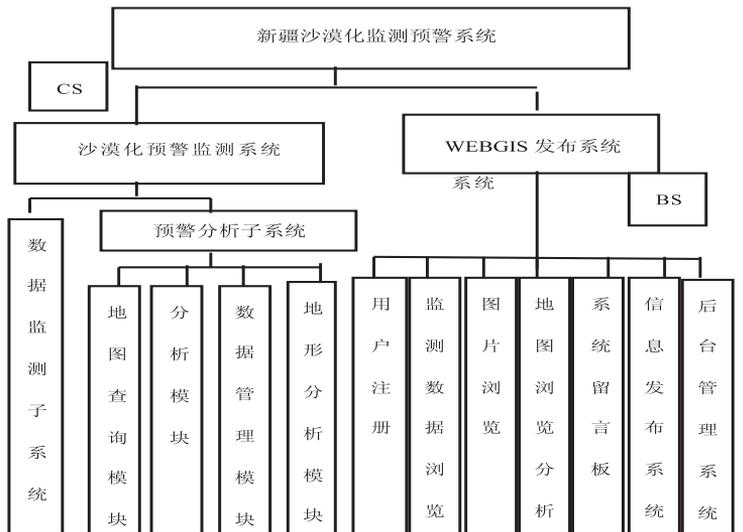


图 2 系统功能模块结构

预警监测系统在系统架构中位于应用层,主要包括数据监测子系统和预警分析子系统两部分:

数据监测子系统:该子系统位于应用层,为沙漠化

预警监测系统的子系统。DTU 主板等软硬件设备位于基础层,系统通过 DTU 传输设备将数据以手机短信的形式定期(每3分钟)发送到数据层的荒漠数据库,并存入沙漠化原数据库中,以便后期对该数据进行分析处理。

预警分析子系统:主要分为分析模块、地图查询模块、数据管理模块、地形分析模块四个模块。

1)分析模块:该模块是塔里木河荒漠预警分析子系统核心部分,研究人员可通过该系统对传入的沙漠化数据、遥感数据基于模型进行 GIS 分析,以便进行决策部署。

2)数据管理模块:该模块主要是对模型库和数据检测子系统传入的数据进行管理。

3)地图查询模块:该模块将研究区矢量图和遥感图相融合,利用 SuperMap Object 提供的组件对研究区地图进行属性查询、缓冲区分析、透视分析等。

4)地形分析模块:为了对研究区可视化的真实模拟研究,地形分析模块为研究人员提供各种三维分析功能。

WEBGIS 发布系统:

该子系统位于总体架构层的应用层,用户通过浏览器可实时了解、分析研究区最新沙漠监测数据。该平台采用基于 C#语言的 Asp. Net 与基于 SuperMap IS. NET 平台的混合架构设计,主要子模块如下:

监测数据浏览:该部分可浏览数据监测子系统和预警分析子系统的相应数据发布的数据。

地图浏览分析子模块:该子模块提供了空间数据、监测数据和基础数据的查询与分析(包括缓冲区分析、路径分析等)。

图片浏览模块:将分析好的沙漠化数据上传到该模块后,可以通过前台对本数据进行放大、平移分析等基础操作。

后台管理子模块:该模块对地图数据、研究成果、留言、会员信息等信息可进行增删改查处理。

## 2 关键技术

### 2.1 沙漠化预警数据库构建

综合系统功能模块,可发现数据监测子系统是分析沙漠化的重要模块,因此沙漠化数据库的组织及存储优化很重要,由于遥感影像数据库、野外风沙实时监测数据及历年沙漠化统计数据等数据庞大,本系统将把沙漠化数据库分为以下三部分:

1)元数据库:元数据为各个属性表中字段的描述可用来描述遥感空间数据的主要内容和结构。元数据表可以解释空间数据,存储空间数据库中矢量、影像、栅格和 DEM 等数据的结构。

2)空间数据库:空间数据是 GIS 的基础<sup>[6,7]</sup>,主要指在 GIS 中与空间关系、空间位置相关的数据。该数据库存放了遥感传入的沙漠化栅格数据、研究区矢量数据及 DEM 数据。

3)属性数据库:主要存储了数据监测子系统(野外集沙仪)定时传入的数据以及历年荒漠监测数据。该属性数据是随着空间数据来定义,主要包括实时监测数据和基础数据两类。属性数据组织时,不仅要数据自身的存储,还要考虑空间实体与数据的对应关系。进而对属性数据与空间数据进行关联。

近年来,由单文件、文件与数据库混合方式到关系型数据库、面向对象数据库和对象关系数据库方式这五种存储方式不断地更新<sup>[8,9]</sup>。

### 2.2 沙漠化预警模型库

#### 2.2.1 沙漠化预警模型

模型库是 Decision support system (DSS)的内核,用来决策系统核心分析。模型库是指在计算机中按照一定形式、结构存储的模型集合<sup>[10]</sup>。模型库最早于 70 年代提出,80 年代对于研究模型管理理论已经开展。

模型的管理经历了模型程序、模型软件包、模型库管理系统三阶段。

第一阶段:模型互相独立缺少共同的管理和组织;

第二阶段:不存在一种特定的组织结构下的存储形式把模型组织起来,不利于对模型的选择;

第三阶段:初步实现基于模型库的模型管理,它是决策支持系统的共享资源<sup>[11]</sup>。

团队在塔里木河下游地处塔里木盆地东北缘坐标(N39°54'52.39"~40°47'54.47",E87°17'16.80"~88°39'19.06")进行多年实地观测研究提出可以修正的沙漠化预警模型<sup>[12]</sup>:

$$SM = \eta \cdot \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot W_{c_i})$$

式中: $Q_i$ :因子强度、 $W_{c_i}$ :因子权重系数、SM:沙漠化程度指数、 $\eta$ :调节系数。预警实现时, $Q_i$ 采用*i*因子栅格图形式, $W_{c_i}$ 与 $\eta$ 为一组参数。

#### 2.2.2 沙漠化预警层次结构

对于团队提出的模型,由于不同地区的地形、天气等差异,沙漠化原因不同,因此一种固定的模型难以模拟所有区域沙漠化的演变程度。

笔者针对该难题将沙漠化预警模型拆分为关系、参数和变量三部分。其中关系是对模型中变量和参数间的一种表达,也可以说成模型表达式;通过选取不同的关系便可实现对于不同研究区的沙漠化模拟。每个指标的变量可以用参数进行个性化调整,这样可以使同一个模型模拟不同的研究区;变量是接口,模型的数据输入是通过变量传送。此外,不同的参数及对应同

一地区的不同年份,这样便于不同模拟及对比分析沙漠化演变情况。

### 2.2.3 沙漠化模型存储方法

该模型存储时,考虑到系统的高效性将参数集与关系分别存储。将参数集存入相应数据库,模型关系存储在程序模块里。

#### 1) 模型关系存储。

参数和变量采用数组的格式存储,方便了程序的调用,此外可从列表框选择自变量,并用数字空间的方式选择自变量,从模型库中选择参数。

#### 2) 模型参数存储。

由于指标因子对沙漠化影响程度会以年为周期发生变化,因此将数据集归入各年中,由于指标因子对沙漠化的影响会逐年发生变化,因此每年会有相应的参数集。由于参数集庞大,加之每个关系对应的数据集错综复杂,因此对数据集的管理显得很重要。关系型数据库由于具有结构清晰,便于对模型参数进行管理等优点,故采用其存储数据集。

## 2.3 DTU 通信系统

DTU 通信系统位于软件架构的基础层。其通信系统及系统传输设备部分由 DTU 产品提供保障,DTU 内嵌了诸如 PPP、TCP/IP、UDP/IP 等多种通信协议,在这里选取 UDP/IP 协议作为系统传输协议。此外,DTU 为野外检测系统提供 DSC 开发包,包含 API 函数,用户可在其基础上进行二次开发,实现数据控制接收模块。它包含了系统配置、服务控制、DTU 管理等多种功能,由于集沙设备发送的数据是多位 2 进制数组成,数据量很大,数据表的格式受到限制,因此平台定制了一个数据转码与转存功能将数据存入风沙实时数据库。

## 3 系统功能实现

### 3.1 系统开发环境

预警监测系统部分采用 VB+SuperMap Objects 为开发环境,WEBGIS 发布系统部分采用基于 C# 的 ASP.NET 语言和 SuperMap Is. Net 2008 在 Microsoft Visual Studio2008 下进行开发,数据库采用 SQL Server2005 数据库。其中 SuperMap IS . NET 所具有的大型关系数据库海量数据管理能力和并发访问能力,为构建大型网络 GIS 应用系统提供了坚实的基础<sup>[13]</sup>。

### 3.2 沙漠化预测

沙漠化预警分析模块主要功能是预测沙漠化趋势以及对沙漠化趋势进行各种分析。沙漠化预测是指根据现有研究区数据模拟预测未来沙漠化状况,预警是指从现有沙漠化到未来土地状况的变化情况。

预测是预警的前提,要实现模型首先要确定模型中的参数,然后确定变量。模型参数和运算设置如下:

1) 参数设置:可根据不同的需要对参数或参数组进行相应的调整。

2) 运算编辑:可通过不同数据集,并通过对气象、地表、人文等指标的栅格图进行个性化选择进行沙漠化预测。

#### 3.2.1 荒漠预测分析

本分析模块采用多种分析方法,包括条件栅格提取、沙化土地分类和区域程度分析。为了区分不同的分析结果系统制定了特定的命名:

[预测日期] + [分析功能类型]

其中:预测日期:模型参数所在日期由计算机自主命名。分析功能类型:采用的分析功能类型,计算机自动命名。

#### 3.2.2 区域条件提取

当用户选择完要提取的区域数据集和数据文件后,可通过在提取条件输入框内键入 SQL 查询语句,便可提取出某区域特定条件的荒漠值。区域提取命名为:[预测年份] + cond。

#### 3.2.3 荒漠土地分类

在沙漠化研究中,沙漠化土地分类可方便地反映出沙漠化程度。通过在分类条件中键入不同类型的上下限值,可以对结果以栅格形式分段给值,以表示出极重度、重度、中度、轻度和非沙漠化。沙漠化土地分类命名为:[预测年份] + landtype。

### 3.3 沙漠化预警

沙漠化预警是将沙漠化预测数据与目前研究区沙漠化程度分析对比后找出沙漠化变化区域,并根据在分类条件中输入的阈值提取出需预警的区域。

可在提取结果中选择以下几种区域:

1) 预警区域:用户通过选择该类结果数据,可将大于沙漠化阈值的区域从持续发展区域中提取出来便于预警。命名为:[预测日期] + alarm。

2) 持续发展区域:预警分析模块将从研究区沙漠化区域提取出沙漠化进程将加速并持续恶化的区域。命名为:[预测日期] + deterioration。

3) 状况改良区域:主要指研究区的沙漠化进程减慢,沿河道区域沙漠化程度会持续好转。命名规则:[预测日期] + melioration。

## 4 结束语

塔里木河沙漠化监测预警系统已于 2010 年 6 月投入使用,系统保证了图形可视化,程序实用性强。该系统的研发填补了目前针对塔河沙漠化预测预警的空白,并创新性地使用了野外数据自动采集设备获得一手的沙漠化数据。通过预警分析子系统对珍贵的一手数

(下转第 171 页)

- 1989,37(2):183-197.
- [7] Belobaba P P, Weatherford L R. Comparing decision rules that incorporate customer diversion in perishable asset revenue management situations [J]. *Decision Science*, 1996, 27(2): 343-363.
- [8] 罗 利, 萧柏春. 收入管理理论的研究现状及发展前景 [J]. *管理科学学报*, 2004, 7(5): 75-83.
- [9] Weatherford L R, Bodily S E, Pefifer P E. Modeling the Customer Arrival Process and Comparing Decision Rules in Perishable Asset Revenue Management Situations [J]. *Transportation Science*, 2003, 27(3): 239-251.
- [10] Talluri K, van Ryzin G. Revenue management under a general discrete choice model of consumer behavior [J]. *Management Science*, 2004, 50(1): 15-33.
- [11] Algers S, Bassier M. Modeling Choice of Flight and Booking Class: A Study Using Stated Preference and Revealed Preference Data [J]. *International Journal of Services Technology and Management*, 2001, 2(1-2): 28-45.
- [12] Andersson S E. Operational Planning in Airline Business—Can Science Improve Efficiency & Experiences from SAS [J]. *European Journal of Operations Research*, 1989, 43(1): 3-12.
- [13] Akiva M B, Lerman S. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand* [M]. Cambridge, Mass: MIT Press, 1985.
- [14] 王春兰. 航空旅客收益管理中旅客舱位选择行为研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2006.
- [15] 梅 虎, 朱金福, 汪 侠. 基于旅客选择的航空收益管理研究 [J]. *系统工程*, 2006, 24(9): 11-17.
- [16] 梅 虎, 朱金福, 汪 侠. 旅客航班选择模型研究: 变粗度粗集方法 [J]. *管理评论*, 2007, 19(3): 27-32.
- [17] 黄小荣, 张 立. 收益管理系统中的几个关键模型 [J]. *中国民航学院学报*, 2004, 22(4): 22-25.
- [18] Netessine S, Rudi N. Centralized and Competitive Inventory Models with Demand Substitution [J]. *Operations Research*, 2003, 51(2): 329-335.
- [19] 王爱平, 张功营, 刘 方. EM 算法研究与应用 [J]. *计算机技术与发展*, 2009, 19(9): 108-110.

(上接第 162 页)

据进行系统高效的模块化分析, 该系统对于沙漠化程度分布模拟正确率达 90% 以上<sup>[12]</sup>, 系统适用性好。此外, 采用程序模块化及参数表形式表达该模型, 实现了沙漠化模型库与数据库的统一。

由于目前本项目只建立了三个野外数据采集监测点, 该系统设计实现中还有需要完善的地方, 这将在以后的工作中不断加强。

#### 参考文献:

- [1] 刘传正, 李铁锋, 程凌鹏, 等. 区域地质灾害评价预警的递进分析理论与方法 [J]. *水文地质工程地质*, 2004(4): 1-8.
- [2] 李远华. 遥感与 GIS 技术支持下藏东林芝地区地质灾害预警研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2005.
- [3] 丁 辰. 地质灾害监测预警示范系统之滑坡远程监测子系统的研究 [D]. 北京: 清华大学, 2004.
- [4] 李 良. 基于 GIS 山洪预警决策信息系统的设计与实现 [D]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- [5] 王 峰. 气象预警信息发布系统的设计与实现 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2008.
- [6] 李跃军. 基于 WebGIS 的多源空间数据集成系统的研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2006.
- [7] 齐 攀, 刘伟平. WebGIS 中空间数据库的研究与实现 [J]. *科技信息*, 2009(13): 54-55.
- [8] 李 骁, 范 冲. 空间数据存储模式的比较研究 [J]. *工程地质计算机应用*, 2009(2): 8-10.
- [9] 刘三民, 王杰文. 空间数据存储管理研究综述 [J]. *电脑与信息技术*, 2006, 14(3): 19-21.
- [10] 陈德宇. 指挥决策支持系统中模型库的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2005.
- [11] 刘永强. 新疆融雪洪水预警 DSS 关键技术及实现方式研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2007.
- [12] 孟现勇, 刘志辉, 李诚志, 等. 基于栅格尺度的沙漠化预警模型研究—以塔里木河下游中段区域为例 [J]. *中国沙漠*, 2013, 33(1): 24-32.
- [13] 北京超图地理信息技术有限公司. 理解 SuperMap IS. NET [M]. 北京: 北京超图地理信息技术有限公司, 2006: 29-31.

(上接第 166 页)

- Techniques, and Standards [M]. [s. l.]: Morgan Kaufmann, 2009: 25-41.
- [10] Kohnke O, Scheffler T, Hock C. SOA-Governance – Ein Ansatz zum Management serviceorientierter Architekturen [J]. *Wirtschaftsinformatik*, 2008, 50(5): 408-412.
- [11] 赵 亮. 基于 SOA 的可变业务流程管理系统研究与设计 [D]. 济南: 山东大学, 2011.
- [12] Robinson R. 理解面向服务的体系结构中服务总线场景和解决方案 [EB/OL]. 2004-07. <http://www.ibm.com/developerworks/en/webservices/>.
- [13] 朱志良, 苑海涛, 宋 杰, 等. Web 服务聚类方法的研究和改进 [J]. *小型微型计算机系统*, 2012(1): 96-101.
- [14] 罗正军, 王晓娟, 戴婷婷, 等. 民用飞机费用估算与评价软件体系结构研究 [J]. *计算机技术与发展*, 2012, 22(3): 187-191.
- [15] 成日顺, 莫燕玲. 电子信息技术促进公路运输管理智能化 [J]. *中国公共安全(综合版)*, 2008(12): 210-215.