

泥石流防治工程方案优化设计 专家系统初步研究

陈 瑞¹, 王士革¹, 盛才余², 陈晓清¹

(1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650233)

摘要: 泥石流灾害是一种复杂的自然现象, 泥石流防治工程设计中不确定的因素很多, 泥石流防治工程往往是根据泥石流防治专家自己的专业知识和经验来进行的。广泛收集、分析综合和抽取专家的知识, 采用专家系统是进行此类非结构化问题求解的主要途径之一。文章介绍了泥石流防治工程专家系统的基本构成和功能, 初步分析论述了泥石流专家知识的组成、构造与推理机制的形成及其方案优化设计模式的搜索与匹配, 指出了专家系统应用于泥石流工程防治设计的可行性及其广阔应用前景。

主题词: 泥石流; 防治工程; 优化设计; 专家系统

中图分类号: P642.22/23

文献标识码: A

1 问题的提出

泥石流灾害是我国山区的主要灾害之一, 不但对山区经济建设和人民生命财产造成极大的危害, 并能影响到该地区社会经济的可持续性发展。泥石流本身又是一个非常复杂的自然现象, 涉及到地质学、生物学、生态学、地理学、水文气象学、环境科学等多门科学知识。泥石流防治工程的设计不论从决策到实施, 都存在着许多无法用结构化模型模拟和约束的因素, 如拦挡坝坝型的选择、坝址位置的确定、规模大小等除受到沟谷的自然形态, 泥石流类型、规模、性质等自然规律的约束外, 还可能受到经济、文化等社会因素的约束, 表现出以非结构化描述为主, 难以定量分析和评价的特点。我国泥石流专家在多年的泥石流防治工程实践中, 已对泥石流防治工程形成了较为全面、完整、系统的认识, 积累了大量实用的、行之有效的治理经验和手段, 并成功地完成了一批治理工程^[1]。这些都为泥石流防治工程优化设计提供了丰富的专家知识, 为泥石流防治工程方案优化设计专家系统研制与开发提供了技术储备并奠定了坚实基础。

收稿日期: 1998-12-07

基金项目: 中国科学院特别支持领域“山地灾害——泥石流、滑坡基础研究”项目(961404)

作者简介: 陈瑞(1964-), 男, 四川彭州人, 助研, 四川大学在职博士研究生, 主要从事泥石流等山地灾害与环境、环境水力学及计算机应用等研究。

泥石流防治工程优化设计专家系统(简称 ESODDFE)是中国科学院“山地灾害——泥石流、滑坡研究”专项基金支持下开展的一个研究项目,它尝试用计算机人工智能专家系统技术,模拟泥石流工程防治中专家们解决实际问题的思维方式,并收集了该专业领域各家建立的计算机“知识”处理和问题求解模型。

2 ESODDFE 系统简介

2.1 系统特点

ESODDFE 系统包括泥石流防治工作者进行泥石流沟谷工程整治时,根据泥石流危害的对象、方式、泥石流规模大小、物质补给来源和泥石流性质等因素来确定治理泥石流沟谷的土木工程设计方案;根据流域所处的自然环境、土壤盖层厚度、气候特点、局地立地条件来确定沟谷整治的生物工程方案。再根据专家系统制定的方案并参照系统提供的防灾实例,由设计者确定土木及生物工程的措施,进而计算出所需的工程费用与被保护对象的静态价值之比——投保比,并与已建工程统计分析确定的优化指标对比,得到泥石流沟谷工程整治方案的优化程度,指出该工程整治方案、措施的可取性和可行性。

该系统采用 Delphi 3 For Windows95 编程语言实现,具有如下主要特点:

- (1) 提供了良好的交互式用户环境;
- (2) 支持 WINDOWS 环境,操作简单,使用方便,屏幕显示具有生动活泼、形象化、便于记忆等特点;
- (3) 具有强大的移植性;
- (4) 实现专家系统知识库、信息资源数据库、实例数据库,模型方法库的耦合。
- (5) 实现具有 WINDOWS 环境下多目标、多任务、多窗口以及形象化的推理过程的显示,提高了系统的实用性。

2.2 系统结构及组成

为使系统体系结构设计思想得以实现,同时达到系统解决实际问题的能力,系统功能越强、越齐全,就越接近系统的设计思想,越具有更好的实际使用价值。ESODDFE 的体系结构如图 1 所示。

知识库由基本信息库、示例库、规则库 3 个库组成。基本信息库收集了泥石流沟的基本数据,每条沟谷有 138 条属性值,共收录 6073 条泥石流沟的信息数据;示例库包含已进行过工程整治的 22 条泥石流沟的数据,便于用户进行类比分析;规则库由土木工程和生物工程共 4 个规则库组成。土木工程方案设计规则库含 768 条规则,生物工程按海拔高度、流域不同位置、沟谷形态构成三大类别,共有规则 31 条。实际数据与规则相匹配,用推理进行搜索和分析,由此生成泥石流防治工程优化设计的方案、措施,并达到优化程度。

用户接口程序包括:知识获取、输入设计参数、文字图形处理、分析评价、文件编辑、打印设置、报表生成打印等模块组成。模块采用下拉式和弹出式以及构成 WINDOWS 窗体方式,方便用户输入。由推理机制生成的方案结果,可以通过文件编辑生成美观的文字报告。知识库的获取、编辑、输出也极为方便灵活。

在系统分析推理过程中,由于消息的传递频繁发生,解释机制以弹出式窗口显示并伴随

系统运行,使用户在推理分析过程中受到启发和指导,最终为达到可信的优化设计结果提供保证。

ESODDFE 功能模块的组成: 文件操作; 知识库的编辑与管理; 数据与图形图像的处理; 启动推理; 动态实例解释、推理、显示操作; 屏幕显示; 打印输出; 窗口操作、人机接口等。

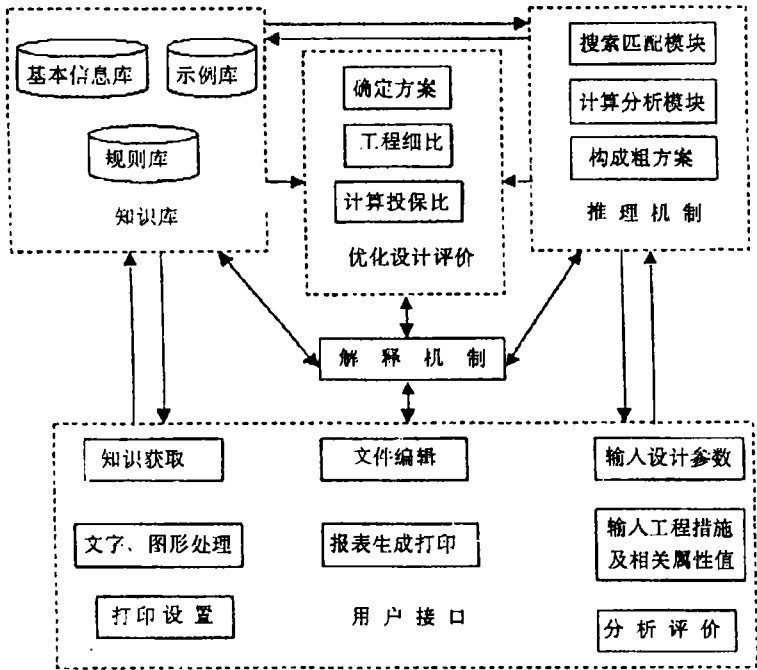


图1 泥石流防治工程方案优化设计专家系统结构图

3 泥石流专家知识来源及构成

3.1 专家知识来源及整理

国内外有关泥石流较为系统的研究已有 30 ~ 40 年历史。专家学者对泥石流研究的基础理论与实际工作者的丰富经验相结合,构成了泥石流专家系统的主要源泉。有关泥石流的书籍、报告、各种防灾治灾方案措施、调查报告和会议报告等都是泥石流专家系统知识的主要来源。在获取专家知识的技术路线上,主要采用以下几种方法:

(1)实地勘察 主要通过对已建泥石流防治工程的设计施工、运行,效益情况的回访调查,经整理统计成为示例库的知识来源。

(2)集体讨论 选择一些有代表性的问题,通过专家集体讨论,制定统一标准或折中方案。

(3)问卷调查 将问题列成问卷,寄给有关专家征求答案。本课题研究共寄出问卷表格 50 份,收回整理 34 份,得到了专家对泥石流工程防治设计的不同看法及意见。

(4)资料查询 收集与问题有关的文件、报告、论文、论著、获取系统、成熟的专家

知识。

从资料中和专家们那里获得原始知识后,需要对一些条理性比较差的、甚至是自相矛盾的知识进行整理,具体方法有:

(1)去除无用及冗余知识:采用合一、析取法。弃用无用知识,综合比较冗余、重复的知识,屏弃一部分,合一或析取一部分。

(2)解决矛盾知识:整理出的矛盾知识,由专家讨论重新制定折中方案。

(3)知识分类:收集知识时,知识类型的随机性很强,不一定是按类型收集的,因此,可通过统计、归类等方法实现。

3.2 知识表示

在 ESODDFE 系统中,知识库是按照面向对象的方法设计的,即知识类型包括事实、规则和过程 3 种主要使用产生式规则结构的表示方法,并把知识库看成事实和结论组成的表,这些事实和结论带有相应的规则和属性值(表 1、表 2);规则知识采用产生式知识结构,在 ESODDFE 系统知识库中每一条规则主体都由 IF-THEN 两部分组成:过程知识是计算模块或人机相互信息输入程序块,在本系统中所有在基本库中输入时发生的事件,以及在推理过程中输入的数据和投保比值的计算等都是过程知识的具体表现。如流域基本环境特征值输入、工程量及工程造价等都属于过程知识。知识的获取通过人机交互、特性继承和规则推理 3 种方法。

表 1 土木工程泥石流防治措施

NO	保护对象	危害方式	规模	补给方式	性质	防治措施
1	城镇工矿区	冲击	大型	滑坡	稀性	拦挡、防护、排导
22	城镇工矿区	堵河	小型	坡面	泥流	拦挡、停淤、坡面
...	...	...	...	...	...	...
34	城镇工矿区	淤埋	小型	坡面	泥流	拦挡、停淤、坡面

表 2 生物工程树种选择知识

海拔高程(m)	坡向坡位	土层厚度	干湿状况	选择树种				
<1700	阳坡	薄土层	干燥	车桑子	洋槐	山毛豆	苦刺	绢毛相思
<1700	阴坡	薄土层	较湿润	山毛豆	新银合欢	马桑	木豆	车桑子
...	...	...	...	...				
<1700	沟底	薄中土层	较湿润	赤桉	新银合欢	红椿	马鹿花	竹子

4 泥石流专家系统的推理机制

推理机相当于推理规则的集合,是泥石流专家系统的主要部分。它用提供的信息来查找与之相匹配的客体。推理机不仅具有准确高效地运用领域知识解决有关问题能力,而且必须支持、符合泥石流专业领域知识的表达,充分考虑领域问题的求解特点,深入分析领域知识的使用过程和方式。由于泥石流工程防治的研究深度和软件开发程度所限,在 ESODDFE 系统中主要采用常规的以数据驱动的正向推理机制(图 2)。

其推理过程为(如图 3):系统从泥石流基本信息库中或从用户那里获得泥石流防治工程方案优化设计的有关数据,搜索匹配知识库中专家知识——得出泥石流工程优化设计方案,进而设定相应方案下所采用的工程措施,通过用户类比已建工程的实例知识对工程措施进行补充和修改,计算出工程建设的投保比并判定该工程方案的优化程度。若优化程度指数值不满足设计要求,可返回重复进行工程措施重新设置、工程量大小确定、工程造价与投保比计算,最终得出某一工程方案下的最为满意的优化结果。

5 结论

ESODDFE 系统的研制与开发是专家系统在泥石流工程防治优化设计中的初步尝试,在尽量收集和咨询有关泥石专家的意见和知识基础上,充分利用泥石流工程防治与整治已有的研究成果来解决泥石流防治工程设计中的非结构化的问题。ESODDFE 系统在泥石流防治专家知识库的建造和维护、推理机制的形成、工程优化设计等方面进行了初步研究,达到了预期的目的。系统本身具备了一定的专家知识,并能根据一定的泥石流工程设计参数、泥石流沟的基本特征来制定某一泥石流沟的土木工程和生物工程防治整治方案及推断其优化程度。该系统研制的初步成功揭示了专家系统在泥石流防治工程问题、整治方案和措施方面及其相关领域的广泛用前景。

参考文献:

[1] 刘怡芬等.京津唐地质灾害防治专家系统[J]. 计算机世界,1995, (12), 91~ 93.

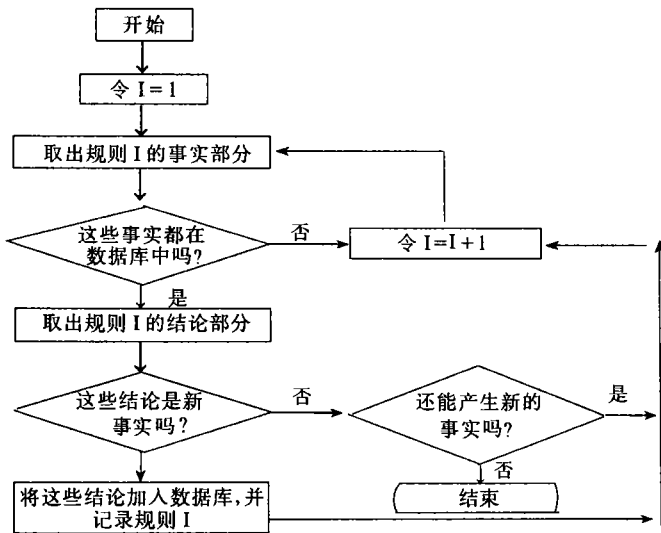


图 2 以数据驱动的正向推理示意图^[5]

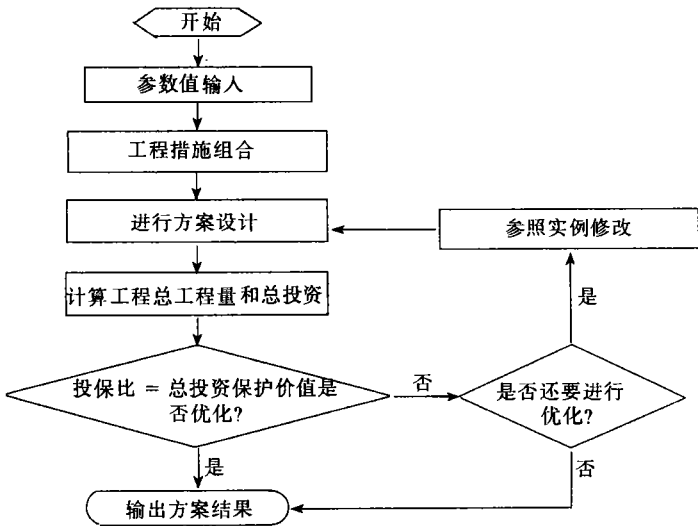


图 3 泥石流防治工程优化设计推理过程

该系统研制的初步成功揭示了专家系统在泥石流防治工程问题、整治方案和措施方面及其相关领域的广泛用前景。

- [2] 赵玲. 四川境内昆铁路泥石流预测预报专家系统[J]. 山地研究, 1990, 8(2), 89~ 93.
- [3] 张新建等. 防洪专家系统知识库的建立[A]. 第三届中国人工智能联合学术会议论文集 < 人工智能新进展 > [C]. 北京: 清华大学出版社, 1994. 602 ~ 605.
- [4] 吴积善等. 泥石流及其综合治理[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [5] 曹文君. 知识库系统原理及其应用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1995.
- [6] 徐新华. Delphi3 编程指南(上、下册)[M]. 北京: 宇航出版社, 1998.

PRELIMINARY STUDY OF EXPERT SYSTEM FOR OPTIMAL DESIGN OF DEBRIS-FLOW ENGINEERING

CHEN Rui¹, WANG Shi-ge¹, SHENG Cai-yu²,
CHEN Xiao-qing¹

(1. Chengdu Institute of Mountain hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China; 2. Xishuangbanna Tropic Botanical Garden, Chinese Academy of sciences, Kunming 650233, China)

Abstract: Debris-flow hazard is a complicated and special natural phenomenon. Planning and design of debris-flow control engineering is generally done by sophisticated experts with specific knowledge and experience in the field of debris-flow. Expert system, as one of main approaches, is used to solve non-constructed problems by extensively collecting, comprehensively analyzing and extracting experts' knowledge. In this paper the construction and functions of expert system of debris-flow control engineering are presented, and the expert knowledge database of debris-flow control, reasoning mechanism, methods of searching and matching of scheme's optimal design model are also discussed and analyzed. It is obviously shown that expert system for optimal design of debris-flow engineering is feasible and useful for the designing of debris-flow control engineering and laid on solid foundation for the wide applications.

Key words: debris-flow; control engineering; optimal design; expert system