

工程建设中 智能辅助决策系统

国家自然科学基金重大项目
(1990年度论文汇编)

同济大学出版社

工程建设中智能辅助决策系统

国家自然科学基金重大项目

(1990 年度论文汇编)

编委会名单:

刘恢先 刘西拉 那向谦 李德华 杨振山 沈康辰
黄金枝 钱兆裕 陈秉钊 洪宗辉 韦鹤平

同济大学出版社

出 版 说 明

本项研究工作受国家自然科学基金委员会、国家教育委员会、建设部、国家地震局、铁道部、交通部、冶金部、国家环保局联合资助。

The project is supported by National Natural Science Foundation of China, the State Education Commission, the Ministry of Construction, the State Seismological Bureau, the Railway Ministry, the Transportation Ministry, the Ministry of Metallurgical Industry, the National Environmental Protection Agency.

责任编辑：刘式雍

封面设计：王肖生

工程建设中智能辅助决策系统

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号)

浙江上虞科技外文印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：17.25 字数：440 千字

1991 年 12 月第 1 版

1991 年 12 月第 1 次印刷

印数：1—1100 定价：22.00 元

ISBN 7-5608-0972-3/N·1

前 言

智能系统与知识工程学科领域的研究在当今世界上受到广泛的重视,经济与工业发达国家都为此制定了长期的科学研究与推广应用规划。智能辅助决策系统(包括专家系统)作为人工智能研究的一个重要分支,近年来几乎渗透到了所有的工程科学领域。在国家的基本建设工作中,如城市规划、铁路公路交通、城镇的环境保护、建筑物与工程系统防御与抵抗自然灾害的侵袭等,都涉及到对大量的不确定性信息的处理,而后做出判断与决策。上述问题的判断与决策是否正确关系到巨大的人力、财力、物力的得失,它本身也是关系到国计民生的大事。工程建设中智能辅助决策系统的应用研究使国家的基本建设中众多过去只能依靠人的经验主观判断的问题找到了科学的、量化的解决方法,同时工程建设中重大问题的判断与决策也为智能系统与知识工程的科学研究提供了广阔的天地和诱人的应用前景。

为了在工程建设领域大力推动智能决策系统的科学研究与应用,国家自然科学基金委员会于1987年批准将“工程建设中智能辅助决策系统的应用研究”项目列为国家自然科学基金重大项目。国家教育委员会、建设部、国家地震局、铁道部、交通部、冶金部与国家环保局的科技主管司、局对这项研究也十分关注和重视,并决定与国家自然科学基金委员会一起对其研究工作提供联合资助。

“工程建设中智能辅助决策系统应用研究”的研究课题组荟集了我国建筑环境与结构工程、智能系统与知识工程、计算机软件工程学科内的一批知名学者和中青年专家,组成了以工程建设领域专家为首的多学科交叉的联合攻关的研究队伍。这项重大研究课题拟解决的科学问题为:工程建设领域内的信息数据库、知识库结构;工程建设知识表达及不确定性因素的处理和推理方法;适用于工程建设领域的智能决策系统、专家系统的开发环境与工具的研制;完成若干个可达到试运行阶段的智能辅助决策系统的雏型软件;在国内外重要的学术刊物与会议上发表一批有影响的达到国际水准的学术论文。

这本论文集是在1990年11月在上海同济大学召开的“全国工程建设中智能决策系统研究学术会议”(科学基金重大项目1990年度学术交流检查会)会后编辑而成的。在此之前,本重大研究项目的学术领导小组曾于1988年10月在大连理工大学、1989年12月在北京电子科学研究院召集了两次全国性的学术交流会,会后,1989年5月《计算结构力学及其应用》学术刊物的第6卷第二期以专刊形式出版了《工程智能决策理论与应用》论文集,1990年10月电子工业出版社编辑出版了《工程建设中智能辅助决策系统》(1989年度论文汇编)论文集。与前两本论文集相比,这本新的论文集(1990年度论文汇编)在学术水平上又有了令人鼓舞的进展,提出新的知识表达和推理构想,一批智能决策软件的雏型系统在建设部门投入试运行并日臻完善。另一可喜的现象是:课题研究组内的据有资深造诣的老一辈专家亲临科研第一线指导和参加研究工作,不辞辛苦,毕生奉献,其精神感人至深;一

大批有理想和志气、敢于攻关、学术思想活跃的中青年专家取得很多重要成果，构成了这支科研队伍的主力军。

编 者

1991.4

目 录

城镇总体规划用地布局综合评价专家辅助决策系统	(1)
城市规划管理专家系统的研制	(13)
✓ 住宅建筑方案设计知识库系统	(22)
✓ 场地地震危险度智能辅助评估系统的新进展	(31)
✓ 城市现有房屋震害预测智能辅助决策系统	(39)
单线铁路技术改造决策专家系统知识库的建造	(49)
铁路桥梁承载力评估及对策专家系统的开发研究	(58)
围岩分类专家系统中的知识表示与学习算法	(64)
✓ 土木工程领域专家系统的一种不精确推理方法	(73)
工程规范管理系统 ECOMS	(78)
“形象思维”和“方案比较”模拟——港口装卸工艺设计领域	(97)
RCLES 构造环境的改造	(106)
智能辅助决策系统在城市生态调控中的应用	(114)
我国区域环境大气专家系统	(122)
城市环境噪声防治专家系统	(131)
城市污水处理厂设计专家系统	(139)
水环境保护专家系统	(146)
✓ 结构设计型专家系统问题求解原理及实现	(156)
✓ 高层建筑结构初步设计专家系统及其实现环境	(165)
ESBOP 在实用化过程中的进展	(171)
施工项目管理专家系统应用研究	(180)
建筑结构破损原因诊断的联想模型	(190)
专家系统中的不定性	(198)
面向 CAD/FEM 的有限元模型化专家系统	(208)
✓ 工程结构智能 CAD 应用研究	(216)
工程中设计问题求解的二加三模型	(224)
平面结构应力分析及破坏过程的模拟	(231)
专家系统建造工具 C-ADVISOR II 及其应用	(239)
f-NNKS 模糊神经网络知识系统	(250)
不确定性推理组合公式的构造	(262)

城镇总体规划用地布局综合评价专家辅助决策系统

——模糊知识和不精确推理

钱兆裕 沈清基 赵民 潘海嘯 顾景文

(同济大学)

廖俊平

(武汉城建学院)

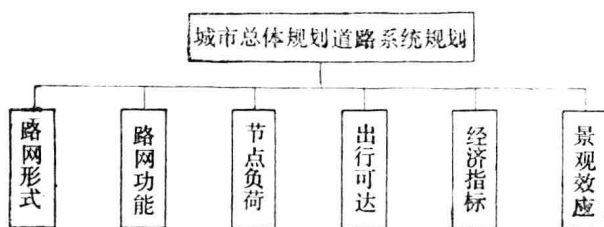
摘 要

城镇总体规划用地布局综合评价专家系统属评价型专家系统。根据该综合评价体系“多目标、多层次、多因素”的特征,选择了多目标决策技术的层次分析法,设计了不同知识表达方式。在层次模型的某些底层子节点具有模糊和非定量化的特点,其进一步分析判断工作要由模糊评价不精确推理来完成。本文对模糊评价知识获取、模糊评价不精确推理模型以及模糊知识库维护算法等作了较详尽的说明。

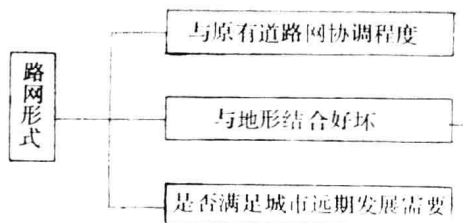
城镇总体规划用地布局综合评价体系由于其“多目标、多层次、多因素”的特征,选择了多目标决策技术的层次分析模型作为系统的主框架模型。针对不同类型、不同地形、不同性质、不同规模……的城市,引入了变权概念,建立了变权模型。又由于在层次模型的某些底层子节点的求解较复杂,具有模糊和非定量化的特点,进一步的分析判断工作要由模糊评价不精确推理来完成,即建立起模糊模型。

一、模糊评价知识的获取

城市总体规划用地布局综合评价系统的局部——道路系统规划评价体系总目标下由六个子目标来反映。



其中“节点负荷”、“出行可达”、“经济指标”三项子目标可继续进行层次分解,得到底层评价因素,而在“路网形式”、“路网功能”、“景观效应”三项子目标的底层评价因素的评价值需要由不精确推理得出。如“路网形式”三个底层评价因素的评价值均由不精确推理得出。



首先,以与原有道路网协调程度这一底层评价因素为例,要找出与之相关的模糊评价子集,并确定与之相关的模糊评价因素集。

$$E_{411} = \{e_{4111}, e_{4112}, e_{4113}\}$$

E_{411} : 与原有道路网协调程度;

e_{4111} : 原有道路与新规划道路网类型协调否;

e_{4112} : 原有道路与新规划道路网分级状况协调否;

e_{4113} : 原有道路与新规划道路网断面形式协调否;

由 E_{411} 可得到 E_{411} 的幂集为:

$$P(E_{411}) = [\phi, (e_{4111}), (e_{4112}), (e_{4113}), (e_{4111}, e_{4112}), (e_{4111}, e_{4113}), (e_{4112}, e_{4113}), E_{411}]$$

再以“与原有道路网协调程度”为规则头,分别以 $P(E_{411})$ 中除 ϕ 以外的各元素为规则体构造模糊规则,并给以规则的强度值,这样就完成了底层评价因素的一级模糊评价扩展过程。如果模糊评价因素集中各因素还要再作为一个模糊评价目标,则需继续进行模糊评价扩展,直到基本事实为止。

在模糊评价因素中各因素如有些是互斥的,其扩展过程不一定按“求模糊评价因素集→求幂集→建立模糊评价规则”的步骤进行。如“与地形结合好坏”这一底层评价因素为例,与之相关的模糊评价因素集是:

$$E_{412} = (e_{4121}, e_{4122}, e_{4123}, e_{4124}, e_{4125}, e_{4126}, e_{4127})$$

E_{412} = 与地形结合好坏

e_{4121} = 平坦地形

e_{4122} = 山地丘陵地形

e_{4123} = 水网破碎地形

e_{4124} = 规划道路纵坡是否在 4% 以内

e_{4125} = 规划道路破坏原地形状况

e_{4126} = 跨河桥梁的数量多少

e_{4127} = 跨河桥梁的总长度

则模糊评价规则为:

$$e_{412} \leftarrow [1, 0] - e_{4121}$$

$$e_{412} \leftarrow [1, 0] - e_{4122}, e_{4124}, e_{4125}$$

$$e_{412} \leftarrow [0.8] - e_{4122}, e_{4124}$$

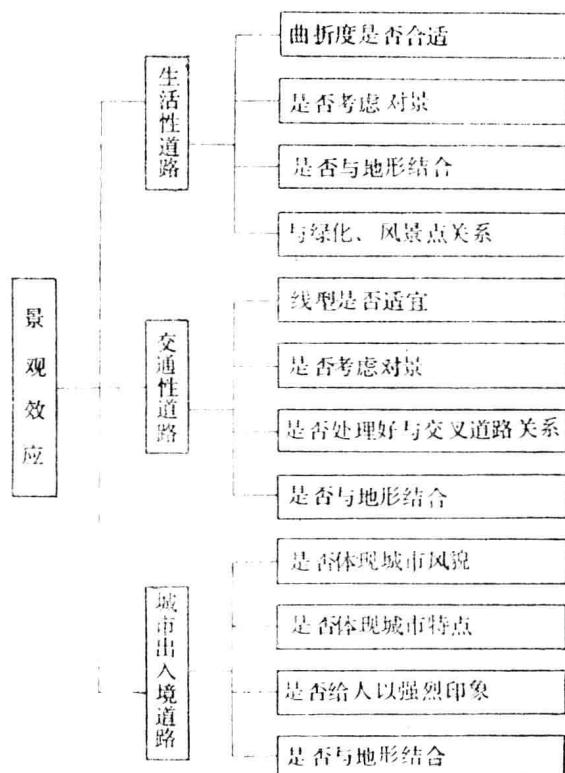
$$e_{412} \leftarrow [0.7] - e_{4122}, e_{4125}$$

$$e_{412} \leftarrow [1.0] - e_{4123}, e_{4123}, e_{4127}$$

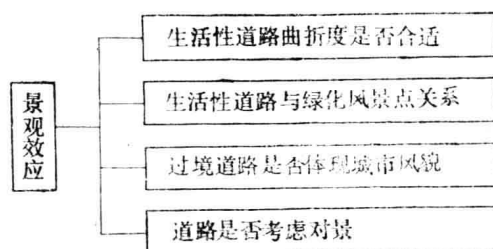
$$e_{412} \leftarrow [0.6] - e_{4123}, e_{4126}$$

$$e_{412} \leftarrow [0.8] - e_{4123}, e_{4127}$$

模糊知识获取在进一步形式化过程中,还对原层次模型中知识形式化进行调整,以符合模糊推理要求和方便用户的使用。如原在“景观效应”层次模型因素集中如下:



经过进一步知识形式化后,将这一子目标直接分解为下列四个底层评价因素,这样既简洁明了,又便于对底层评价因素作进一步的模糊评价分解。



二、模糊评价的不精确推理模型

不精确评价推理模型是由带置信度的 Horn 子句组成,模糊事实、规则和目标的表現形

式分别为:

(1) 模糊事实。说明有关对象及对象之间关系的事实(或断言)。形式为:

$$A \leftarrow [\mu(A)].$$

表示事实 A 的置信度为 μ 或真值为 μ 。

(2) 模糊规则。定义一些对象之间相互关系的规则。形式为:

$$R: A \leftarrow [\mu(R)] - B_1, B_2, \dots, B_n.$$

表示条件 $B_1 \wedge B_2 \dots \wedge B_n$ 对结论 A 的蕴涵强度为 $\mu(R)$, 即如果 B_i 的真值为 $\mu(B_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 则条件的真值 $t = \min(\mu(B_i) | i = 1, 2, \dots, n)$, 进而结论的真值 $\mu(A) = \mu(R) \times t$ 。

规则的左边为规则的“头”, 右边为规则的“体”。

(3) 模糊目标。提出对象与对象之间是否具有某种关系的问题。形式为:

$$? - [\mu] - A_1, A_2, \dots, A_n.$$

意为: “当阈值为 μ 时, $A_1, A_2, \dots, A_n$ 是否全为真?”

例如, 模糊事实:

$$\text{路网形式合理性(方案 A)} \leftarrow [0.85]$$

表示方案 A 的路网形式选择合理这一事实的置信度为 0.85。

又如模糊规则:

$$\text{路网形式合理性(X)} \leftarrow [0.9] - \text{采用方格式路网(X);}$$

地形规整(X),

地势平坦(X)。

表明, 若方案 X 采用方格式路网, 且采用方格式路网的区域地形规整, 地势平坦, 则方案 X 的路网选择合理, 且置信度为 0.9。

再如模糊目标:

$$? - [0.89] - \text{地形规整(方案 A)}$$

即提出问题: 当阈值为 0.89 时, 是否有“方案 A 的地形规整?”

在 EVALUE-1 中模糊评价的含义就是: 某一因素的评价值由若干模糊因素子集确定, 这些模糊因素子集各对应一个模糊评价值。取所有这些评分值的最大值, 即为该因素的评价值。

而上述模糊因素子集的评价值, 或者是由原始数据直接确定, 或者再由别的模糊因素子集确定, 如此递推。

一个模糊知识库由因素和规则组成, 这些因素和规则构成的推理网络, 为一与或图。如图1所示。

与或图中的 $\bigcirc$ 表示一个“因素”, 为或节点, $\square$ 表示一个“规则”, 为与节点。

一个“规则”节点上部的父节点“因素”为规则的头, 下部的子节点“因素”为这个规则的体。每个表示规则的与节点只有一个父节点, 这是由规则的 Horn 子句特性决定的。

与或图的顶部节点对应了模糊推理子系统的目标, 也是层次分析评价子系统的底层评价因素, 与或图的叶节点对应了初始数据。

与或图中每个节点有一些特性值。

每个与节点有一个强度值, 即为该节点对应的规则的强度值。

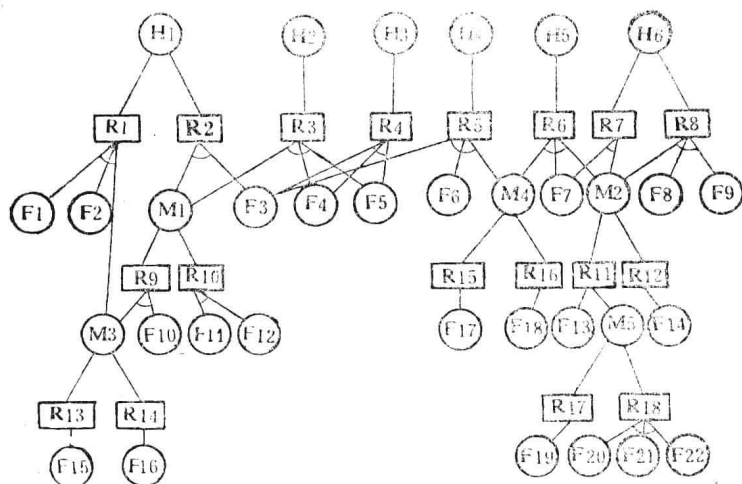


图 1 推理网络图

每个节点在反向推理过程中有一个回溯值。

对于叶节点,回溯值即它所对应的初始数据的强度值,例如图中 F_1 的回溯值为 $\mu(F_1)$,即初始数据 F_1 的强度值,是由用户给出的。

对于其它或节点,其回溯值为其所有子节点的回溯值的最大值,例如图中 M_1 ,其回溯值用 $\mu(M_1)$ 表示。这也称为或节点 M_1 的强度值。

对于与节点,因为与节点的父节点是唯一的,所以在表达其回溯值时借助了它的父节点符号。以图中节点 R_1 为例,其回溯值用 $\mu_{R_1}(H_1)$ 表示,它的取值为:

$$\mu_{R_1}(H_1) \cdot \mu(R_1) \times \min\{\mu(F_1), \mu(F_2), \mu(M_3)\}$$

其中 $\mu(F_1)$, $\mu(F_2)$ 和 $\mu(M_3)$ 为 R_1 的三个子节点的回溯值。即与节点的回溯值为其所有子节点回溯值的最小值乘以该与节点的强度值。

三、模糊评价的不精确推理过程

模糊评价的不精确推理过程主要是推理网络中各节点的扩展过程,因为推理网络是一个与或图,准确地说这一过程是一个与节点和或节点反复交替扩展的过程,对于节点和对或节点的扩展过程框图分别如图 2、图 3 所示。

四、模糊知识库维护算法 FKBM 的实现

专家知识的获取是一个长期的艰巨过程,为了便于模糊评价推理知识库的修改、扩充,设计了一个针对模糊评价推理模型的模糊知识库维护算法 FKBM。其功能是对一条新添加的模糊规则进行相容性检查,以决定是否将它插入知识库,以及对插入了新规则后的知识库作相应的调整,这些调整包括:

- (1) 删除原知识库中的某几条规则;
- (2) 在进行“1”所指定的操作同时,构造若干条新规则,以消除因删除某些规则而带来的不应有的影响;

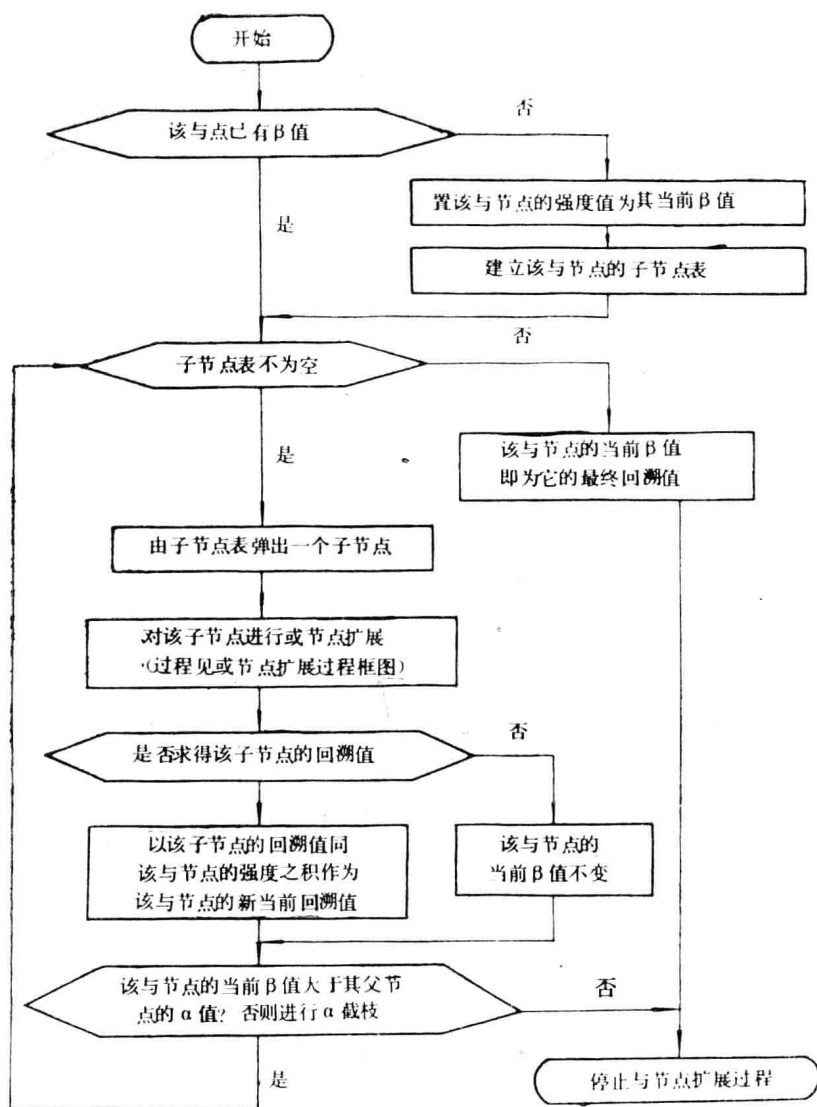


图2 与节点扩展过程框图

(3) 在进行“1”或“2”所指定的操作的同时,对知识库的最终结论集、中间假说集、基本事实集作相应调整。

维护算法是由一个主算法 MAINTAIN 和四个子算法组成,各算法之间的调用关系如下:(箭头表示调用)

算法 STNDLZ 是用来求一条规则的所有标准因素集的。

算法 JUDGE 用来判定两条子规则之间的关系。

算法 COMPARE 是 JUDGE 的子算法,当两条子规则的因素集(即两条复杂规则的标准因素集)之间有相等、包含或被包含关系时,调用它来作对应初始事实的后验强度间比较,以确定子规则是否有相关关系。

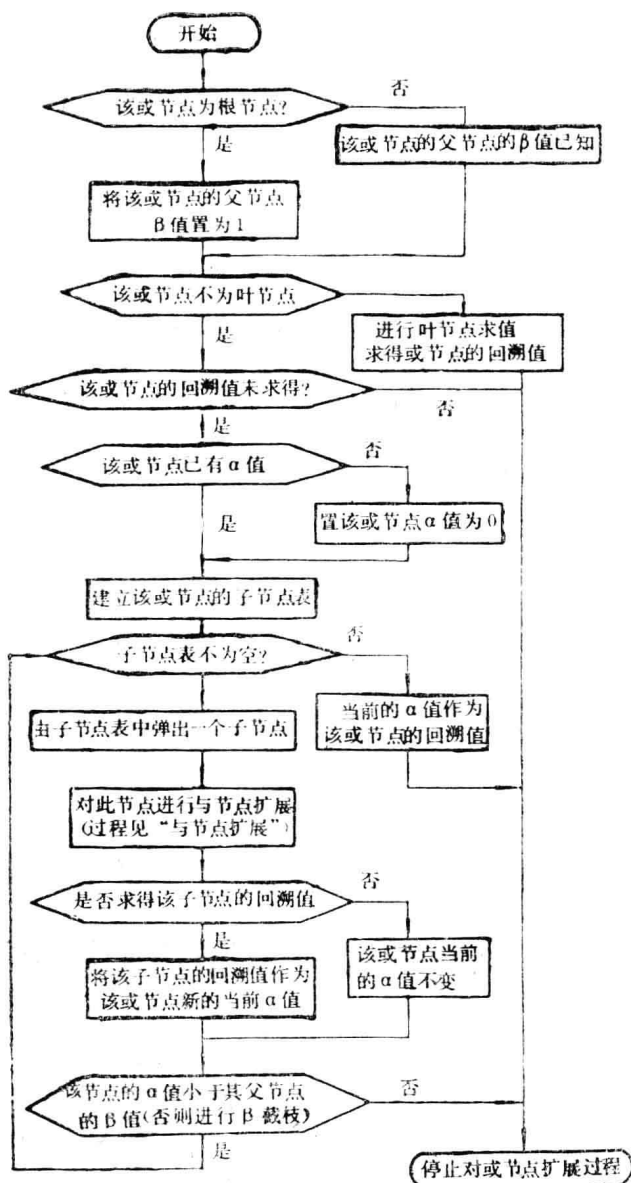
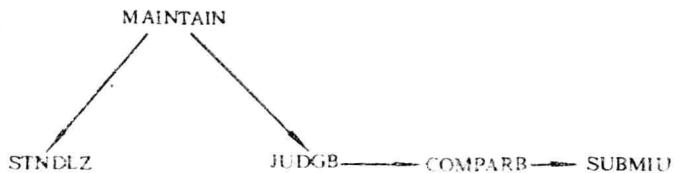


图 3 或节点扩展过程框图



算法 SUBMIU 是 COMPARE 的子算法,用来求初始事实的后验强度值。

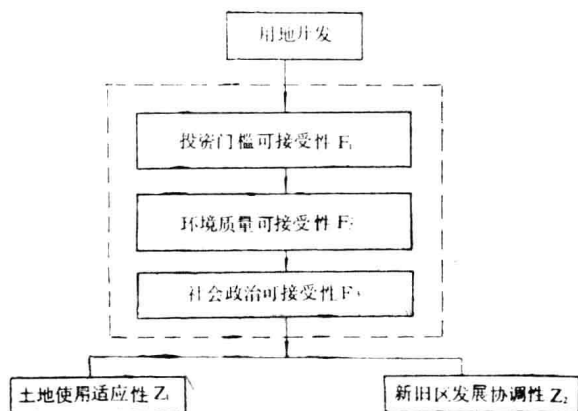
算法的某些步骤包含了一些子步骤,由一个子步骤向另一个子步骤的转移,都是限制在同一算法步骤之内的。

五、用地开发评价体系 EVALUE-2 系统的建立

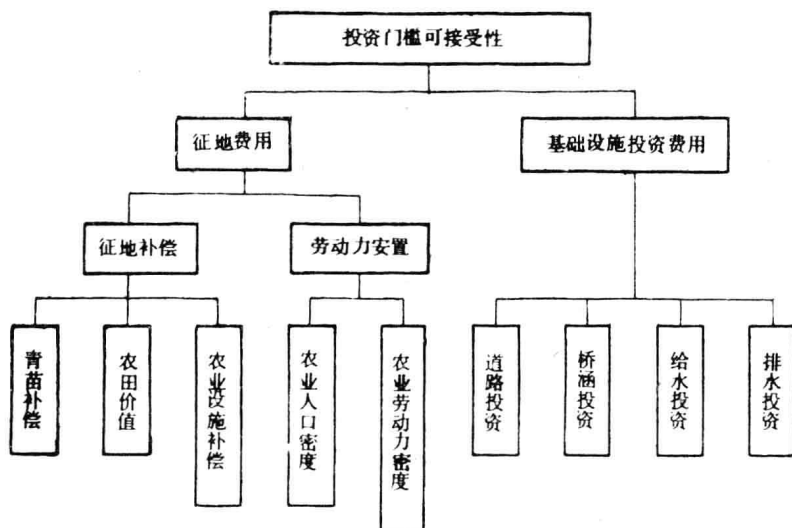
在城市道路规划评价体系 EVALUE-1 系统建立的同时,又开展了另一子系统,即用地开发评价体系 EVALUE-2 系统的研制工作。

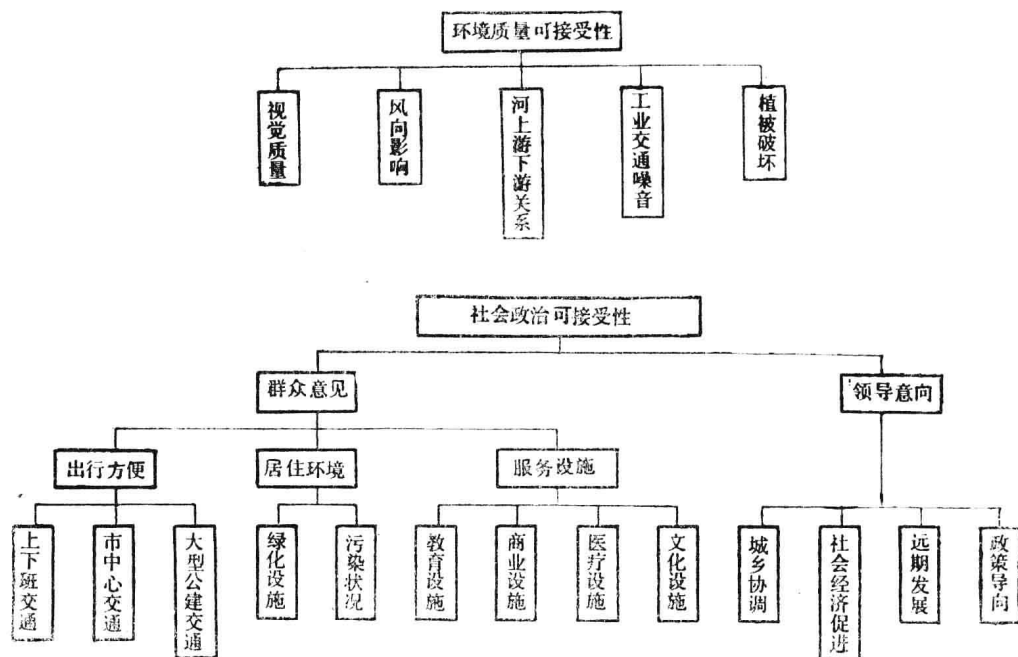
(1) 知识获取和知识形式化

用地开发评价体系在广泛征询专家意见,搜集专家知识基础上,加以整理编辑、概念化和形式化的过程中,加深了对用地开发评价体系论域内的认识,发现它们存在着双递阶层次结构体系。用地开发评价体系的第一递阶层次分为投资门槛可接受性(F1)、环境质量可接受性(F2)、社会政治可接受性(F3)三个子目标。通过第一递阶层次体系评价以后,再进行第二递阶层次体系评价,即又分为土地使用适应性(Z1)、新旧区发展协调性(Z2)两个子目标。

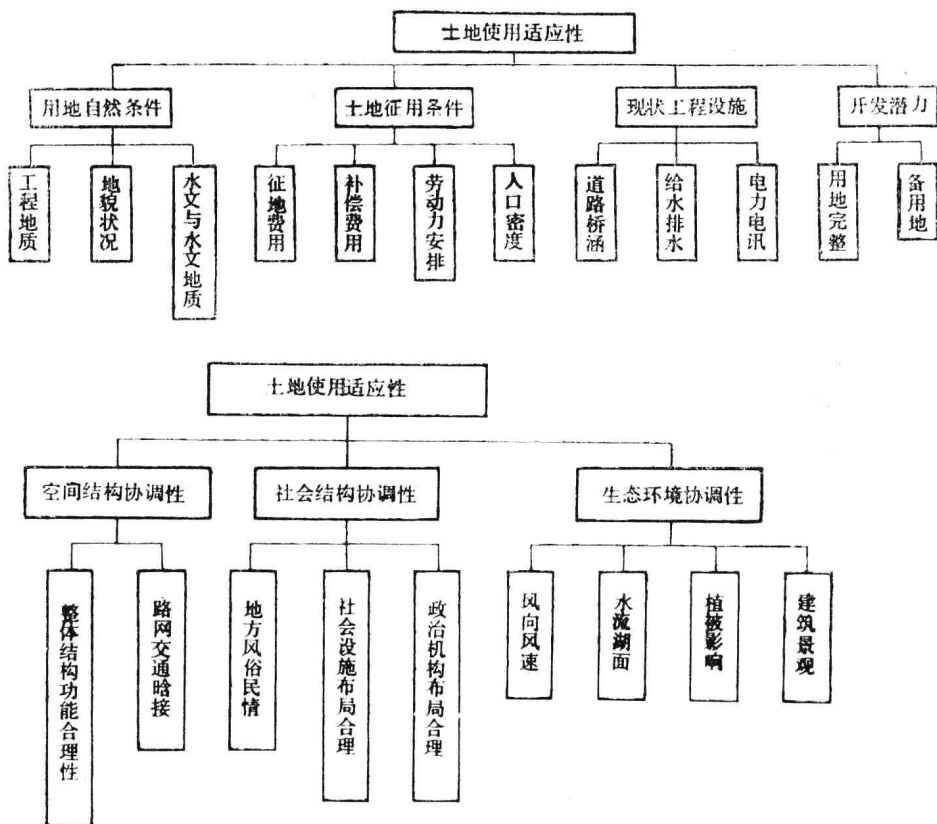


第一递阶层次体系三项子目标可继续进行层次分解,得到底层评价因素如下。





第二递阶层次体系两项子目标又可依次继续进行层次分解,得到如下底层评价因素。



(2) 评价层次模型的建立

表达层次模型中每个节点的特性,对此采用了框架表达形式,评价时先读取基本元素状态值,并按不同类型选取不同权重群。推理主要是因素权重的分配和传递过程,其传递过程反向的。

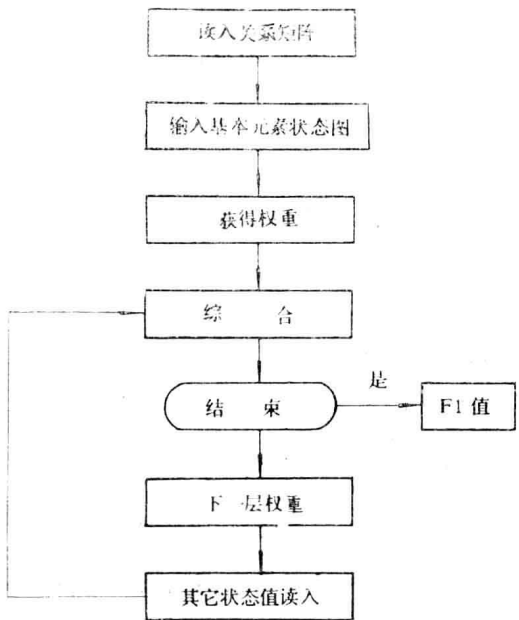


图4 工作框图

以投资门槛示例:

显示: input level num

输入: 4

显示: n = 4

显示: 4 level factors num

输入: 5

显示: input relation matrix

显示: input projects to be evaluated

输入: 3

显示: input status values

显示: status values

project 1

7 5 5 7 7

project 2

9 7 7 7 7

project 3

3 3 3 5 5

显示: [correct?(回答 Y 继续下去,回答N 停止)]

输入: y

显示: input relative weights in 4 level

显示: input other status values

显示: project 1

5 7 5 5

project 2

7 3 5 5

project 3

3 5 7 7

显示: is correct?

输入: y

显示: input relative weights in level 3

显示: input status values

显示: 0, 0, 0

显示: input relative weights in level 2

同样对 F2, F3 也一样

然后显示: F1, F2, F3 权重要改变吗?

输入: N

同样对 E1, E2

最后显示 F1, F2, F3 值与综合评价结果 P 值

		p	f1	f2	f3
project	1	5.4514	5.525	5.373	6.095
project	2	5.9812	5.738	5.874	6.407
project	3	5.7469	4.686	5.05	2.407

若各方案的 F1, F2, F3 值 > 9, 则淘汰该方案

否则按 P 值较小的方案为好。

所以方案 1, $p = 5.4514$ 最小的为最好方案。

用地开发评价体系层次模型作为系统的主框架模型, 还将建立相应变权模型和模糊模型, 这有待下一阶段继续深化和完善该方面工作。

参 考 文 献

- [1] 史忠植. 知识工程, 北京: 清华大学出版社, 1988, 3.
- [2] 楼世博等. 模糊数学, 北京: 科学出版社, 1983, 8.
- [3] 王雨田等. 控制论 信息论 系统科学与哲学, 北京: 中国人民大学出版社, 1986, 5.
- [4] 吴望名等. 应用模糊集方法, 北京: 北京师范大学出版社, 1985, 6.
- [6] 同济大学等. 城市道路与交通, 北京: 建筑工业出版社, 1985, 7.
- [7] 周商吾等. 交通工程, 上海: 同济大学出版社, 1987, 10.
- [8] Paul Siegel. Expert System TAB Books Inc. 1986.
- [9] Emile Tannic. Urban Planning and Artificial Intelligence, Computer Environment and Urban System, Vol. 1, 10, No 3/4.