

## 基于框架表示法的森林经营知识服务系统设计与实现

陈 栋<sup>1</sup>, 吴保国<sup>1</sup>, 刘建成<sup>1</sup>, 陆元昌<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学 信息学院, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院 资源信息研究所, 北京 100091)

**摘要:** 为满足森林经营知识的组织与共享服务需求, 以近自然森林事实性经营知识资源数据为基础, 以知识工程理论作为指导, 选取框架表示法组织表达近自然森林事实性经营知识, 并利用充分与必要条件的框架不确定性匹配方法作为知识检索匹配方法。在此基础上, 结合 JSON 数据交换格式, 设计了通用性较好的森林事实性知识传播数据结构, 并基于 Java EE 技术开发了森林知识服务系统, 实现了知识数据管理、查询、共享接口调用服务等功能。系统运行效果表明: 与其他专家决策系统和知识数据管理系统相比, 该系统采用的框架表示法更适用于结构性强的森林事实性经营知识管理与共享, 可为广大林业工作者提供知识查询与共享服务。图 7 表 4 参 24

**关键词:** 森林经理学; 近自然森林; 经营知识; 框架表示法; 知识服务

中图分类号: S750; N945

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2017)03-0491-10

## Design and implementation of forest management knowledge service system based on frame representation

CHEN Dong<sup>1</sup>, WU Baoguo<sup>1</sup>, LIU Jiancheng<sup>1</sup>, LU Yuanchang<sup>2</sup>

(1. School of Information Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Forest Research Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** To meet the demands for organizing and sharing services of forest management knowledge, the research used close to nature forest factual management knowledge data as the basis and the knowledge engineering theory as the guidance, that selected framework representation to organize and represent close to nature forest factual management knowledge; and used uncertainty matching method based on necessary and sufficient conditions as knowledge retrieval matching method. Based on the above content, the research designed a comparatively universal forest factual knowledge data transmission structure combined with the JSON data interchange format, developed forest knowledge service system on the basis of Java EE technology, then realize the function that including the management and searching of knowledge data. The running results of this system showed that the system with framework representation was more suitable for the management and sharing of forest factual knowledge than the other expert decision making system and knowledge data management system. It can provide knowledge query and sharing services for many forestry workers. [Ch, 7 fig. 4 tab. 24 ref.]

**Key words:** forest management; close to nature forest; management knowledge; frame representation; knowledge service

中国基层林业单位中从事森林培育与经营的技术人才还比较缺乏, 随着生态文明建设进程的不断推进, 对森林经营的科学性要求也随之增强。为解决这种要求与现状的不均衡性, 有必要利用信息技术手段构建森林经营知识共享渠道, 为基层林业单位工作人员提供森林经营知识服务。近年来, 知识工程和知识管理等领域的研究逐渐成为热点<sup>[1]</sup>, 国内外学者分别从知识表达组织、知识服务、方法以及应用等

收稿日期: 2016-05-23; 修回日期: 2016-07-04

基金项目: 国家林业局造林司森林经营基础研究项目(169201531)

作者简介: 陈栋, 博士研究生, 从事林业智能系统与决策支持技术研究。E-mail: c.dnd@163.com。通信作者: 吴保国, 教授, 博士生导师, 从事林业信息化与林业信息技术等研究。E-mail: wubg@bjfu.edu.cn

角度开展了深入研究,尤其在数字图书馆领域,对知识组织与服务的研究相对领先<sup>[2-9]</sup>。国内林业研究主要围绕着森林经营过程中的知识表达进行,例如以森林经营模式、作业法与经营知识结构化为基础,研究森林经营专家决策系统知识库,为林农提供经营决策服务<sup>[10-13]</sup>;利用数据挖掘方法,以森林资源数据为挖掘对象,进行关联性分析,研究影响森林经营的立地知识发现模型<sup>[14]</sup>;基于知识表达模型,研究探讨近自然森林经营知识表达组织方法<sup>[15]</sup>等;以上森林知识表达及组织方法的研究,分别对不同应用场景下不同过程、不同类型的森林经营知识提出了表达组织模型,提高了森林经营知识的科学化管理水平。多数的研究是以组织分析知识数据、提供决策为目标,面向知识共享服务的知识组织与服务提供方式的研究在林业领域相对鲜见,因此,研究构建森林经营知识共享服务系统就很有必要。基于此,应用JSON数据交互<sup>[16-18]</sup>及Java EE开发技术<sup>[19-24]</sup>实现了森林经营知识服务系统,利用框架表示法将近自然森林事实性知识进行了结构化表达,实现了知识数据管理、查询、共享接口调用服务等功能。本系统已应用于“全国多功能森林经营关键技术和主要森林类型作业法体系研究及示范”项目,在访问人次及运行效果上均已达到预期效果。

## 1 知识构成及其框架法表达

### 1.1 知识表达方式的选择

知识表示方法的选择应考虑以下4点因素:①能否充分表示相关的领域知识?②是否有利于对知识的利用?③是否便于知识的组织、维护和管理?④是否便于理解和实现?以这4点因素为依据,结合研究目的,是本研究选择知识表达方式的基本思想。

本研究是以近自然森林事实性经营知识服务为目的,对森林经营事实性知识进行管理,故要求知识的表达结构化特性要突出,便于传播和扩展,而对过程推理的特性要求相对较低。如表1所示:对比常用的知识表示方法,框架表示法最突出特点是善于表示结构性知识,能够把知识的内部结构关系及知识之间的联系表示出来,因此选择框架法表示近自然森林事实性经营知识可以最大限度地提高其结构化特征,增强其传播特性,方便知识体系的扩充。

表1 知识表示方法比较

Table 1 The knowledge representation method comparison

表示方法	基本形式	特点	应用
一阶谓词	谓词公式。	优点:精确性、严密性、自然性较好。 缺点:效率低,不能表示不确定的知识。	问答系统、问题求解系统、机器博弈、机器人行动规则。
产生式规则	P→Q 或 If P then Q。 P. 前提, Q. 结论或操作。	优点:自然性、模块性、清晰性较好。 缺点:效率不高,不能表达结构性知识。	经验性及不确定性的知识表达、问题求解过程相对独立的情况。
框架	<框架名> 槽名 n: 约束:	优点:结构性、继承性、自然性较好。 缺点:不善于表达过程性知识。	事实性知识的表达。
语义网络	(节点1, 弧, 节点2)。	优点:结构性、联想性、自然性较好。 缺点:处理复杂,不严格。	多用于语言理解系统。
剧本	剧本, 剧本组成(进入条件、角色、道具、场景、结局)。	优点:自然性、场景性较好。 缺点:呆板、表达能力有限。	计算机动画领域。
本体论	O:: [C, R, F, A, I](C. 概念, R. 关系, F. 函数, A. 公里, I. 实例)。	优点:关系性、自然性较好。 缺点:处理复杂。	本体主要在语义 Web、信息检索与异构信息的互操作等问题中应用。

### 1.2 近自然森林经营事实性知识构成

在与近自然森林经营研究专家讨论和总结的基础上,得出近自然森林事实性经营知识可分为5大类,包括经营模式、作业模式、技术措施、造林树种与林学知识,并对近自然森林事实性经营知识类别进行了顶层划分,作为知识树状结构的主分支。在此基础上,对各个分类进行属性细分,将笼统知识转化为结构化知识。不同类别知识分类的解释及属性组成如表2所示。

表 2 近自然森林经营事实性知识分类

Table 2 Close to nature forest management factual knowledge classification

编号	分类名	解释	属性组成
1	经营模式	针对具体森林对象特征在整个生命周期内采取的有抚育间伐、收获和更新的全部过程和要素集合。	编号，经营模式名称，详细技术，图例。
2	作业模式	是结合具体森林类型、地理区域和功能定位来设计和实施具体的“森林类型作业法”。	编号，作业模式名称，适用地区，树种名称，森林对象(适用条件)，目标林相(发展类型名)，详细技术，图例。
3	技术措施	在一定时期内为改进森林经营生产技术和生产管理而制定的方案及其实施办法。	经营技术措施名称，经营技术措施类别，详细技术，图例。
4	造林树种	近自然经营示范区中主要的造林树种信息。	树种代码，树种名称，树种别名，树种学名，树种科名……数据来源。
5	林学知识	全国自然科学名词审定委员会公布的近自然森林经营专业名词。	类别，术语，定义。

1.3 框架法表达

框架由一组描述物体的各个方面的槽组成。每个槽(属性)又由若干个侧面组成，每个侧面都有自己的名字和填入的值<sup>[1]</sup>。一般框架结构如下：

- <框架名> frame
- <槽名 1>-值 1 slot //可以是具体值，也可以是另一个框架
- <槽名 2>-值 2
- .....
- <槽名 n>-值 n

在近自然森林经营事实性知识中，选择框架表示法表示经营模式、作业模式、技术措施、造林树种和林学知识，可达到强化知识结构化特征，提供知识在计算机交互环境中的流通性等目标。根据 1.1 节中对近自然森林事实性经营事实性知识分类属性的划分，构建近自然森林事实性经营知识框架网络如图 1 所示。

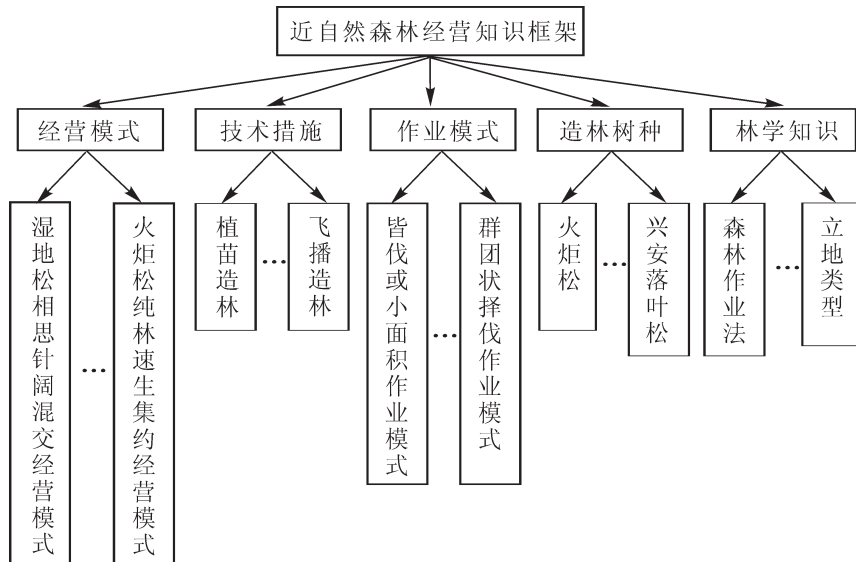


图 1 近自然森林经营知识框架网络

Figure 1 Network of close to nature forest management knowledge framework

①经营模式知识框架表示。

- 框架名：<经营模式>
- 属性槽：
- 编号：字符串
- 经营模式名：字符串

详细技术：字符串

图例：字符串

② 作业模式知识框架表示。

框架名：<作业模式>

属性槽：<树种>

编号：字符串

作业模式名：字符串

适用地区：字符串

森林对象(适用条件)：字符串

目标林相(发展类型名)：字符串

详细技术：字符串

图例：字符串

③ 技术措施知识框架表示。

框架名：<技术措施>

属性槽：

经营技术措施名：字符串

经营技术措施类别：字符串

详细技术：字符串

图例：字符串

④ 造林树种知识框架表示。

框架名：<树种>

属性槽：树种编号：字符串

树种名称：字符串

树种别名：字符串

树种类型：字符串

树种特性：字符串

树种用途：字符串

采种技术：字符串

.....

⑤ 林学知识框架表示。

框架名：<林学名词>

属性槽：类别：字符串

术语：字符串

定义：字符串

#### 1.4 基于充分与必要条件的框架不确定性匹配方法

准确快速查询到用户满意的结果是知识服务系统的核心功能。基于框架法知识匹配分为确定性匹配与不确定性匹配。在实际应用中，2个框架的对应槽往往不能完全一致，因而就需要进行不确定性匹配。近自然森林经营事实性知识框架的属性槽值均为描述性语言，并没有属相值变化范围，加之各属性的重要程度相差无几，故选择充分条件与必要条件不确定性匹配方法。

依据近自然森林事实性经营知识框架网络，对比每个框架中的属性槽，分析并确定各个属性槽与框架之间的充分必要性，确定为“充分条件”的属性槽可以准确查出所属框架；确定为“必要条件”的属性槽可以被其所属框架准确查出；除了上述具备充分、必要性的属性槽，还有一些属性槽和框架之间的关系不紧密，此类属性槽不是框架匹配的重点内容，这种属性槽在本研究中成为“无条件”的属性槽，被确定为“无条件”的属性槽不作为匹配条件。例如，在造林树种框架中，树种编号属性槽值是唯一的，使用树种编号值能准确查出所属树种框架，故将树种编号属性槽定为造林树种框架的“充分条件”槽；依据树种分类值可查出属于此分类的多个树种，通过造林树种框架能够确定自身的分类，故将树种分类属性槽定为造林树种框架的“必要条件”槽；而图例属性一般不作为造林树种框架匹配过程中的查

表 3 近自然森林经营事实性知识框架属性槽充分必要性

Table 3 Close to nature forest management factual knowledge framework attribute slot need adequately

编号	框架名	属性槽	充分必要性	编号	框架名	属性槽	充分必要性
1	经营模式	编号	1.0	3	技术措施	经营技术措施类别名	1.0
		经营模式名	1.0			经营技术措施名	1.0
		详细技术	1.0			详细技术	1.0
		图例	0			图例	0
2	作业模式	编号	1.0	4	造林树种	树种代码	1.0
		作业模式名	1.0			树种名称	1.0
		树种名	0.5			树种别名	0.5
		适用地区	0.5			树种分类	0.5
		适用条件	0.5			数据来源	0
		发展类型名	1.0			……	0
		详细技术	1.0			图例	0
		图例	0			5	林学知识
		术语	1.0				
		定义	1.0				

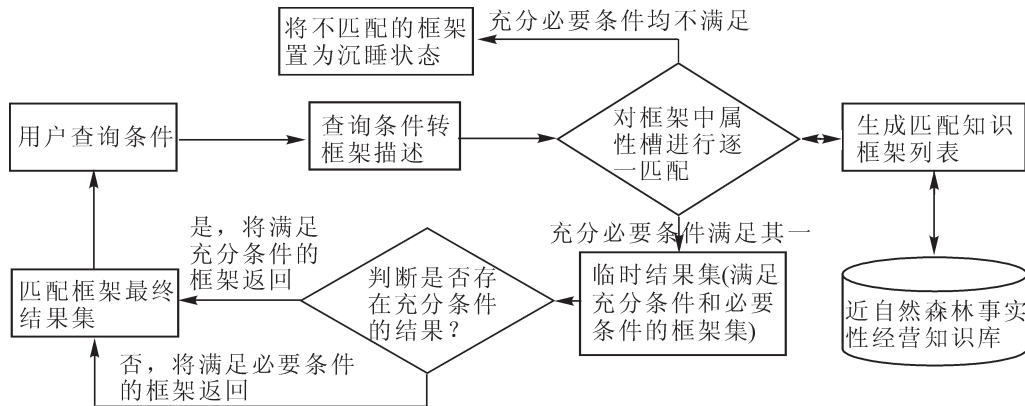


图 2 匹配流程图

Figure 2 Match flow chart

询条件，故将图例属性槽定为“无关条件”槽。为了计算机的可操作性，本研究将“充分条件”槽定为 1.0，将“必要条件”槽定为 0.5，无关条件槽定为 0。各框架槽的充分必要性如表 3 所示。

充分必要条件属性设置是框架知识匹配的前提条件，匹配原则是 2 个框架进行匹配。如果充分条件属性槽值相等，就可以认为相应的 2 个框架可以匹配，可以将进行匹配的框架置为“确认”状态；如果不相等，而必要条件满足，便将框架置为“激活”状态，并进一步匹配剩余框架；如果充分条件和必要条件均没有满足，则对进行匹配的框架置为“沉睡”状态。具体匹配流程如图 2 所示。

### 1.5 近自然森林事实性经营知识库设计

本研究中近自然森林事实性经营知识库采用关系数据库实现，主要分为若干个事实库和 1 个框架库。事实库用于存储近自然森林 5 大类经营知识，框架库是依据其框架网络及属性槽的充分必要性进行设计。

依据前面对近自然森林经营知识分类及属性划分和相关的林业行业标准，设计事实库表结构如下：

- ①经营模式表(编号，经营模式名，详细技术，图例)；
- ②作业模式表[编号，作业模式名，适用地区，树种名，森林对象(适用条件)，目标林相(发展类型名)，详细技术，图例]；
- ③技术措施表(编号，经营技术措施类别，经营技术措施，详细技术，图例)；
- ④造林树种表(树种代码，树种名称，树种别名，树种学名，树种科名……数据来源)；
- ⑤林学知识表(编号，类别，术语，定义，备注)。

依据框架表示网络及属性槽充分必要性分析设计框架库表结构如下：近自然森林事实性经营知识框架表(编号，框架名，属性槽，充分必要性)。

## 2 近自然森林经营知识服务系统的设计

### 2.1 系统功能设计

系统考虑到近自然不同类别知识展示的友好度，方便用户对知识浏览和查询，采用分模块展示方法。具体的功能如图3所示，包括知识获取接口服务、经营模式浏览查询、作业模式浏览查询、技术措施浏览查询、造林树种查询以及林学知识浏览查询功能。

### 2.2 系统结构

系统通过组件化设计模式，各层次之间具有高内聚、低耦合的特点，增加了开发效率，提高了系统的稳定性及代码的可维护性。如图4所示：使用成熟的Spring MVC+Hibernate框架，将系统分为数据持久层、业务逻辑层和表现层等3个层次，此架构结构明晰，有较好的稳定性。持久层使用Hibernate对数据库操作进行封装操作；业务逻辑层是系统核心层，使用Spring框架进行事务化管理，实现了框架匹配流程方法，以及面向不同用户的调用接口；表现层运用Jquery技术，采用Ajax与服务器端进行数据交互，增加了数据传输效率，减少页面跳转测试，增强用户体验，在表现层系统提供代码级知识调用接口的同时，也支持林业经营工作者使用浏览器作为客户端软件查询浏览近自然森林经营知识。

### 2.3 系统流程框架设计

系统流程框架如图5所示。从用户角度主要包含3个流程：①普通用户可以通过浏览器查阅不同知识类别的Web页面；②专家用户主要通过系统后台对知识数据进行维护；③代码级知识调用用户，可通过WebService或Http等不同接口查询获取知识。通过知识匹配流程对知识进行查询。具体方法1.3节已经说明。

代码级知识调用提供基于WebService和Http等2种接口调用，接口设计需要规定标准化数据传输格式及数据结构。本研究使用轻量级数据交换格式JSON(JavaScript Object Notation)，JSON采用完全独立于语言的文本格式，同时也使用了类似于C语言家族的习惯(包括C，C++，C#，Java，JavaScript，Perl，Python等)。这些特性使JSON成为理想的数据交换语言，易于读写，同时也易于机器解析和生成(一般用于提升网络传输速率)。依据框架法的规则，定义JSON数据传输格式如下。

```
{“datalist” : [ {
    “framename” : “框架名”，
    “attributeslot” : [属性槽名数组]，
    “attributevalue” : [ {
        “fieldvalue” : [属性槽值数组(与 attributeslot 的顺序一一对应)]，
        “time” : “提供时间”
    } ]
} ] }
```

以林学知识为例，如下。

```
{“datalist” : [{
```

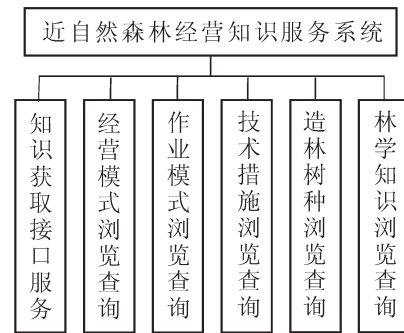


图3 近自然经营知识服务系统功结构

Figure 3 Close to nature forest knowledge service system function structure

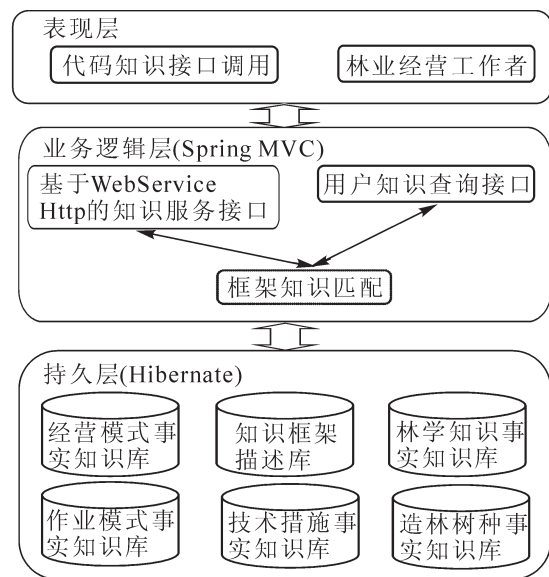


图4 近自然经营知识服务系统结构

Figure 4 Close to nature forest knowledge service system structure

```

“framename”：“林学知识”，
“attributeslot”：[‘类别’，‘术语’，‘定义’，‘备注’]，
“attributevalue”：[[
“fieldvalue”：[‘森林经理学’，‘立地类型’，‘调查包括土壤和基岩类型、土壤水分状况和养分状况等
4 个指标。’，‘无’]，
“time”：“20160515 16:25:30”] ]
} ]}

```

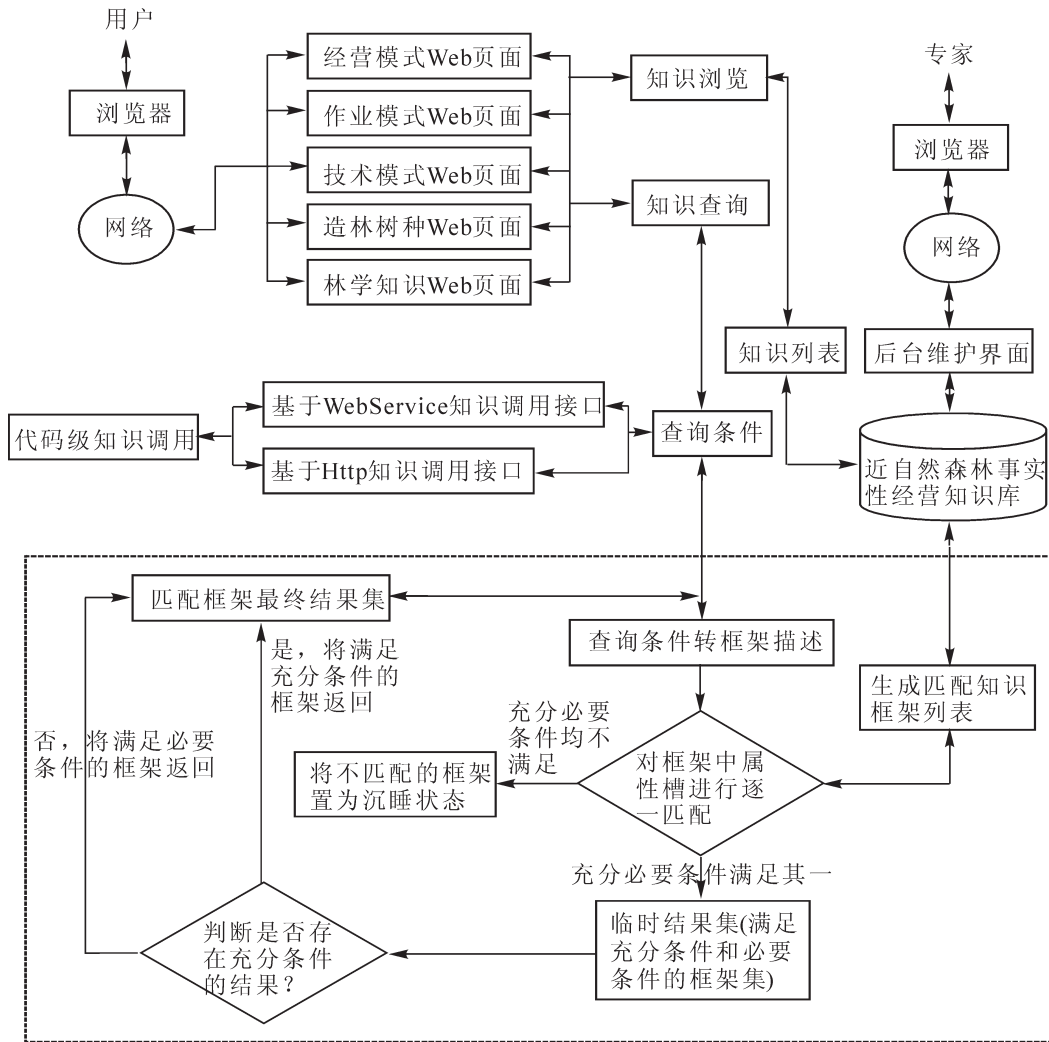


图 5 近自然经营知识服务系统框架

Figure 5 Framework of the close to nature forest knowledge service system

### 3 运行实现与分析

#### 3.1 运行实例

近自然森林经营知识服务系统现部署在北京林业大学信息中心服务器上，域名为 www.f168.net.cn，系统提供 Web 方式知识浏览查询和代码级调用接口服务，系统长期运行情况良好，其 Web 知识浏览查询界面如图 6 所示，代码级调用接口服务示例如图 7 所示。

#### 3.2 对比分析

目前，虽有许多学者围绕森林资源与知识管理进行了较多研究，并设计了与之相关的知识管理系统原型<sup>[1,10]</sup>，但是大多数系统原型的设计都是以决策支持为目的，往往是对过程性知识的组织；也有少数利用本体的概念对森林经营领域知识进行管理。本研究的目的是为了近自然森林事实性知识的传播和共



图6 近自然经营知识服务系统知识浏览查询界面

Figure 6 Knowledge browse query interface of close to nature forest knowledge service system



图7 近自然经营知识服务系统代码级调用服务示例界面

Figure 7 Code level call service sample interface of close to nature forest knowledge service system

表4 系统对比与分析

Table 4 System contrast and analysis

系统类别	知识类型及组织方式	系统功能特点	系统适用范围
专家决策类系统	常使用产生式规则	通过对过程性知识的组织, 实现决策推理功能。	适用于森林经营决策领域。
数据知识管理类系统	常使用本体表达	利用本体规则, 实现领域知识的组织关联, 强调知识的检索功能。	适用于森林领域的复杂知识与数据的管理。
本研究的系统	框架法表达	结构化表达事实性知识, 强调知识的结构转化与知识的传播。	适用于对一般结构性强的事实性知识的管理与共享。

享。如表4所示:本研究将现有关于林业领域知识组织管理的典型系统分为专家决策类系统和管理类系统,并与本系统在知识组织方式和功能等方面进行了比较。本研究选用框架表达法,具有操作简单、易于实现、而且结构化强,便于转化为JSON数据传输格式,从而使知识更易传输。

## 4 结语

基于框架表达法的近自然森林结构化经营知识表示模式的设计与实现,对近自然森林经营知识进行了结构化表达,符合知识传播使用特点,使近自然森林经营知识具备了标准化信息传播特性,实现了知识的传播和共享服务的前提条件。基于结构化知识表达方法构建的近自然森林经营知识服务系统提供了Web方式的知识浏览查询和代码级调用接口服务,实现了便捷的用户查询功能。系统应用于“全国多功能森林经营关键技术和主要森林类型作业法体系研究及示范”项目,已长期稳定运行,促进了近自然森林经营事实性知识传播。目前,系统收录知识仍需补充,以满足更多用户的知识需求。



## 5 参考文献

- [1] 陈文伟, 陈晟. 知识工程与知识管理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [2] 蒋勋, 徐绪堪. 面向知识服务的知识库逻辑结构模型[J]. 图书与情报, 2013(6): 23 – 31.  
JIANG Xun, XU Xukan. Knowledge service-oriented model of knowledge base logical structure research [J]. *Libr Inf*, 2013(6): 23 – 31.
- [3] 王知津, 王璇, 马婧. 论知识组织的十大原则[J]. 国家图书馆学刊, 2012, 21(4): 3 – 11.  
WANG Zhijin, WANG Xuan, MA Jing. The ten principles of knowledge organization [J]. *J Nat Libr China*, 2012, 21(4): 3 – 11.
- [4] 许燕, 曾建勋. 面向科研管理的机构知识库建设政策与机制[J]. 图书情报工作, 2015, 59(6): 22 – 27.  
XU Yan, ZENG Jianxun. The policy and mechanism of institutional repository construction for scientific research management [J]. *Libr Inf Serv*, 2015, 59(6): 22 – 27.
- [5] 袁国铭, 李洪奇, 樊波. 关于知识工程的发展综述[J]. 计算机技术与自动化, 2011, 30(1): 138 – 143.  
YUAN Guoming, LI Hongqi, FAN Bo. Survey on development of knowledge engineering system [J]. *Comput Technol Autom*, 2011, 30(1): 138 – 143.
- [6] 赖茂生, 屈鹏, 谢静. 知识组织最新研究与实践进展[J]. 图书情报工作, 2009, 53(2): 19 – 23.  
LAI Maosheng, QU Peng, XIE Jing. Recent development researches and practices in knowledge organization [J]. *Libr Inf Serv*, 2009, 53(2): 19 – 23.
- [7] HILL L, ZENG M L, TUDHOPE D, et al. Next generation knowledge organization systems: integration challenges and strategies [C]//*Proceedings of the 5th ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries (JCDL'05)*. Denver: IEEE, 2005: 430.
- [8] SUMMERS E, ISAAC A, REDDING C, et al. LCSH, SKOS and linked data [C]//*Proceedings of the 2008 International Conference on Dublin Core and Metadata Applications (DCMI'08)*. Göttingen: Dublin Core Metadata Initiative, 2008: 25 – 33.
- [9] JUPP S, BECHHOFFER S, STEVENS R. A flexible API and editor for SKOS [C]//*6th Annual European Semantic Web Conference (ESWC2009)*, Berlin: Springer, 2009: 506 – 520.
- [10] 吴保国, 马驰. 森林培育专家系统中造林决策知识库设计与推理机求解算法研究[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(S2): 9 – 13.  
WU Baoguo, MA Chi. Design of afforestation and decision-making knowledge base and research of inference engine algorithm in the silviculture expert system [J]. *J Beijing For Univ*, 2009, 31(S2): 9 – 13.
- [11] 吴保国, 温亮宝. 森林重大病虫害诊治专家咨询系统的研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(6): 113 – 118.  
WU Baoguo, WEN Liangbao. Expert consulting system for the diagnosis, prevention and control of important forest diseases and insect pests [J]. *J Beijing For Univ*, 2006, 28(6): 113 – 118.
- [12] 万敏. 面向农户的问题解决型农业科技知识服务系统研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.  
WAN Min. *Study on the Problem-Solving Agricultural Knowledge Service System for Farm Households* [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.
- [13] 马驰. 速生丰产林培育专家系统的研建[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.  
MA Chi. *Establishment of Fast-growing and High-yield Forest Cultivation Expert System* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2009.
- [14] 巩根熙. 多元林业信息融合的立地知识发现研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.  
GONG Yinxi. *Study of Site Knowledge Discovery Based on Multivariate Forestry Information* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013.
- [15] 赵振洲, 陆元昌. 近自然森林经营知识模型及管理系统研究[J]. 福建林业科技, 2014, 41(1): 137 – 141.  
ZHAO Zhenzhou, LU Yuanchang. The study on knowledge model and management system for near natural forest management [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2014, 41(1): 137 – 141.
- [16] 杨树林, 胡洁萍. JSON 数据交换格式及其在数据验证中的应用[J]. 北京印刷学院学报, 2008, 16(4): 56 – 58.  
YANG Shulin, HU Jieping. JSON data exchange format and its application in data confirmation [J]. *J Beijing Inst*

- Graphic Commun*, 2008, **16**(4): 56 – 58.
- [17] 张沪寅, 屈乾松, 胡瑞芸. 基于 JSON 的数据交换模型[J]. 计算机工程与设计, 2015, **36**(12): 3380 – 3384.  
ZHANG Huyin, QU Qiansong, HU Ruiyun. Data exchange model based on JSON [J]. *Comput Eng Des*, 2015, **36**(12): 3380 – 3384.
- [18] 张耘凡, 柳平增, 马鸿健, 等. 一种基于 JSON 的分布式系统架构[J]. 中国农机化学报, 2015, **36**(5): 255 – 257, 266.  
ZHANG Yunfan, LIU Pingzeng, MA Hongjian, *et al.* JSON-based distributed system architecture [J]. *J Chin Agric Mechan*, 2015, **36**(5): 255 – 257, 266.
- [19] 钟诗胜, 张艳. 可拓知识表示及知识库系统的开发[J]. 计算机集成制造系统, 2008, **14**(11): 2184 – 2190.  
ZHONG Shisheng, ZHANG Yan. Extension-based knowledge representation and development of knowledge base system [J]. *Comput Int Manuf Syst*, 2008, **14**(11): 2184 – 2190.
- [20] 田杰, 胡秋霞, 张立新, 等. 基于 Web 的苹果施肥系统的设计与实现[J]. 农机化研究, 2008(11): 88 – 90.  
TIAN Jie, HU Qiuxia, ZHANG Lixin, *et al.* Design and implementation of apple fertilizing system based on Web [J]. *J Agric Mechan Res*, 2008(11): 88 – 90.
- [21] 陈砣, 吕新. 基于 JSP 的棉花施肥管理决策系统的设计与实现[J]. 农业工程学报, 2009, **25**(3): 124 – 129.  
CHEN Tuo, LÜ Xin. Design and implementation of JSP-based administrative decision system in cotton fertilization [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2009, **25**(3): 124 – 129.
- [22] 张弛, 张晓东, 王登位, 等. 基于组件库的生鲜农产品冷链物流云服务系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 2016, **32**(12): 273 – 279.  
ZHANG Chi, ZHANG Xiaodong, WANG Dengwei, *et al.* Design and implementation of cloud service system for cold chain logistics of fresh agricultural products based on component integration [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2016, **32**(12): 273 – 279.
- [23] 赵汨龙, 罗喜伶, 王忠波. 基于 SOA 的民航广域信息管理架构的研究与设计[J]. 计算机技术与发展, 2016, **26**(2): 1 – 5.  
ZHAO Milong, LUO Xiling, WANG Zhongbo. Research and design of system wide information management architecture based on SOA [J]. *Comput Technol Dev*, 2016, **26**(2): 1 – 5.
- [24] 郑广成. 一种 SOA 云服务平台架构研究与应用[J]. 计算机应用与软件, 2011, **28**(12): 228 – 231.  
ZHENG Guangcheng. An SOA cloud service platform architecture research and application [J]. *Comput Appl Softw*, 2011, **28**(12): 228 – 231.