

多层智能状态空间建模方法的研究及其应用

吴爱燕¹ 曾广平² 涂序彦²

(北方工业大学理学院 北京 100144)¹ (北京科技大学计算机与通信工程学院 北京 100083)²

摘要 阐明了“多层智能状态空间”建模方法的研究现状,针对复杂大系统建模中的不确定性与不确知性,尤其是人为主观造成的模糊性与采样数据随机性并存的问题,结合云模型的相关理论和方法设计了“多层智能状态空间”建模方法,给出了模型构建的完整约束及智能信息处理方案。最后将该方法用于我国能源系统分析研究中,构建了多层能源系统分析模型,给出了模型的求解方法,建立仿真实验平台进行实验对比分析,取得了较好的结果,证明了该方法的简单性和有效性。

关键词 多层状态空间模型,云模型,不确定性,复杂大系统

中图分类号 TP391.1 **文献标识码** A

Research of Multi-layer Intelligent Modeling Method

WU Ai-yan¹ ZENG Guang-ping² TU Xu-yan²

(College of Science, North China University of Technology, Beijing 100144, China)¹

(School of Computer and Communication Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)²

Abstract The paper studied the research status of multi-layer state-space modeling method, and analysed its advantages and disadvantages. Furtherly, it developed the modeling method with could model and put forward the multi-layer intelligent state-space modeling method, which is able to effectively solve uncertainty of system information, especially coexistence of fuzziness and randomness. And it described specification of the model and its intelligent information processing scheme. Finally, it was used to analyse China's energy system and expound the solution method, and the simulation platform was developed to complete comparison experiment. An active result was got, which shows the method is simple and effective.

Keywords Multi-layer state space model, Cloud model, Uncertainty, Complex large system

复杂的大系统建模方法的研究是研究复杂现象产生、发展,剖析各领域的复杂大系统问题的关键。目前比较成熟的研究方法有元胞自动机法、基于 Agent 的建模方法,以及基于 Petri 网的建模方法^[1,2]等。但不管是哪种方法都有其适用优势和局限性。众所周知,我国自建国以来一直是行政递阶管理机制,而研究系统问题,分析系统问题,都是为了更好地管理系统现象。本文在研究现有建模方法基础上,旨在探讨一种适用于我国行政递阶管理机制的建模方法,同时这种方法又能够很好地解决系统问题中的不确定性与不确知性,尤其是人为主观造成的模糊性与采样数据随机性并存^[3-5]的问题。

“多层状态空间建模方法”用于构建大系统模型,系统信息可以在模型的各级状态空间中递阶传输,使整个状态空间构成一种螺旋上升、不断扩展的进化系统,这正迎合了我国行政区域多级管理机制的国情,用其研究我国的社会现象和自然现象收到了良好的效果。多年来,“多层状态空间建模方法”所研究的问题涉及机械系统、应用系统、自然现象、社会现象等不同研究领域^[6,7],有动态系统问题的研究,也有静态系

统问题的探讨,但是所研问题无论属于哪个领域都普遍存在着不确知性、不确定性,人们的研究主要集中在随机性或模糊性上。而如何体现系统现象中随机性与模糊性的关联关系,正是当前系统研究中亟待解决的问题,是目前大系统及复杂大系统建模方法研究中的难点,也是“多层状态空间建模方法”研究的空白。对此,本文结合智能建模方法,研究构建“多层智能状态空间建模方法”,系统阐明了建模过程中的各种定义及约束,给出了智能信息处理方案,并将其用于农村用能分析,通过实验证明了其合理性和有效性。

1 多层智能状态空间建模方法

一个大系统状态空间模型可以分解为多少个互相联结的层,每层又可以分解为多少个相互关联的子系统,即纵向建模和横向建模,“多层状态空间建模方法”已经阐述了纵向模型和横向模型的分解与联合^[8],在此不再赘述。那么,哪些子空间或子系统间可以存在关联关系,哪些不可以? 这些子系统及其间关联关系的随机性与模糊性共存如何解决? 针对这些

到稿日期:2013-05-23 返修日期:2013-10-21 本文受“十一·五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAJ04B07-2),863 国家高技术研究发展计划项目基金(2009AA012119)资助。

吴爱燕(1980-),女,博士,讲师,主要研究方向为智能计算方法、智能建模方法等,E-mail: wkyway@163.com;曾广平(1962-),男,博士生导师,主要研究方向为智能网络等;涂序彦(1935-),男,博士生导师,主要研究方向为人工智能及应用。

问题,下面采用集合和图论的思想,分别从纵向和横向两个方面阐述“多层智能状态空间”模型构建的约束条件,并借鉴云模型的智能信息处理方法,设计了“多层智能状态空间”中的智能信息处理方案。

1.1 纵向建模约束

纵向建模是指为了满足研究需要,一个大系统状态空间模型可以如何划分层次,哪些层次之间可以存在关联关系以构成多层智能状态空间纵向模型。对此,相关约束的定义和结论如下:

定义 1 无论一个完整的系统状态空间划分成多少个层次,相邻的两层中较大的粒度层称为父层;相对较小的粒度层称为子层。

定义 2 父层中的相应粒度空间称为父粒度空间,记作 P 。

定义 3 子层中的相应粒度空间称为子粒度空间,记作 S 。

父粒度空间和子粒度空间的结构满足如下约束:

$$P = \bigcup_{i=1}^n S_i \begin{cases} S_i \cap S_j = \phi \\ i \in \{1, 2, \dots, n\} \\ j \in \{1, 2, \dots, n\} \\ i \neq j \end{cases} \quad (1)$$

式中, n 为父粒度空间包含子粒度空间的数目。

定义 4 父粒度空间和子粒度空间之间的关联及关系统称为父子关联,记作 R 。

定义 5 父粒度空间与其子粒度空间由父子关联构成的状态空间称为纵向子状态空间,记作 M 。

纵向子状态空间可由一个三元组表示:

$$M = \langle P, R, S \rangle \quad (2)$$

纵向子状态空间满足如下约束:

(1) P, R, S 均为非空有限集合,其中 P 只有一个元素, R 中的元素个数与 S 中的元素个数相等,且满足下式:

$$\begin{cases} P \cap R = \phi \\ P \cap S = \phi \\ R \cap S = \phi \end{cases} \quad (3)$$

(2) R 中的元素为父子关联,其关联模型可以是知识模型、数学模型,定性模型、定量模型,动态模型、静态模型,甚至是空模型,当父粒度空间与其某个子粒度空间之间没有任何信息传输,不构成任何关系时,它们之间的父子关联模型便是空模型;

(3) R 和 S 中的元素可以根据研究需要动态地扩充或减少,但要始终满足以上两个条件。

结论 1 在纵向子状态空间中父子关联是个一对多的映射。

结论 2 纵向子状态空间的图形描述满足两层多叉树的特性。

结论 3 多层智能状态空间的纵向图形描述满足多层多叉树的特性。

结论 4 多层智能状态空间的纵向图形及其纵向子状态空间图形均是连通图。

结论 5 在实际系统研究中,多层智能状态空间模型中的纵向关联关系可以根据实际需要表述成有向图或无向图。

1.2 横向建模约束

横向建模是指为了满足研究需要,每一层状态空间可以

分解为多少子系统空间,哪些子系统空间可以构建关联关系以构成多层智能状态空间横向模型。对此,相关约束的定义和结论如下:

定义 6 在同粒度层中众多相关联的子空间(系统)或是独立粒度空间内部相互作用的因素,称为子系统群(或子空间群),记为 V 。

定义 7 同粒度空间之间的关系,或独立粒度空间内部的关系称为横向关系。

定义 8 子系统群及由群间的横向关系联结构成的状态空间称为横向子状态空间,记为 L 。

横向子状态空间与子系统群的结构关系满足如下约束:

$$L = \bigcup_{i=1}^n V_i \begin{cases} V_i \cap V_j = \phi \\ i \in \{1, 2, \dots, n\} \\ j \in \{1, 2, \dots, n\} \\ i \neq j \end{cases} \quad (4)$$

式中, n 为横向子状态空间包含子系统群的数目。

对于任意一个子系统群,其中的每个子系统都可以抽象为一个节点,用 e_k 表示;子系统间的关联都可以抽象成一条边,用 t_i 表示;相应关联上的关系(即横向关系)可以抽象为边上的权,用 φ_i 表示。

横向子状态空间可以用一个三元组表示如下:

$$V = \langle E, T, \phi \rangle \quad (5)$$

横向子状态空间满足如下约束:

(1) E 和 T 均为非空有限集合,且

$$\begin{cases} E = \{e_1, e_2, \dots, e_k, \dots, e_p\} \\ T = \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_q\} \\ E \cap T = \phi \end{cases} \quad (6)$$

(2) ϕ 是一个非空有限集合,且

$$\phi = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_q\} \quad (7)$$

式中, φ_i 为 t_i 上的关系模型。

它可以是知识模型、数学模型,定性模型、定量模型,动态模型、静态模型,甚至是空模型等。当子系统间没有任何信息传输时,即它们之间的关联上不存在关系时,就为空模型。

(3) E 和 T 中的元素可以根据研究需要动态扩充或减少,但要始终满足以上两个条件。

结论 6 子系统群可以包含一个因素,或者是多个因素。

结论 7 横向子状态空间的图形描述满足网状图的特性。

结论 8 多层智能状态空间的横向图形描述满足网状图的特性。

结论 9 多层智能状态空间的横向图形及其横向子状态空间图形均是连通图。

结论 10 在实际系统研究中,多层智能状态空间模型中的横向关联关系可以根据实际需要表述成有向图或无向图。

1.3 智能信息处理方案

从现有参考文献[9]可知,云模型可以作为表述变粒度概念的基本模型,适合多层状态空间模型中不同层次间信息粒度不同的特征要求。于是,根据智能信息处理模型和多层智能状态空间模型对信息不确定性与不确知性的处理要求,借鉴正态云发生器的原理^[10],构建了智能信息处理模型——云转换器,它可以解决系统信息的不确定性与不确知性,尤其是

随机性与模糊性的关联,可以解决系统分析中所需定性信息与定量信息之间的转换,实现定性信息与定量信息的综合运算。

云转换器模型如图 1 所示。

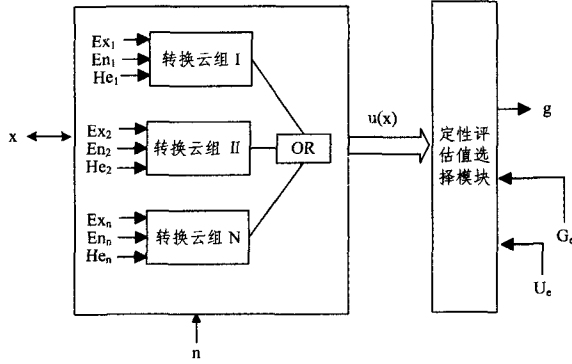


图 1 云转换器模型图

云转换器定义如下:

(1) 一个云转换器包括转换云组模块和定性评估值选择模块;转换云组的数目记作 k , 一个转换云组包含转换云的数目记作 l , k 和 l 的值根据实际研究对象确定;每个转换云均满足云的定义,记作 C_{ij} ;

$$C_{ij} = (Ex_{ij}, En_{ij}, He_{ij}), i \leq k \text{ 且 } j \leq l \quad (8)$$

(2) 各云组之间是或关系,某一时刻只能有一个云组工作;

(3) 转换云组的激活参数记作 n ;

$$\exists n \in \psi \rightarrow \exists C_n \begin{cases} \psi = \{1, 2, \dots, k\} \text{ 或 } \phi \\ C_n = \{C_{n1}, C_{n2}, \dots, C_{nl}\} \end{cases} \quad (9)$$

(4) 对象某属性信息的数值记作 x , 它满足正态云的要求;

(5) x 在转换云组 C_n 中第 i 个转换云上的确定度记作 $u_i(x)$, $u_i(x)$ 的求取满足正态云的定义;

$$u_i(x) \in u(x) \quad (10)$$

(6) 由 x 转换得来的语言评价值记作 g ;

(7) 根据先验知识,将研究对象某属性信息得出的语言评价值和相应的确定度分别记作 G_e 和 U_e , G_e 和 U_e 通过转换云可以得到相应的数值 x ;

$$x = Ex_{ij} - \sqrt{-\ln U_e \times 2 \times (En_{ij})^2} \begin{cases} G_e \triangleright la(C_{ij}) \\ C_{ij} = (Ex_{ij}, En_{ij}, He_{ij}) \end{cases} \quad (11)$$

式中, \triangleright 为对应关系, $la(C_{ij})$ 为云 C_{ij} 表述的语言值。

(8) 定性评估值选择模块执行如下规则:

$$\text{if } u_i(x) \text{ is } \max\{u_1(x), u_2(x), \dots, u_l(x)\} \\ \text{then } g = la(C_{in}) \quad (12)$$

式中, $la(C_{in})$ 为云 C_{in} 表述的语言值。

$$\text{if } G_e \text{ and } U_e \text{ then excute(function(11))} \quad (13)$$

式中, excute(function(11)) 为执行式(11)。

2 在农村用能分析中的应用

能源系统分析主要针对我国各省市县乡村五级管理辖域进行相应用能系统分析,为农村用能规划及可再生能源开发提供依据。依据纵向和横向建模约束,可按照管理辖域确定粒度关系,构建省、市、县、乡、村五层能源系统分析模型,纵向父粒度空间与子粒度空间构成一对多的映射,而横向各子状

况空间中的子系统群及子系统群中的各子系统间的关联表述满足网状图特性,如图 2 所示。

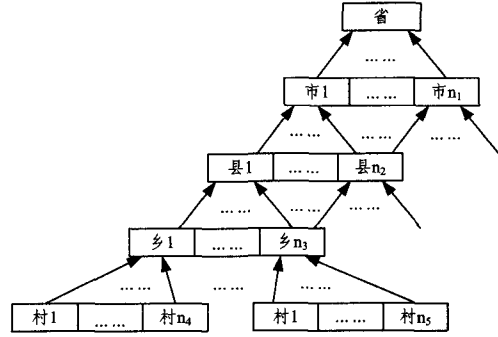


图 2 能源系统分析五层模型图

由多层状态空间模型^[8]可知,子层状态空间模型可表示为:

$$\langle s, F(u), g \rangle \quad (14)$$

式中, s 为能源信息, g 为子层能源系统分析结果, u 为子层能源系统分析运算, $F(u)$ 为由 u 产生的状态转移操作。

父层状态空间模型可表示为:

$$\langle \hat{s}, \hat{F}(\hat{u}), \hat{g} \rangle \quad (15)$$

式中, \hat{s} 为子层能源系统分析结果, \hat{g} 为父层能源系统分析结果, \hat{u} 为父层能源系统分析运算, $\hat{F}(\hat{u})$ 为由 \hat{u} 产生的状态转移操作。

子层能源系统分析与父层能源系统分析的运算模型详见纵向关系模型和横向关系模型。

2.1 纵向关系模型

在这五层智能状态空间中,纵向联结的关系模型包括:自然能源存在状况模型、生活用能状况模型、可再生能源已存在状况模型。下面以生活用能状况模型为例,详细阐述多层智能状况空间模型中纵向关系模型的构建。

生活用能状况主要考虑电力、蜂窝煤、散装煤、木炭、液化气、天然气、秸秆、柴薪、沼气、太阳能、太阳灶等 11 种能源的日常消耗。同时,将这 11 种日常生活能源分两类进行系统分析,即电耗能和热耗能,其中电力属于电耗能源,其余 10 种能源属于热耗能源。运算模型如下:

$$R_{k1} = \left(\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \right) \times n_2 \times co \quad (16)$$

式中, R_{k1} 为电耗能源最底层的系统分析关系, x_i 为电耗能源的调研样本值, n_1 为在某粒度系统中调研的子粒度系统的数目, n_2 为在该粒度系统中实际包含的子粒度系统的数目, co 为电耗能源的标煤转换系数。

$$R_{k2} = \sum_{i=1}^{10} \left[\left(\frac{1}{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} x_{ij} \right) \times n_2 \times co_i \right] \quad (17)$$

式中, R_{k2} 为热耗能源最底层的系统分析关系, x_{ij} 为热耗能源的调研样本值, n_1 为在某粒度系统中调研的子粒度系统的数目, n_2 为在该粒度系统中实际包含的子粒度系统的数目, co_i 为热耗能源 i 的标煤转换系数。

$$R_H = \sum R_L \quad (18)$$

式中, R_L 为较低层的关系模型,即子层关系模型, R_H 为比 R_L 高一层的关系模型,即父层关系模型。

标煤转换系数是用于统一各种生活能源的调研数据单位,如: co , co_i , 不同能源的标煤转换系数不同,研究中所用标煤转换系数详见表 1。

表1 标煤转换系数表

能源标煤转换系数	单位	数值
电力	kgce/kWh	0.404
煤炭	kgce/kg	0.7143
木炭	kgce/kg	1.1616
液化气	kgce/kg	1.7143
天然气	kgce/m ³	1.2143
秸秆	kgce/kg	0.5
薪柴	kgce/kg	0.4282
沼气	kgce/m ³	0.629
太阳能	kgce/MJ	29.3076

2.2 横向关系模型

在系统分析智能状态空间模型中,横向联结的关系模型主要包括:日常能源消耗对比模型和日常总人均能耗对比模型。下面以日常能源消耗对比模型为例,详细阐述多层智能状况空间模型中横向关系模型的构建。

日常各能源消耗对比模型属于独立粒度系统空间的内部模型,如下所示:

$$T = \sum_{i=1}^n S_i \begin{cases} S_i \cap S_j = \phi \\ 1 \leq i \leq 11 \\ 1 \leq j \leq 11 \\ i \neq j \end{cases} \quad (19)$$

式中, T 为某粒度空间的总能源消耗, S_i 为该粒度空间能源 i 的总消耗。

$$R_m = \frac{S_i}{T} = \frac{(\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i) \times n_2 \times c_o}{\sum_{i=1}^n [(\frac{1}{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} x_{ij}) \times n_2 \times c_{o_i}]} \quad (20)$$

式中, R_m 为日常各种能源消耗比例关系。

其他符号的意义同前。

2.3 能源云转换器

在能源信息调研中,既有语言调研数据,又有数值调研数据,因此,系统信息既有主观评价值的模糊性,又有抽样调研值的随机性;而且,数据形式不统一也难以作为下一步的规划提供有效信息。为了解决这些问题,同时使调研结果更加明晰,在研究中设计了能源云转换器,统一数据形式为语言值。

根据“多层智能状态空间建模方法”的智能信息处理方案,设计了能源云转换器以将数值数据转换成语言值,实现数值数据与语言值的综合处理,解决能源信息的不确定性与不确知性,尤其是模糊性与随机性的关联。能源云转换器模型如图3所示。

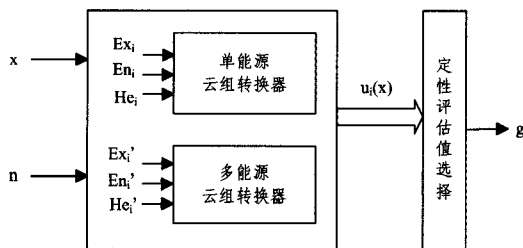


图3 能源云转换器模型图

能源云转换器包含单能源云组和多能源云组,单能源云组用于对电力消耗情况的转换;多能源云组用于对除电力以外其余 10 种能源消耗总和的转换。电力的耗费代表着对电力的需求,即对风力发电和水力发电的需求;其余 10 种能源的耗费属于热耗能源的耗费,代表着对热耗能源的需求,即对太阳能和生物质能的需求。

1.3 小节“智能信息处理方案”中云转换器定义中的参数在能源云转换器中的赋值如表2所列。

表2 能源云转换器参数表

云转换器中定义的参数名称	参数符号	能源云转换器中相应参数的值
转换云组的数目	k	2
一个转换云组包含云的数目	l	5
转换云	C _{ij}	参见式(21)、式(22)
激活参数集合	ψ	{1,2}
语言评价价值	G _e	NULL
语言评价价值的确定度	U _e	NULL

单能源云组设计如下:

$$C_N = \begin{cases} 1, & x \in [0, 4] \\ C(4, 2/3, 0.05), & \text{others} \end{cases}$$

$$C_B = C(7, 8/7, 0.05)$$

$$C_M = C(25, 5, 0.05) \quad (21)$$

$$C_G = C(45, 20/3, 0.05)$$

$$C_{VG} = \begin{cases} C(65, 5, 0.05), & \text{others} \\ 1, & x \in [65, \infty) \end{cases}$$

式中, C_N 为表达语言评估值“无”, C_B 为表达语言评估值“差”, C_M 为表达语言评估值“一般”, C_G 为表达语言评估值“好”, C_{VG} 为表达语言评估值“很好”。

多能源云组设计如下:

$$C'_N = \begin{cases} 1, & x \in [0, 60] \\ C(60, 80/9, 0.05), & \text{others} \end{cases}$$

$$C'_B = C(200, 50, 0.05)$$

$$C'_M = C(400, 50, 0.05) \quad (22)$$

$$C'_G = C(650, 50, 0.05)$$

$$C'_{VG} = \begin{cases} C(850, 50, 0.05), & \text{others} \\ 1, & x \in [850, \infty) \end{cases}$$

式(22)中各参数意义与式(21)相同。

根据研究需要,在能源云转换器中实现的是具体数值向语言值的转换,不包括语言值向具体数值的转换,因此,参数 G_e 和 U_e 为空,在能源云转换器模型图3中也未体现这两个参数。

此外,在研究中规定,参数 n 为 1 时激活单能源云组,为 2 时激活多能源云组。

3 仿真实验与分析

依托“十一五”国家科技支撑重点项目,取某地区的部分研究数据进行实验仿真与分析,其中表3是该地区经过离散分析和纵向递阶运算后得到的各种能源的标煤值;至调研之日,该地区还没有进行风力发电和水力发电的开发项目,因此,在研究数据中风力发电机组容量和水电站装机容量均为 0。

表3 某地区部分农村生活用能数据表(单位:标煤)

电力	33.7	30.1	46.5	49.8	57.8
散装煤	98.2	144.4	173.6	170.2	180.2
蜂窝煤	152.3	126.7	109.4	132.5	181.1
木炭	41.1	11.3	0	0	0
液化气	13.9	10.1	3.2	4.5	8.6
天然气	0	0	0	0	0
秸秆	72.5	93.7	38.3	47.2	29.6
柴薪	80.1	96.6	85.2	126.2	105.3
沼气	50.8	56.2	52.5	59.9	63.2
太阳能	20.3	11.2	10.7	12.3	17.5
太阳灶	32.8	16.2	18.9	13.1	18.7

3.1 模型的求解

将表3中数据代入生活用能状况模型,计算可得电力消耗约为43.58标煤,其他10种日常生活能源总消耗约为558.06标煤。于是,将它们输入能源云转换器。

首先,设 n 为1,激活单能源云组可获知风能和水能的需求用语言评估值表示为G(好),确定度为0.9776(见图4)。

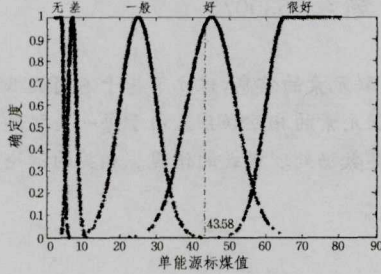


图4 单能源云组图

然后,设 n 为2,激活多能源云组可获知太阳能和生物质的需求用语言评估值表示为G(好),确定度为0.1844(见图5)。

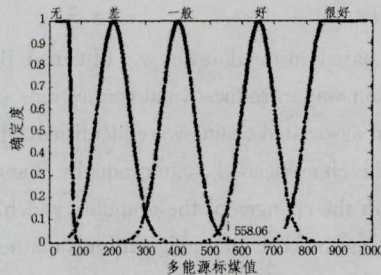


图5 多能源云组图

由粒度空间内部模型——日常各能源消耗对比模型可获知该地区用能结构信息,如图6所示。

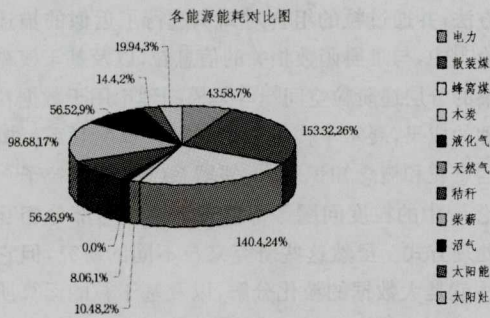


图6 各能源消耗对比图

3.2 仿真平台及实验

基于上述理论研究,继续探讨了“多层智能状态空间模型”的实现技术,研发了“多层智能规划建模仿真平台”。该平台不仅包含多层智能状态空间分解与联合接口组件,以及智能信息处理功能组件等核心组件,而且为了方便完成课题中能源规划以及“多层智能状态空间”建模方法拓展应用的相关实验,特别开发了系统分析、智能预测、优化决策等功能模块。

为了提高仿真平台的普适性以及核心组件在实际开发中的可复用性,我们采用XML实现规划数据的表示,即服务器端接收到数据请求后,调用相应的存储过程将所需规划数据从数据库中提取出来并转换为XML形式的数据文件;采用XSLT实现规划数据的显示与利用,即由XSLT访问XML数据文件,并将相应信息转接程序使用,如在客户端实现数据显

示,则是由XSLT将XML数据文件转换为HTML文件,然后通过客户端显示出来。仿真平台采用B/S体系结构,其开发平台采用Visual Studio 2005,开发语言采用c#,并结合调用了MATLAB的相关功能,后台采用SQL Server 2005数据库,从数据库到客户端数据的承载载体是XML和HTML,最终数据以HTML格式在客户端显示出来。“多层智能规划建模仿真平台”界面如图7所示。



图7 多层智能规划建模仿真平台主界面图

目前针对具有我国行政区域多级管理特点的系统问题,“多层状态空间建模方法”具有很强的适用性。为了验证“多层智能状态空间建模方法”的有效性,本文将其与“多层状态空间建模方法”进行了对比实验。“多层状态空间建模方法”自身不具有处理系统信息的不确定与不确定功能,多数研究是采用模糊理论辅助完成。实验在表3数据的基础上进行,“多层状态空间建模方法”中电力需求为“好”的上界值设置为 $\bar{x} + \frac{MAX - \bar{x}}{n}$, 实验中取 $n=5$, \bar{x} 为调研样本均值,MAX为调研样本最大值;“多层智能状态空间建模方法”中智能信息处理方案的设置参见2.3小节。实验结果如表4所列。

表4 模型对比分析实验表

实验数据(电力消耗单位标煤)	44	45.8	46.4	46.5	47
多层状态空间模型分析等级	好	好	好	非常好	非常好
多层智能状态空间模型分析等级	好	好	好	好	好

从表4可见,模糊理论在处理信息不确定问题上,区间临界值的选取依赖算法设定者的经验,而且当研究数据接近区间临界值时,往往结果误差较大。实验结果表明,“多层智能状态空间建模方法”确实在“多层状态空间建模方法”的基础上,有效处理了系统信息的不确定性和不确定性。

结束语 本文探讨并发展了“多层状态空间”建模方法研究,构建了“多层智能状态空间”建模方法,并依托国家十一五规划课题“农村新能源开发利用规划应用研究”(2006BAJ04B07-2),采用课题中能源调研的部分数据实现了“农村用能多层系统分析模型”,并进行了模型的求解;设计了仿真平台,完成了“多层状态空间”建模方法与“多层智能状态空间”建模方法的对比实验,最终验证了“多层智能状态空间”建模方法的合理性和有效性。

参考文献

- [1] 吴爱燕,曾广平,涂序彦. 多云建模方法的研究及其应用[J]. 计算机科学,2012,39(1):162-166

(下转第285页)



图4 对 Barbara 图像去噪的局部结果



图5 对 Truck 图像去噪的局部结果

结束语 WT 是沿图像的水平垂直两个方向分别独立地进行数目相等的 1D-WT, 导致 WT 的方向性不足, 基是各向同性的。SAWT 是建立在整数格上的各向异性小波变换, 是 WT 的多方向扩展, 它的基是各向异性的, 保持了 WT 复杂度低和设计简单的优点。但是 SAWT 破坏了 WT 的分辨率尺度关系。从实验中也可看到 SAWT 对图像中的平滑区域的表示能力尚不及 WT。本文应用 WT 和 SAWT 构造了 WT-SAWT, 不仅保持了图像的多分辨率尺度关系和 WT 复杂度低、设计简单的优点, 还弥补了 SAWT 的缺点。使用 WT-SAWT 对图像进行去噪实验的结果表明, 所提出的方法提高了图像的 PSNR 值和 SSIM 值, 能很好地处理图像中的平滑区域和纹理、边缘等细节信息, 且能在 SAWT 表现不好的时候仍旧得到较好的结果, 验证了 WT-SAWT 的有效性。

参考文献

[1] 刘哲. 基于非下采样轮廓小波变换的图像去噪[J]. 光电子·激光, 2009, 20(7): 954-958

[2] Candès E J. Ridgelets: Theory and Applications [D]. USA: Department of Statistics, Stanford University, 1998

[3] Candès E J, Donoho D L. Curvelets and curvilinear integrals [R]. Department of Statistics, Stanford University, Stanford, CA, 1999

[4] Candès E J, Donoho D L. Curvelets; a surprisingly effective non-adaptive representation for objects with edges [D]. Saint-Malo: Vanderbilt University Press, 1999

[5] Do M N, Vetterli M. Contourlets [A] // Stoeckler J, Welland G V, eds., Beyond Wavelets [C]. Academic Press, 2002: 1-27

[6] Do M N, Vetterli M. The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation [J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2005, 14(12): 2091-2106

[7] Velisavljevic V, Beferull-Lozano B, Vetterli M, et al. Directionlets; Anisotropic multidirectional representation with separable filtering [J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2006, 25(7): 1916-1933

[8] Velisavljevic V, Dragotti P L, Vetterli M. Directional wavelet transforms and frames [C] // IEEE international conference on image processing (ICIP). Rochester: IEEE Press, 2002, 3: 589-592

[9] 闫敬文, 屈小波. 超小波分析及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008

[10] 焦李成, 侯彪, 王爽, 等. 图像多尺度几何分析理论与应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008

[11] 林玉池, 刘启海, 陶力, 等. 一种基于 Directionlet 变换的图像融合算法 [J]. 纳米技术与精密工程, 2010, 8(6): 565-568

[12] Reji A P, Thomas T. A Learning Based Single Image Super Resolution Method Using Directionlets [C] // 2010 International Conference on Advances in Computer Engineering, 2010: 69-73

[13] 王贞俭, 曲长文. 方向小波域的选择性阈值 SAR 图像去噪 [J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(1): 65-70

[14] Ma Ning, Zhou Ze-ming, Zhang Peng, et al. SAR Image Despeckling using Directionlet Transform and Gaussian Scale Mixtures Model [C] // 2010 2nd International Conference on Future Computer and Communication, 2010, 2: 636-640

[15] Hou B, Guan H, Jiang J G, et al. SAR Image Despeckling Based on Improved Directionlet Domain Gaussian Mixtures Model [C] // Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2011 IEEE International, 2011: 3795-3798

[16] Eslami R, Radha H. Wavelet based contourlet transform and its application to image coding [C] // 2004 International Conference on Image Processing (ICIP), 2004, 5: 3189-3192

[17] 徐华楠, 刘哲, 刘灿. 多孔小波和非下采样滤波器组去除遥感图像的多种噪声 [J]. 上海交通大学学报, 2012, 46(2): 233-238

[18] Velisavljevic V, Beferull-Lozano B, Vetterli M. Space-Frequency Quantization for Image Compression With Directionlets [J]. IEEE Transactions on image processing, 2007, 16(7): 1761-1773

[19] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Simoncelli. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612

[20] <http://www.cns.nyu.edu/lcv/ssim/>

[21] 王贞俭, 曲长文. Directionlet: 一种新的多尺度几何分析方法 [J]. 海军航空工程学院学报, 2007, 22(2): 233-236

(上接第 257 页)

[2] 张玉存, 邢婷婷. 一种复杂系统多源信息分析建模新方法 [J]. 电子学报, 2009, 37(11): 2427-2431

[3] Sen Zen-kai. Rapid visual earthquake hazard evaluation of existing buildings by fuzzy logic modeling [J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(8): 5653-5660

[4] Ajayi A O, Aderounmu G A. An adaptive fuzzy information retrieval model to improve response time perceived by e-commerce clients [J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(1): 82-91

[5] Azimirad E, Pariz N. A novel fuzzy model and control of single intersection at urban traffic network [J]. IEEE Systems Jour-

nal, 2010, 4(1): 107-110

[6] Mokeev A V. Description of the digital filter by the state space method [C] // 2009 International Siberian Conference on Control and Communications, 2009: 128-132

[7] 刘政怡, 吴建国, 李炜. 基于整句输入法的状态空间模型 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(30): 153-156

[8] 涂序彦, 王枫, 郭慧. 大系统控制论 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2005: 5-6

[9] 李德毅. 网络时代人工智能研究与发展 [J]. 智能系统学报, 2009, 4(1): 1-6

[10] 李德毅, 杜鹤. 不确定性人工智能 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005