

基于粗糙集理论的室内环境模糊评价方法

沈阳工业大学 周 勃[☆] 费朝阳 兰信颖
北京建工总机电设备安装工程有限公司 刘绍宇

摘要 引入室内空气质量和噪声,结合温度、相对湿度、风速和平均辐射温度作为室内环境综合评价参数。应用粗糙集理论约简不必要的属性,建立了评价模型,确定了权重系数。在此模型基础上进行模糊变换计算出评价集。这种评价方法以居住者对建筑环境的评价值来衡量居住环境的舒适性,无需专家参与。

关键词 室内环境 粗糙集 模糊变换 空气质量 噪声 评价方法

Fuzzy evaluation method of indoor environment based on rough set theory

By Zhou Bo[★], Fei Chaoyang, Lan Xinying and Liu Shaoyu

Abstract Introduces indoor air quality and noise level as integrated parameters along with air temperature, relative humidity, air velocity and mean radiant temperature. Establishes an evaluation model for determining the weight coefficients of different condition attributes based on the rough set theory, and obtains the evaluation set by fuzzy transforming. It is an evaluation method from the respect of residents rather than specialists.

Keywords indoor environment, rough set, fuzzy transforming, air quality, noise, evaluation method

★ Shenyang University of Technology, Shenyang, China

①

0 引言

舒适的室内环境一直是人们追求的目标。但在室内环境日益改善的同时,空调能耗占总建筑能耗的比例已增加到 50%~60%^[1],其中一个主要原因就是人们对室内环境的可接受程度没有一个量化的评价指标,致使设计者和运行管理者对建筑物缺乏宏观认识,因此在建筑物投入运行之后无法了解室内环境的具体状况,不可避免地造成能源的浪费和环境的不适。

目前常用的室内环境评判指标有温度、有效温度(ET)、PMV-PPD 指标等^[2-4]。但是影响室内环境的因素很多,如热因素、视听因素、空气质量等,再加上评价者的主观因素,使得评价信息出现不完全、不精确的情况。传统的评价方法存在很多问题,例如将人体的生理反应过度简化,且都是在

一定的实验工况下得出的结果,不具有通用性。

本文应用粗糙集理论约简不必要的属性,直接从记录中提取知识而无需专家参与,确定权重系数的过程克服了主观性评价造成的不客观性。引入模糊集描述主观意见,引入室内空气质量和噪声作为室内环境可接受性评价参数,从而更加客观、全面、准确地评价建筑物的室内环境,为空调系统的设计和运行管理提供参考依据。

①[☆] 周勃,女,1976年9月生,在读博士研究生,讲师
110023 沈阳工业大学建筑工程学院建筑环境与设备工程教研室
(024) 25694941 (0) 13322443625
E-mail: liguodapple@sina.com
收稿日期:2005-12-02
一次修回:2006-02-07
二次修回:2006-03-06

1 模糊和粗糙集基本理论

模糊理论在我国已发展了 20 多年,它是处理那些由诸多不确定因素引起的模糊事件的有力工具。粗糙集理论是一种新的处理模糊和不确定知识的数学工具^[5],其主要思想就是在保持分类能力不变的前提下,推导出问题的决策或分类规则^[6],挖掘隐含知识和潜在规律而无需专家参与,从而克服了神经网络将知识隐含于连接权的弊端。目前,粗糙集理论已被成功地应用于机器学习、决策分析、过程控制、模式识别与数据挖掘等领域。

如前所述,影响室内环境的因素很多,使得模糊推理规则总数随着输入个数的增加呈几何级数增加,所以笔者引入粗糙集理论,利用其对不可分辨关系属性约简的特性,提高评价的速度和准确度。

1.1 模糊关系和模糊变换

假设 X 为非空有限论域, A 是 X 中的一个模糊子集,若 $X \in [0, 1]$, 对于 $x \in X$, $\mu_A(x)$ 表示元素 x 隶属于模糊集合的程度,此时 A 的外延出现了隶属程度从 0 到 1 的模糊性。一般地,模糊集合 A 可以表示为^[7]

$$A = \{(x, \mu_A(x)) : x \in X\} \quad (1)$$

若有 X 和 Y 两个论域, R 是 $X \times Y$ 上的一个模糊集,则 R 称为从 X 到 Y 的关系。本文设输入参数为模糊集 A , 经过模糊变换后输出对环境的评价集 B , 如图 1 所示。

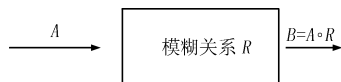


图 1 模糊变换示意图

由图 1 可以看出,输入 A 和模糊关系 R 就能确定模糊输出 B 。此模糊映射的数学模型表示为

$$B = [a_1, a_2, \dots, a_n] \begin{bmatrix} r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1k} \\ r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2k} \\ \vdots \\ r_{n1}, r_{n2}, \dots, r_{nk} \end{bmatrix} \quad (2)$$

1.2 粗糙集的属性约简

对于一个知识库 $K = (U, A)$, $A = C \cup D$, $C \cap D = \emptyset$, C 为条件属性集, D 为决策属性集。若 $X \subseteq U$, R 为 U 上的等价关系, 则有 X 的 R 上近似集和下近似集分别为^[8]

$$\underline{R}(X) = \bigcup \{Y \in U/R \mid Y \cap X \neq \emptyset\} \quad (3)$$

$$\overline{R}(X) = \bigcup \{Y \in U/R \mid Y \subseteq X\} \quad (4)$$

定义集合: $\text{pos}_R(X) = \underline{R}X$ 为 X 的 R 正域, 表示根据知识 R 肯定属于 X 的 U 中的元素集合, $\text{neg}_R(X) = U - \overline{R}X$ 为 X 的 R 负域, 表示根据知识 R 判断肯定不属于 X 的 U 中的元素集合。

决策时在保持不可分辨性和集合近似的条件下求极小属性子集的操作称为属性的约简, 即当知识库中的知识(属性)不同等重要时, 去除某些冗余和重复信息, 公式为^[9]

$$\text{pos}_C(D) = \text{pos}_{C-\{c\}}(D) \quad (5)$$

若条件属性之一的集合 $\{c\}$ 是 C 中对于 D 决策集不必要的属性集, 其余的条件属性则称为 C 的核。定义 $\gamma_C(D)$ 为 D 对 C 的依赖度^[10]:

$$\gamma_C(D) = \frac{|\text{pos}_C(D)|}{|U|} \quad (6)$$

由式(6)可知条件属性和决策属性之间的依赖程度。通过式(3)~(6)可从各种影响室内环境舒适性的因素集 C 中得到评价 D 的规则。最后, 某个条件属性的权重系数确定为

$$\alpha_i = \frac{\gamma_i}{\sum \gamma_i} \quad (7)$$

2 实际算例

常见的室内环境舒适性主观评价仅仅考虑热舒适性的影响因素, 包括空气温度、相对湿度、平均辐射温度和气流速度。本文旨在全面客观地评价室内整体环境的可接受度, 因此引入噪声和空气质量作为评价因素。

2.1 室内环境评价表

将室内的温度、相对湿度、风速和平均辐射温度、噪声、空气质量状况分别记作条件属性 $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6\}$, 评价室内环境可接受性为 D 集合, 集合元素都分别用 1, 2, 3, 4, 5 表示模糊语言很好、好、一般、差、很差的评价状态。

随机抽取某写字楼的 20 个独立用户, 调查采取问卷形式。测试条件如下: 建筑采用半集中式空调系统, 室温为 26°C , 相对湿度为 65%, 风速为 0.15 m/s , 平均辐射温度为 25°C , A 声级噪声为 42 dB, 空气中 CO_2 平均体积分数为 $1\,500 \times 10^{-6}$ 。室内环境的评价表见表 1。为比较评价结果和 PMV 值, 还记录了人体活动代谢率, 为 45 W/m^2 , 衣服热阻平均为 0.5 clo ($1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$)。

表 1 室内环境评价表

U	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	D
e1	2	4	3	3	2	3	2
e2	1	3	2	1	3	3	3
e3	4	2	4	3	2	4	4
e4	3	1	1	2	2	5	3
e5	1	2	3	3	1	2	1
e6	2	4	3	2	2	3	3
e7	2	3	4	2	4	5	4
e8	2	1	1	2	2	5	4
e9	3	3	4	2	4	5	4
e10	2	2	3	3	3	5	4
e11	2	4	3	2	2	3	3
e12	1	2	3	3	2	2	2
e13	1	4	3	3	2	3	3
e14	1	2	3	3	1	2	1
e15	1	3	4	2	4	5	3
e16	1	1	2	1	3	3	1
e17	1	3	2	1	3	3	3
e18	4	2	4	3	2	4	4
e19	3	3	4	2	4	5	4
e20	2	2	3	3	3	4	3

注: U 为全体测试对象的集合, $e_i (i=1\sim 20)$ 为测试对象。

2.2 粗糙集模型的算法

由上可知,粗糙计算的关键是求正域,因此设计有效的算法十分重要。设信息系统 (U, A) , 令 $U = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$, $R \subseteq U$, 则 R 关于 U 的下近似集 $\underline{R}$ 的算法如下:

Step 1 [Initialize] Set $1 \rightarrow j, \emptyset \rightarrow \underline{R}$
 Step 2 [Is $V_j \subseteq W$?] If $V_j \subseteq W$, then $\underline{R} \cup V_j \rightarrow \underline{R}$, otherwise, goto Step 3 to check the next V_j
 Step 3 [Is $j=n$?] If $j=n$, then the algorithm is completed, otherwise, goto Step 4 to check the next V_j

Step 4 [Increase j] Set $j+1 \rightarrow j$, goto Step 2
 R 关于 U 的上近似集 $\overline{R}$ 的算法如下:

Step 1 [Initialize] Set $1 \rightarrow j, \emptyset \rightarrow \overline{R}$
 Step 2 [Is $V_j \cap W \neq \emptyset$?] If $V_j \cap W \neq \emptyset$, then $\overline{R} \cup V_j \rightarrow \overline{R}$, otherwise, goto Step 3 to check the next V_j
 Step 3 [Is $j=n$?] If $j=n$, then the algorithm is completed, otherwise, goto Step 4 to check the next V_j

Step 4 [Increase j] Set $j+1 \rightarrow j$, goto Step 2

通过上述语句可以编程求得关于 U 的属性集的上下近似集,进而得到正域和属性约简后的正域,并由此判断出冗余属性。

2.3 模糊计算结果

根据表 1 首先进行横向约简,可知对象 e11, e17 和 e19 分别与对象 e6, e2 和 e9 相同,于是对象总量从 20 减少为 17。根据式(3)~(6)编程计算后发现,去掉属性 C_3 后的正域与原正域相同,因此可将此属性去掉。最后得到六个条件属性对于室内环境可接受性评价评价集的依赖度,如表 2 所示。

表 2 条件属性的依赖度

	条件属性				
	C_1	C_2	C_4	C_5	C_6
属性依赖度	7/17	1/17	2/17	3/17	2/17

根据式(7)将表 2 归一化后,条件属性的权重系数为(0.47, 0.07, 0.13, 0.20, 0.13)。这说明风速对室内环境的影响被忽略掉了,人们主观评价最重要的因素是室内温度,其次是噪声、室内空气质量和平均辐射温度,当其他属性参数相同时,相对湿度对评价结果的作用力最小。根据式(2),应用统计结果得到模糊关系 R ,最后得到模糊评价集合 B ,为

$$B = \begin{bmatrix} 0.47 \\ 0.07 \\ 0.13 \\ 0.20 \\ 0.13 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} 0.40 & 0.35 & 0.15 & 0.10 & 0.00 \\ 0.15 & 0.35 & 0.30 & 0.20 & 0.00 \\ 0.15 & 0.40 & 0.45 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.45 & 0.25 & 0.20 & 0.00 \\ 0.00 & 0.15 & 0.35 & 0.15 & 0.35 \end{bmatrix} = [0.40 \quad 0.35 \quad 0.20 \quad 0.20 \quad 0.13]$$

最后的评价结果为

$$b = \max(b_j) \quad j = 1, 2, \dots, 5$$

上述计算表明,评价集“很好”的评价值影响力最大,说明此写字楼的室内环境很好,无需进行室内调节。当然如果只需达到一般的环境状况,还可以采取降低能耗的措施,如提高室内温度,从而达到节能的效果。只要将人们的评价输入到程序中,就能检测出室内环境可接受性评价价值。

Fanger 热舒适方程是迄今为止应用最广泛的描述模型,预测平均热反应的 PMV 值是国际上公认的室内热舒适度评价指标,其表达式见文献[11]。根据上述测试条件计算 PMV 值为 0.186,完全满足 $-0.5 \sim +0.5$ 的舒适范围,与此评价模型计算的结果一致。

3 结论

3.1 扩充了评价影响室内环境可接受性的参数,即室内的温度、相对湿度、风速和平均辐射温度、噪

声、空气质量,它们的权重系数分别为 0.47,0.07,0.0,0.13,0.20,0.13,室内温度的影响最大,相对湿度对评价结果的影响最小,人们对整体室内环境是接受的。

3.2 约简了风速这一属性是因为测试地采用的风机盘管的静压为 30 Pa,出口风速相当小,因此人们并不关心风速的大小;同时相对空气质量而言,噪声对评价结果的影响更为重要,这可能与建筑物的使用功能(办公)有关。因此,同样的建筑物,若使用功能不同或安装不同的空调设备或系统,评价体系也应该不同,不能用某一个不变的指标来评价室内环境状况。

3.3 一般的评价标准往往规定了个别参数的范围,但是人们对环境的各评价参数不应是彼此孤立的,它们是互有关联的复杂集合,因此按照孤立系统指标所创造的室内环境可能会超过人们对环境的真正需求,造成了极大的能源浪费。本文给出的评价方法克服了某些硬性规定的缺陷,以居住者对建筑环境的评价值来衡量居住环境的舒适性,知识直接从记录提取而非专家参与。

3.4 在粗糙集评价体系中,数据可随时间动态变化,而且更新原知识库很方便,适用于在建筑设备运行管理中参数不断变化的情况。

3.5 应用粗糙集理论,即使在信息不完备的状态下仍能得到一定的推理规则,得到最终评价结果,

因此尽管室内评价参数日益增多且关系不确切,本文评价方法仍然适用。

参考文献

- [1] 薛志峰,江亿.商业建筑的空调系统能耗指标分析[J].暖通空调,2005,35(1):37-41
- [2] 连之伟,冯海燕.空调房间热环境模糊综合评判[J].暖通空调,2001,31(5):15-18
- [3] 胡平放,邹春,沈文心,等.大型商场室内环境舒适性主观评价结果分析[J].通风除尘,1998(2):36-40
- [4] 涂光备,王晓杰.人工神经网络在热舒适实验研究中的应用[J].天津大学学报,2004,37(4):331-335
- [5] 付蓉.基于随机模糊集的粗糙集模型[J].四川师范大学学报,2005,28(1):27-30
- [6] 张文修,吴伟志,梁吉业,等.粗糙集理论与方法[M].北京:科学出版社,2001
- [7] Zadeh L A.模糊集与模糊信息粒理论[M].阮达,黄崇福,编译.北京:北京师范大学出版社,2000
- [8] Pawlak Z. Rough sets and intelligent data analysis[J]. Information Sciences,2002,147(124):1-12
- [9] Chakrabarty K, Biswas R, Nanda S. Fuzziness in rough sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000(110): 247-251
- [10] 雷绍兰,孙才新,张晓星,等.电力负荷的模糊粗糙集预测方法研究[J].高电压技术,2004,30(9):58-61
- [11] ISO 7730 Moderate thermal environment—determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort[S], 1984

· 简讯 ·

第 2 届清华大学建筑节能学术周召开

第 2 届“清华大学建筑节能学术周”于 2006 年 3 月 16~17 日在清华大学建筑学院举行。清华大学建筑节能学术周由中国工程院主办,旨在增进学术界、企业和政府关于建筑节能的研究成果交流,展示和宣传各种建筑节能最新技术。本届学术周由清华大学建筑节能研究中心、美国宾夕法尼亚大学(UPenn)建筑学院联合承办。学术周开幕式由清华大学建筑学院江亿院士主持,建筑学院院长朱文一教授与宾夕法尼亚大学建筑学院院长 Gary Hack 教授分别致辞。

学术周期间,宾夕法尼亚大学的 Ali Malkawi 教授,普渡大学的陈清焰教授,清华大学的江亿院士、朱颖心教授、李先庭教授、杨旭东教授,华南理工大学的孟庆林教授以及北京建筑设计研究院的万水娥高工等分别作了精彩的学术报告,介绍了包括 DeST 等模拟技术和软件工具在辅助绿色节能建筑设计、建筑环境性能模拟优化等方面的研究和应用,以及模拟技术可视化、虚拟现实+CFD、遗传算法与 CFD 结合优化设计等学术界的最新进展。来自北京、上海、天津、深圳、重庆、西安、哈尔滨和大连等地的院校、设计

院和相关企业的代表共 100 多人参加了本届学术周,并在讨论会后参观了清华大学超低能耗示范楼。

(本刊特约通讯员 林波荣)

· 会讯 ·

北京土建学会暖通空调专业委员会学术报告会召开

为了配合北京市《居住建筑节能设计标准》2006 年修编版(已完成报批稿,修编版中将燃气锅炉供热供暖系统作为重点,新增了许多条文)的实施的和锅炉煤改气工作的开展,北京土建学会暖通空调专业委员会组织的学术报告会于 2006 年 3 月 23 日上午在北京建筑工程学院召开。会议由北京市建筑设计研究院总工曹越主持,中法能源培训中心对天然气性质、燃烧器种类、燃气锅炉种类进行了介绍,天津布德鲁斯热力技术有限公司结合该公司锅炉的特点介绍了燃气锅炉的配置、功能和与锅炉相适应的各种热源及其控制系统。

(本 刊)