

基于自然语言的模糊多属性云决策方法研究

吴爱燕^{1,2} 于重重^{1,3} 曾广平¹ 涂序彦¹

(北京科技大学信息工程学院 北京 100083)¹ (石家庄学院计算机系 石家庄 050035)²

(北京工商大学计算机与信息工程学院 北京 102488)³

摘 要 借鉴云模型的研究思想,提出了基于自然语言的模糊多属性云决策方法,主要工作如下:首先,针对多属性群决策的属性评估集和等级评估集设计了等级描述云和等级评价云;然后,在此基础上设计了云归一化算法,实现了一个属性多个专家值的融合;最后,设计了云集结算法,该算法将多个属性值集结为一个方案值,进而比较获得最佳方案。云模型能够反映模糊性和随机性的关联,因此,该方法能够更加有效地权衡语言评价信息。最后,通过应用案例证明了该方法的简单性和可行性。

关键词 云模型,多属性决策,语言评价

中图法分类号 TP301.6 **文献标识码** A

Study on the Approach of Fuzzy Multiattribute Cloud Decision Based on Natural Language

WU Ai-yan^{1,2} YU Chong-chong^{1,3} ZENG Guang-ping¹ TU Xu-yan¹

(School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)¹

(Department of Computer, Shijiazhuang University, Shijiazhuang 050035, China)²

(School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 102488, China)³

Abstract The paper used cloud model, and proposed a natural language-based fuzzy multiattribute cloud decision method. It includes mainly several parts as follows. First, the described rank cloud and the evaluated rank cloud respectively were presented to measure attribute rank and rank certainty degree. On the basis, cloud normalizing algorithm was presented to fuse several values of an attribute given by experts. Then, cloud aggregation algorithm was presented to integrate different attribute information and get every alternative value, and the most desirable alternative was selected according to their values. Cloud model can express the relationship between randomness and fuzziness, so the method is more effective to measure linguistic assessment information. Finally, a example with linguistic assessment information shows that the method is simple and feasible.

Keywords Cloud model, Multiattribute decision, Linguistic assessment information

在自然界和人类社会中,许多现象存在着不确定性,主要表现为随机性和模糊性。研究自然及人文复杂现象,为决策、管理提供依据,就得不可避免地探讨不确定性问题的解决方法。近几十年来不确定性问题的研究取得了许多瞩目的成果,随机性问题的解决一般采用概率理论及方法,模糊性问题的解决一般采用模糊理论及方法^[1,2]。事实上,现实世界中的许多现象是复杂的、难以量化的,它们不仅仅存在随机性或是模糊性,更多的情况下随机性和模糊性是并存的。也正因为如此,人们在评判某一现象或事物时更喜欢用“优”、“良”、“可”、“差”等自然语言,基于自然语言的决策研究已成为复杂现象模糊多属性决策的重要研究内容^[3,4],而如何实现自然语言的量化则是该方面研究的核心问题。对此,学者们先后提出了三角模糊数型、梯形语言变量、灰色理想解法、二元语

义等多属性决策方法,以解决自然语言信息的量化问题,完成最终的决策^[5-9]。但是,基于自然语言的决策不但存在着人为主观认识造成的模糊性,而且被考察现象本身存在客观随机性,因此,如何更好地解决自然语言的量化问题,以更大限度地在量化过程中体现存在的模糊性和随机性是目前自然语言决策研究的难点及重点。文章在借鉴前人研究经验的基础上,探讨了云模型的研究成果,综合考虑了复杂现象模糊性和随机性共存的情况,提出了基于自然语言的模糊多属性云决策方法。

1 研究背景

1.1 云模型的相关理论

云模型是李德毅院士提出的一种能够实现定性概念与定

到稿日期:2009-12-02 返修日期:2010-02-21 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,博士生,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;于重重(1971—),女,博士生,副教授,主要研究方向为智能信息处理等;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。

量数据相互转换的模型。模型中,云是由众多没有次序性的云滴组成的,而云滴是定义在一个由精确数值表示的定量论域上的元素,这个元素是该论域定性概念的一次概率意义下的随机实现,同时,它对该论域上的这一定性概念的确定度是一个有稳定倾向的随机数,取值于闭区间 $[0,1]$ 上。云滴的确定度反映了模糊性,同时云滴的确定度本身就是一个随机数,因此,它既是模糊集意义下的隶属度,又可以用概率意义下的分布表示,体现了模糊性与随机性的关联。云滴在该定量论域上的分布就称为云^[10-12]。

云用 3 个数字特征表达一个概念,即期望 Ex , 熵 En , 超熵 He , 其中,期望 Ex 是云滴在论域空间分布的期望,熵 En 是定性概念的不确定度量,超熵 He 是度量熵的不确定性^[11-13]。正态云模型是云模型中最重要的一种,其定义如下。

定义 1 设 U 是一个用精确数值表示的定量论域, C 是 U 上的定性概念,若定量值 $x \in U$, 且 x 是定性概念 C 的一次随机实现,同时 x 满足: $x \sim N(Ex, En^2)$, 其中, $En' \sim N(En, He^2)$, 且 x 对 C 的确定度满足

$$\mu = e^{-\frac{(x-Ex)^2}{2(En)^2}} \quad (1)$$

则 x 在论域 U 上的分布称为正态云^[11]。

1.2 研究问题的提出及数学描述

针对某一复杂现象进行分析决策,考虑该现象的多个属性,由多名专家针对各个属性给出分析值,得到候选决策方案集,然后筛选出最优决策方案,即多属性群决策问题。设某一研究现象候选方案集 $S, S = \{s_1, s_2, \dots, s_t\}, t \geq 2, s_k$ 表示第 k 个决策方案, $1 \leq k \leq t$; 每个决策方案由 n 个属性来评价,其属性集表示为 $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}, n \geq 2, a_i$ 表示第 i 个属性, $1 \leq i \leq n$; 有 m 个专家对其进行评价,专家集表示为 $\{e_1, e_2, \dots, e_m\}, e_j$ 表示第 j 个专家, $1 \leq j \leq m$; 用多个自然语言划分的等级描述属性,其属性评估标准集 R 表示为 $\{r_0, r_1, \dots, r_x\}, r_p$ 表示第 p 个语言等级, $0 \leq p \leq x$, 且 $r_{p-1} > r_p$; 再用多个自然语言表示属性等级描述的确定程度,其等级评估集表示为 $\{d_0, d_1, \dots, d_y\}, d_q$ 表示第 q 个确定等级, $0 \leq q \leq y$, 且 $d_{q-1} > d_q$ 。

专家 e_j 从等级描述语言集 R 中选择一语言值 r_p 作为方案 s_k 中属性 a_i 的描述,记为 U_{kij} , 其中, $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m, 1 \leq k \leq t$, 选择 d_q 作为属性 a_i 的语言评价值 r_p 的确定度描述,相应记为 W_{kij} , 二维矩阵 U_k 是所有专家对第 k 个方案的属性评估矩阵, W_k 是所有专家对 U_k 中各评价元素确定度的描述矩阵,即等级评估矩阵,显然 U_k 和 W_k 均是二维矩阵。

2 方法的综述

本文所提出的方法主要包括 4 个步骤:

1) 根据实际的研究问题,提出等级描述云(The Described Rank Cloud)和等级评估云(The Evaluated Rank Cloud),在这个云模块里实现语言信息矩阵(Linguistic Information Matrixes)转换为定量数值矩阵。

2) 云归一化运算(Cloud Normalizing Algorithm),每个专家将对每个属性进行评价,因此一个属性将有多个专家评价,通过云归一化运算可以将属性的多个值融合为一个属性值,最终归一化的结果是一个属性一个值和这个属性值的评价确定度。

3) 云集结运算(Cloud Aggregation Algorithm),通过云集结运算可以把不同的属性值在等级描述云的各个定性概念上合成一个方案值,并可求得这个方案值在该定性概念上的确

定度,最终最大确定度对应的方案值为该方案的评价值,因此云集结运算最后的结果是一个方案一个值和这个方案评价值的确定度。

4) 排序运算(Sort Operation),通过排序运算可求得最优方案。

以上步骤如图 1 所示。

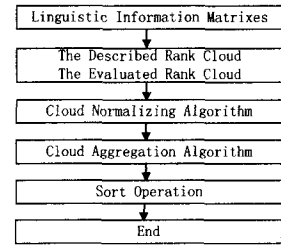


图 1 方法流程图

3 方法的详细描述

1) 等级云的描述

等级云包括等级描述云和等级评估云。首先,根据等级描述语言集 R 及具体研究问题,用云的 3 个数字特征定义 n 个定性概念,等级描述云描述如下: $C_i = (Ex_i, En_i, He_i), 1 \leq i \leq n$; 其次,根据确定等级语言集 D 及具体研究问题,用云的 3 个数字特征定义 m 个定性概念,等级评价云描述如下: $C'_i = (Ex'_i, En'_i, He'_i), 1 \leq i \leq m$; 然后,由等级描述云和等级评价云实现 U_{kij} 和 W_{kij} 从定性评价转换为定量值,参见式(2)、式(3)。

$$U_{ij}^k \rightarrow Ex_i \rightarrow E_j^k \quad (2)$$

$$W_{ij}^k \rightarrow Ex'_i \rightarrow E'_j \quad (3)$$

2) 云归一化算法描述

针对同一属性项进行云归一化运算,将矩阵 U_k 各行的多个评价归一为每行一个评价(见式(4)),云归一化算法见式(5),二维矩阵 U_k 归一化得一维矩阵 U_k' , U_k' 的每个元素在等级描述云的每个定性概念上都有一个确定度,因此 U_k' 的每个元素都有 n 个确定度 u_k^k 。

$$\{U_{1i}^k, U_{2i}^k, \dots, U_{mi}^k\} \rightarrow \{E_1^k, E_2^k, \dots, E_m^k\} \rightarrow \{U_i^k\} \quad (4)$$

$$U_i^k = \frac{\sum_{j=1}^m E_j^k \times E'_j}{\sum_{j=1}^m E_j^k} \quad (5)$$

3) 云集结算法描述

通过云集结算法, U_k' 的每个元素在等级描述云的每个定性概念上都被整合成一个确切的数值(见式(6)),于是每个方案都将有 n 个方案值,而每个方案值都对应着等级描述云的一个定性概念。每个方案值在相应定性概念上的确定度的求取见式(1)。最后确定度最大的那个方案值就是该方案的评价值,同时根据该方案值可以得到其评价等级,见式(7)~式(9)。

$$S_j^k = \frac{\sum_{i=1}^n U_i^k \times u_{ij}^k}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^k} \quad j \in R \quad (6)$$

$$\{S_j^k | j \in R\} \rightarrow \{u_j^k | j \in R\} \quad (7)$$

$$u' = \max\{u_j^k | j \in R\} \quad (8)$$

$$u' \rightarrow r^k \in \{r_i | 0 \leq i \leq 4\} \quad (9)$$

4) 排序运算

不同等级方案中,等级高的为优选方案;同一等级方案中

隶属度高的为优选方案。

4 应用案例

以国家科技支持计划课题：“农村新能源开发与节能关键技术研究”为背景，假设针对某地区情况有3种可再生能源开发候选方案： s_1 — s_3 （水能开发方案、风能开发方案、太阳能开发方案），考虑4个评价属性： a_1 — a_4 （待开发情况、需求情况、地方经济情况、政策支持情况），属性评估标准集 R 表示为 $\{r_0 = VG(\text{非常好}), r_1 = G(\text{好}), r_2 = M(\text{一般}), r_3 = B(\text{差}), r_4 = VB(\text{非常差})\}$ ，等级评估集表示为 $\{r_0 = VH(\text{很高}), r_1 = H(\text{高}), r_2 = M(\text{一般}), r_3 = L(\text{低}), r_4 = VL(\text{很低})\}$ ，由三位专家 $e_1 - e_3$ 进行评估，所得属性评估矩阵和等级评估矩阵如下：

$$\begin{aligned}
 U^{s_1} &= \begin{matrix} & e_1 & e_2 & e_3 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} VG & G & G \\ G & M & G \\ M & B & M \\ B & VB & B \end{bmatrix} \end{matrix} & W^{s_1} &= \begin{matrix} & e_1 & e_2 & e_3 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} M & VH & H \\ VH & H & M \\ VH & H & H \\ M & VL & L \end{bmatrix} \end{matrix} \\
 U^{s_2} &= \begin{matrix} & e_1 & e_2 & e_3 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} G & G & M \\ G & M & B \\ G & M & M \\ M & G & B \end{bmatrix} \end{matrix} & W^{s_2} &= \begin{matrix} & e_1 & e_2 & e_3 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} VH & H & H \\ M & L & VL \\ H & VH & H \\ L & H & L \end{bmatrix} \end{matrix} \\
 U^{s_3} &= \begin{matrix} & e_1 & e_2 & e_3 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} B & M & G \\ M & M & B \\ M & B & B \\ VB & M & G \end{bmatrix} \end{matrix} & W^{s_3} &= \begin{matrix} & e_1 & e_2 & e_3 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} VL & L & H \\ H & M & L \\ M & M & L \\ VL & M & M \end{bmatrix} \end{matrix}
 \end{aligned}$$

根据属性评估集的5个等级，设等级描述云表示如下：

$$C_1 = \begin{cases} 1, & x \in [0, 4] \\ C(4, 2/3, 0.05), & \text{others} \end{cases}$$

$$C_2 = C(7, 8/7, 0.05)$$

$$C_3 = C(25, 5, 0.05)$$

$$C_4 = C(45, 20/3, 0.05)$$

$$C_5 = \begin{cases} C(65, 5, 0.05), & \text{others} \\ 1, & x \in [65, \infty] \end{cases}$$

根据等级评估集的5个等级，设等级评价云表示如下：

$$C_1' = \begin{cases} 1, & x \in (0, 0.05] \\ C(0.05, 1/60, 0.002), & \text{others} \end{cases}$$

$$C_2' = C(0.2, 1/25, 0.002)$$

$$C_3' = C(0.4, 6/125, 0.002)$$

$$C_4' = C(0.6, 6/125, 0.002)$$

$$C_5' = \begin{cases} C(0.85, 1/15, 0.002), & \text{others} \\ 1, & x \in [0.85, 1] \end{cases}$$

等级描述云图如图2所示，等级评价云图如图3所示。

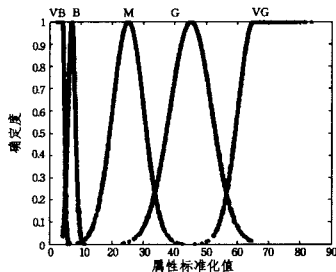


图2 等级描述云图

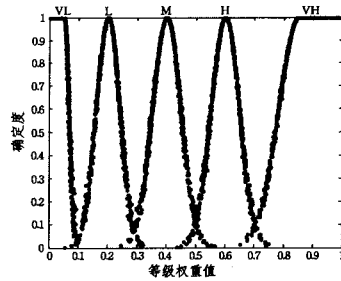


图3 等级评价云图

云归一化操作后一维属性评估矩阵 U_k' 及其元素 $U_{i'k}$ 在等级描述云定性概念上的确定度矩阵 u_k' 如下：

$$U^{s_1'} = \begin{bmatrix} 49.3243 \\ 38.5135 \\ 19.7317 \\ 6.7692 \end{bmatrix}$$

$$u^{s_1'} = \begin{bmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & r_3 & r_4 \\ \begin{matrix} 0.0073 & 0.8103 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6229 & 0.0259 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0008 & 0.5740 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.9798 & 0.0002 \end{matrix} \end{bmatrix} \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix}$$

$$U^{s_2'} = \begin{bmatrix} 39.1463 \\ 35.9231 \\ 30.8537 \\ 33.4 \end{bmatrix}$$

$$u^{s_2'} = \begin{bmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & r_3 & r_4 \\ \begin{matrix} 0 & 0.6801 & 0.0183 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3958 & 0.0920 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1053 & 0.5039 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2201 & 0.2439 & 0 & 0 \end{matrix} \end{bmatrix} \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix}$$

$$U^{s_3'} = \begin{bmatrix} 38.0588 \\ 22 \\ 14.2 \\ 33.1765 \end{bmatrix}$$

$$u^{s_3'} = \begin{bmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & r_3 & r_4 \\ \begin{matrix} 0 & 0.5816 & 0.0330 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0026 & 0.8353 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0970 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2075 & 0.2626 & 0 & 0 \end{matrix} \end{bmatrix} \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix}$$

云集结运算后，每个方案在等级描述云定性概念上的集结矩阵 S_k 及其该值的确定度矩阵 u_k 如下：

$$S^1 = \begin{bmatrix} 49.3243 & r_0 \\ 44.6124 & r_1 \\ 20.5435 & r_2 \\ 6.7692 & r_3 \\ 6.7692 & r_4 \end{bmatrix} \quad u^1 = \begin{bmatrix} 0.0073 & r_0 \\ 0.9983 & r_1 \\ 0.6722 & r_2 \\ 0.9798 & r_3 \\ 0.0002 & r_4 \end{bmatrix}$$

$$S^2 = \begin{bmatrix} 0 & r_0 \\ 36.7105 & r_1 \\ 32.2973 & r_2 \\ 0 & r_3 \\ 0 & r_4 \end{bmatrix} \quad u^2 = \begin{bmatrix} 0 & r_0 \\ 0.4616 & r_1 \\ 0.3447 & r_2 \\ 0 & r_3 \\ 0 & r_4 \end{bmatrix}$$

$$S^3 = \begin{bmatrix} 0 & r_0 \\ 36.7264 & r_1 \\ 24.2057 & r_2 \\ 0 & r_3 \\ 0 & r_4 \end{bmatrix} \quad u^3 = \begin{bmatrix} 0 & r_0 \\ 0.4630 & r_1 \\ 0.9875 & r_2 \\ 0 & r_3 \\ 0 & r_4 \end{bmatrix}$$

由以上结果可知方案 s_1 的评估值为 $r_1(G)$ ，确定度为 0.9983，方案 s_2 的评估值为 $r_1(G)$ ，确定度为 0.4616，方案 s_3

的评估值为 $r_2(M)$, 确定度为 0.9875, 显然方案 s_1 为最优开发方案。

结束语 云模型是一种体现随机性与模糊性关联的不确定性智能模型, 它能够实现定性概念与定量值间的转换, 是目前解决不确定性问题较为先进的研究方法, 文章借鉴了云模型的研究思想, 提出了基于自然语言的模糊多属性云决策方法, 利用云模型描述属性评估集和等级评估集, 并在此基础上设计了云归一化算法和云集结算法, 有效地表达了人为主观认识的模糊性及被考察现象本身存在的客观随机性, 较好地实现了自然语言的评价量化。最终案例分析的结果表明了该方法的简单性和可行性。

参考文献

- [1] Francisco M. An adaptive consensus support model for group decision-making problems in a multigranular fuzzy linguistic context[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2009, 17(2): 279-290
- [2] Alonso S. Group decision making with incomplete fuzzy linguistic preference relations[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2009, 24(2): 201-222
- [3] Dong Yucheng. Linguistic multiperson decision making based on the use of multiple preference relations[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2009, 160(5): 603-623
- [4] Hsu Tsuen-Ho, Tsai Tsung-Nan, Chiang Pei-Ling. Selection of the optimum promotion mix by integrating a fuzzy linguistic de-

cision model with genetic algorithms[J]. Information Science, 2009, 179(1/2): 41-52

- [5] Zhang Zaifang. Fuzzy group decision-making for multi-format and multi-granularity linguistic judgments in quality function deployment[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(5): 9150-9158
- [6] Sandra B-A. Linguistic markers of decision processes in a problem solving task[J]. Cognitive Systems Research, 2009, 10(2): 102-123
- [7] Liu Yang. A group decision-making method uncertain linguistic information[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2009, 30(4): 601-604
- [8] Alonso S. Group decision making with incomplete fuzzy linguistic preference relations[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2009, 24(2): 201-222
- [9] Garcia-Lapresta J L. Defining the Borda count in a linguistic decision making context[J]. Information Sciences, 2009, 179(14): 2309-2316
- [10] 李华莹, 罗自强, 李德毅. 基于云模型的汽车款式知识表示[J]. 舰船电子工程, 2006, 26(6): 1-4
- [11] 李德毅, 刘常昱. 不确定性人工智能[J]. 软件学报, 2004, 15(11): 1583-1594
- [12] 杜鹤, 李德毅. 基于云的概念划分及其在关联挖掘上的应用[J]. 软件学报, 2001, 12(2): 196-203
- [13] 刘常昱, 李德毅. 正态云模型的统计分析[J]. 信息与控制, 2005, 34(2): 236-248

(上接第 165 页)

从图 14 和图 15 可以看出, Sky-ETP 方法较之 Sky-PID-WT 方法的效率有了较大幅度的提高。这与之前对两种方法的时间复杂性分析的结果相同, 从实验角度说明了分析结果的正确性。

结束语 随着信息技术的发展和自动化水平的提高, 很多应用领域都产生了大量的时序数据, 数据分析的对象也从单一时序数据扩展到了多个时序数据, 同时很多时序数据呈现为数据流的形式。由于数据规模较大且有实时性的要求, 因此只会维护一个反映其主要特征的概要结构而不会保留原始数据。本文讨论了针对多时序数据选择分析的区间 skyline 问题, 针对原有研究的不足提出了区间差分 skyline 的概念, 对其应用场景和性质进行了分析和研究。继而讨论了如何基于时序数据流常用的小波概要支持区间差分 skyline 查询的问题, 并利用 Haar 小波变换中细节参数的差分属性提出了一种快速计算区间差分 skyline 的方法。在真实股票数据集上的实验表明了本文所提方法的有效性。

当前, 在数据流概要结构支持下对多时序数据进行分析和处理的研究还处于起步阶段。未来的工作包括研究如何在数据流概要结构的支持下快速处理各种多时序数据分析中涉及到的问题, 例如研究在概要结构的支持下如何对多时序数据的聚类、kNN 查询、异常分析和检测等问题进行高效处理, 并将在网络安全、话题发现、金融分析等更多应用领域中分析所提方法的适用场景和有效性。

参考文献

- [1] Jiang B, Pei J. Online Interval Skyline Queries on Time Series [C]//Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Data Engineering, 2009:

1036-1047

- [2] He Q, Chang K, Lim E. Using Burstiness to Improve Clustering of Topics in News Streams[C]//Proc. of the 7th IEEE Int'l Conf. on Data Mining, 2007: 493-498
- [3] Börzsönyi S, Kossmann D, Stocker K. The Skyline Operator[C]//Proc. of the 17th Int'l Conf. on Data Engineering, 2001: 421-430
- [4] Papadias D, Tao Y, Fu G, et al. An optimal and progressive algorithm for skyline queries[C]//Proc. of the ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data, 2003: 467-478
- [5] Matias Y, Vitter J S, Wang M. Wavelet-based histograms for selectivity estimation[J]. SIGMOD Rec, 1998, 27(2): 448-459
- [6] Hung H, Chen M. Efficient range-constrained similarity search on wavelet synopses over multiple streams[C]//Proc. of the 15th ACM Int'l Conf. on Information and Knowledge Management, Arlington, Virginia, USA, 2006: 327-336
- [7] Guha S, Harb B. Wavelet synopsis for data streams: minimizing non-euclidean error[C]//Proc. of the 11th ACM SIGKDD Int'l Conf. on Knowledge Discovery in Data Mining, Chicago, Illinois, USA, 2005: 88-97
- [8] Garofalakis M, Gibbons P B. Wavelet synopses with error guarantees[C]//Proc. of the ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data, Madison, Wisconsin, 2002: 476-487
- [9] 陈华辉, 施伯乐. 数据流上具有数据遗忘特性的小波概要[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(2): 268-279
- [10] Gilbert A C, Kotidis Y, Muthukrishnan S, et al. One-pass wavelet decompositions of data streams[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2003, 15(3): 541-554
- [11] Garofalakis M, Kumar A. Deterministic wavelet thresholding for maximum-error metrics[C]//Proc. of the 23rd ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART Symposium on Principles of Database Systems, Paris, France, 2004: 166-176