

基于中介真值程度度量的评价方法

周宁宁, 洪 龙

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘 要:评价是科学研究和社会现实中科学地做出管理决策的依据。文中将处理模糊现象的中介数学系统引入到评价方法中,以中介真值程度度量为基础,提出采用距离比例函数实现单项的评价,采用加权距离比率和函数实现 n 项综合评价的新方法,并将该方法应用到虚拟现实系统沉浸感度量中。利用距离比率函数对单个感官的沉浸感进行度量,利用加权距离比率和函数对以身体多种感官感知为基础的虚拟现实系统沉浸感进行度量。研究表明,该评价方法易于将一些代表性的指标量化,采用该方法对事物进行评价更为客观和合理。

关键词:评价方法;中介真值程度度量;距离比率函数;加权距离比率和函数;沉浸感

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)12-0123-04

A New Evaluation Method Based on Measure of Medium Truth Degree

ZHOU Ning-ning, HONG Long

(Computer School, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Evaluation is the basis of making decision scientifically in management work of science research and real world. It introduces medium mathematics system which is employed to process fuzzy information for evaluation. It presents a new evaluation methods based on the measure of medium truth degree. It uses distance ratio function to make the evaluation of one-item and uses sum function of weighting distance ratio to make the comprehensive evaluation of n -items. Furthermore, this method is applied to the measuring of the immersion in virtual reality system which uses the distance ratio function to evaluate the immersion of single sense and uses the sum function of weighting distance ratio to evaluate the immersion of multi-senses. It shows that the new evaluation method is easy to quantize the representative index and more reasonable and objective.

Key words: evaluation method; measure of medium truth degree; distance ratio function; sum function of weighting distance ratio; immersion

0 引言

评价是科学研究和社会现实中科学地做出管理决策的依据。对一个事物的评价常常要涉及多个因素或多个指标,评价是在多因素相互作用下的一种综合判断。

长期以来,人们在评价方法上进行了大量的研究,并提出了各种各样的方法。早期的评价方法有总分评定法、常规评价方法、指数综合法等。这些方法虽然简单,但有时评价结果不全面、不合理,只能用于对较为简单的系统进行评价。因此,一些学者对传统的评价方法进行了改进,同时也将新的数学方法应用到评价

中,例如采用运筹学的方法^[1,2],层次分析法^[3]、统计方法^[4,5]、模糊理论^[6~8]、聚类方法^[9,10]、灰色关联分析方法^[11,12]、基于粗集理论^[13]的方法、人工神经网络方法^[14]、遗传算法等^[15]。但这些方法往往较为复杂,一些具有代表性的指标难以量化,因此,有必要探索新的更为客观和合理的评价方法。

文中对处理模糊信息的中介数学系统进行深入研究,设计了新的基于中介真值程度数值化度量的评价方法,并应用到虚拟现实系统的沉浸感度量中。该方法针对用户在虚拟现实系统中身体多种感官的感知和体验程度,以中介真值程度的数值化度量为基础,提出采用距离比率函数对单个感官的沉浸感进行度量,以及采用加权距离比率和函数对以身体多种感官感知为基础的虚拟现实系统沉浸感进行度量。

1 中介数学系统简介

20世纪80年代,我国两位数学家朱梧槨先生和

收稿日期:2012-05-02;修回日期:2012-08-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61170322,61073115);软件开发环境国家重点实验室开放课题(SKISDE-2011KF-04)

作者简介:周宁宁(1972-),女,博士,副教授,CCF会员,研究方向为虚拟现实、图像处理、计算机视觉。

肖奚安先生从理论研究出发,提出了中介原则,并在中介原则之下首先建立了反映模糊性的中介逻辑演算系统(medium logic, ML)^[16],再以其作为配套的推理工具,建立了中介公理集合论系统(medium axiomatic set, MS)^[17],并在此基础上发展、形成中介数学系统。2006年,洪龙教授从应用角度出发提出了“中介真值程度的度量”方法^[18,19],这是一种对中介逻辑演算系统的模糊否定词、真值程度词的真值程度进行数值化处理的方法,较好地完成了中介数学从纯理论研究到实际应用的转变。

在中介数学系统中^[17],谓词(概念或性质)以 P 表示, $P(x)$ 表示某一变元 x 完全具有性质 P 。反对对立否定词以符号“ \neg ”表示,谓词 P 的反对对立面以 $\neg P$ 表示。模糊否定词以符号“ \sim ”表示,“ \sim ”反映了对立物在转化过程中“非此非彼”或“亦此亦彼”的中介状态。

2 基于中介真值程度度量的评价方法

史蒂文斯(S. S. Stevens)^[20]于1951年曾给评价下了这样的定义:“从广义而言,评价是根据法则给事物分派数字。”这一定义概括了物理评价、社会评价和心理评价的共性。从史氏对评价下的定义可以看出,评价包括三个要素:第一,事物的属性;第二,数字;第三,规则。

文中提出的评价方法是针对样本数据,以中介真值程度的数值化度量为基础,通过引入距离比率函数来作出单项评价和综合评价。

对某个事物的某项进行评价时,首先会对该事物的该项评定一个数值,假设数值的范围是 $[n_1, n_2]$,数值越高,认为该事物的该项越优秀,数值越低,认为该事物的该项越差。优秀和差用对立观点看就是一组反对对立面,并且它们之间存在过渡状态。根据中介真值程度的度量方法,首先将优秀和差映射到某一数轴上,单项指标以及 n 项综合指标相对于优秀(或差)的真值程度可以通过计算相应的距离比率函数得到。

2.1 单项指标相对于优秀(或差)的真值程度

设对某个事物的某项指标评定为 x 。若采用相对于优秀的真值程度进行衡量,记谓词 W 表示评价为优秀, $+W$ 表示评价为特别优秀, $\neg W$ 表示评价为差, $\neg +W$ 表示评价特别差,并存在过渡 $\sim W$,建立对应于 W 与 $\neg W$ 的标准度 α_T 和 α_F ,如图1所示。

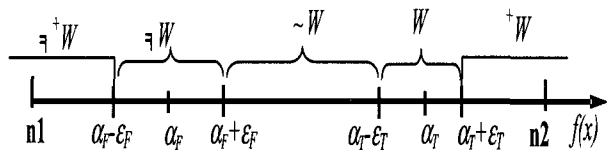


图1 指标区域与谓词优秀的对应关系

利用单项指标评定 x 相对于 W (或 $\neg W$)的距离比率函数 $h_T(x)$ (或 $h_F(x)$)的值来确定该事物的某单项是优秀(或差)的真值程度, $h_T(x)$ (或 $h_F(x)$)数值越大,表明该事物的某单项越优秀(或差)。

2.2 n 项综合指标相对于优秀(或差)的真值程度

某事物的 n 项综合指标评定相对于优秀(或差)的真值程度可以采用加权距离比率和函数 $h_{n-T}(X)$ (或 $h_{n-F}(X)$)来衡量, $h_{n-T}(X)$ (或 $h_{n-F}(X)$)的数值越大,表明该事物的 n 项综合评价越优秀(或差)。

3 中介评价方法在虚拟现实系统沉浸感度量中的应用

3.1 虚拟现实系统的沉浸感

在虚拟现实系统中,使用者通过与虚拟环境进行全方位的接触,仿佛生活在真实的环境中一样,有一种身临其境的体验,这就是虚拟现实系统的沉浸感。虚拟现实的沉浸感可以描述用户在虚拟环境中的感觉;可以是一种纯粹的精神状态,也可以通过物理的方法完成。身体沉浸是虚拟现实的本质特性,精神沉浸是大多数媒体创作者的目标。

沉浸于虚拟现实是一种全新的认知体验,虽然沉浸于其中通常指的是一种感情或状态,一种潜心于体验的感觉,但在虚拟现实这种媒体中,任何心理上的感觉都是由身体感知所引起的。精神沉浸的获得是依赖于身体沉浸的,在虚拟现实的感知模式中,身体沉浸是身体多种感官的综合体验来形成的某种通感。因此对虚拟现实的沉浸感度量主要从身体多种感官的感知和体验程度来衡量。

3.2 虚拟现实系统中单个的感官沉浸感度量

人类对外部世界的感知主要是通过身体的各个器官对周围环境刺激的反映来获取的。其中,视觉、听觉、触觉、嗅觉及味觉等是形成人的沉浸感的重要因素。

3.2.1 视觉沉浸感的度量

在人类的沉浸感中,毫无疑问,视觉是最重要的。因为,人类对外部世界的感知有80%以上来自于视觉。研究表明,人的大脑能对被视物体的色彩、形式、纵深和位移四个主要特性做出反映,这四者形成了人们认识视觉世界的基础。

在虚拟现实系统中,用户通过观测虚拟环境中的景物,并将该景物与实际或想象中的景物在颜色、形式、纵深和位移这四个方面对应起来,对应程度越高,则用户在虚拟环境中形成的视觉沉浸感就越高;反之,对应程度越低,则形成的视觉沉浸感就越低。

基于中介真值程度度量的视觉沉浸感度量方法的主要思想是:

(1) 确定用户对虚拟环境景物在颜色、形式、纵深和位移方面与实际的景物对应程度。

由于对应程度的高和低是一组反对对立词,并存在过渡,设用户对虚拟环境景物在颜色、形式、纵深和位移方面与实际的景物对应值(假设数值的范围是 $[n_1, n_2]$) 分别为 $v_color, v_form, v_depth, v_displacement$ 。为了简单起见,记: $v(1) = v_color, v(2) = v_form, v(3) = v_depth, v(4) = v_displacement$ 。

记谓词 R 表示对应程度高, $+R$ 表示对应程度特别高, $\neg R$ 表示对应程度低, $\neg +R$ 表示对应程度特别低,并存在过渡 $\sim R$, 建立对应于 R 与 $\neg R$ 的标准度 α_r 和 α_f , 如图 2 所示。

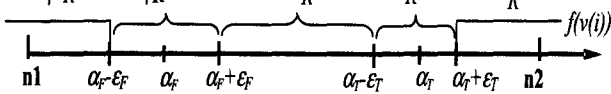


图 2 对应值与谓词对应程度高的对应关系

根据图 2, 可以得到相应的距离比率函数 $h(v(i)), 1 \leq i \leq 4$, 其值用来衡量用户对虚拟环境景物在颜色、形式、纵深和位移方面与实际的景物的对应程度。 $h(v(i))$ 数值越大, 表明相应的对应程度越高; $h(v(i))$ 数值越小, 表明相应的对应程度越低。

(2) 选取加权距离比率和函数对虚拟现实系统的视觉沉浸感进行度量。

由于用户对虚拟环境中的景物在颜色、形式、纵深和位移四个方面的感知程度是不同的, 因此首先设定不同的权值 $dv(i)$, 其中 $1 \leq i \leq 4$, 来区分这四个特征对视觉沉浸感的影响。然后选取加权距离比率和函数 $h_{4-r}(V)$ 对视觉沉浸感进行度量, 即:

$$h_{4-r}(V) = \sum_{i=1}^4 dv(i) \times h(v(i)) \quad (1)$$

其中 V 为用户在虚拟环境中获得的视觉感知, $V = [v_color, v_form, v_depth, v_displacement] = [v(1), v(2), v(3), v(4)]$ 。

$h_{4-r}(V)$ 的数值越大, 表明用户在虚拟现实系统中获得的视觉沉浸感越高; $h_{4-r}(V)$ 的数值越小, 表明用户在虚拟现实系统中获得的视觉沉浸感越低。

3.2.2 听觉沉浸感的度量

听觉在人类的感知系统中的重要性是仅次于视觉的, 研究表明, 人类通过听觉可以获取大约 15% 的信息。将声音信息添加到虚拟环境中, 可以提高虚拟环境的真实感, 使人获取更高的听觉沉浸感。频率、响度和音色是声音信息的主要特征。人的大脑对这三个主要特性做出反映, 就形成了人们对客观世界的听觉感知。

真实环境中的不可见方位和物体可以非常有效地用声音来指示, 而且一些可能出现的危险情况也可以

用声音来警告。在虚拟场景中, 用户通过听觉器官感知不同的声音信息, 并根据所听到声音在频率、响度和音色这三个方面与现实环境或心理上的声音相对应。对应程度越高, 则用户在虚拟环境中获得的听觉沉浸感就越高; 反之对应程度越低, 则获得的听觉沉浸感就越低。

设用户在虚拟环境中获得的声音信息在频率、响度和音色这三个方面与现实环境或心理上的声音的对应值分别是 $a_frequency, a_loudness, a_tone$, 为了简单起见, 记: $a(1) = a_frequency, a(2) = a_loudness, a(3) = a_tone$ 。

同样, 记谓词 R 表示对应程度高, $+R$ 表示对应程度特别高, $\neg R$ 表示对应程度低, $\neg +R$ 表示对应程度特别低, 并存在过渡 $\sim R$, 建立对应于 R 与 $\neg R$ 的标准度 α_r 和 α_f 。记 A 为用户在虚拟环境中获得的听觉感知, $A = [a_frequency, a_loudness, a_tone] = [a(1), a(2), a(3)]$, 与视觉沉浸感的分析类似, 选取加权距离比率和函数 $h_{3-r}(A)$ 对视觉沉浸感进行度量, 即:

$$h_{3-r}(A) = \sum_{i=1}^3 da(i) \times h(a(i)) \quad (2)$$

其中 $h(a(i)), 1 \leq i \leq 3$ 为相应的距离比率函数。其值用来衡量虚拟环境声音与现实环境或心理上的声音在频率、响度和音色这三个方面对应程度; $da(i), 1 \leq i \leq 3$ 为权值, 用来区分用户对虚拟环境中的声音在频率、响度和音色三个方面的感知程度对听觉沉浸感的影响。

$h_{3-r}(A)$ 的数值越大, 表明用户在虚拟现实系统中获得的听觉沉浸感越高;

$h_{3-r}(A)$ 的数值越小, 表明用户在虚拟现实系统中获得的听觉沉浸感越低。

3.2.3 其它身体感知沉浸感的度量

在现实生活中, 人类对外部环境的感知远远不止通过视觉和听觉, 还包括触觉、嗅觉和味觉等其它感知。与视觉、听觉沉浸感的分析类似, 可以得到相应其它感官的沉浸感。

设 $O(i), 1 < i < n$ 分别表示用户在虚拟环境中获得的除视觉、听觉以外的其它 n 种感官的感知, 并选取相应加权距离比率和函数 $h_{m(i)-r}(O(i))$ 对相应感官的沉浸感进行度量。

3.3 虚拟现实系统沉浸感的度量

在以计算机为媒体的虚拟现实系统中, 任何心理上的感觉都是由身体感知所引起的, 沉浸感的获得主要依赖于身体沉浸。身体沉浸是身体多种感官综合体验来形成的某种通感。因此, 虚拟现实的沉浸感度量可以从身体多种感官综合的感知和体验程度来衡量。

设虚拟现实系统的感知集合为 $Sensor = [V, A,$

$O(i)$], $1 < i < n$, 其中 V 表示视觉感知, A 表示听觉感知, $O(i)$ 表示除视觉、听觉以外的各种感知。由于在虚拟环境中, 各种感知对沉浸感的影响是不同的, 因此分别设定不同的权值来加以区分。权值集合 $D = [DV, DA, DO(i)]$ 。其中, DV 的大小表示视觉感知对沉浸感的影响程度, DA 的大小表示听觉感知对沉浸感的影响程度, $DO(i)$ 的大小表示除视觉、听觉以外的各种感知对沉浸感的影响程度。

采用加权和函数 $h_T(\text{Sensor})$ 对虚拟现实系统沉浸感进行衡量, 如下式:

$$h_T(\text{Sensor}) = DV \times h_{4-T}(V) + DA \times h_{3-T}(A) + \sum_{i=1}^n DO(i) \times h_{m(i)-T}(O(i)) \quad (3)$$

其中 $h_{4-T}(V)$ 表示视觉沉浸程度, 定义如式(1), $h_{3-T}(A)$ 表示听觉沉浸程度, 定义如式(2), $h_{m(i)-T}(O(i))$ 表示除视觉、听觉以外的各种感官的沉浸程度。 $h_T(\text{Sensor})$ 的数值越大, 表明用户在虚拟现实系统中获得的沉浸感越高; $h_T(\text{Sensor})$ 的数值越小, 表明用户在虚拟现实系统中获得的沉浸感越低。

由于人的感知有 80% ~ 90% 来自于视觉, 15% 是通过听觉获得的, 因此可以置 $DV = 0.8$, $DA = 0.15$,

$\sum_{i=1}^n DO(i) = 1 - 0.8 - 0.15 = 0.05$, 代入上式可得:

$$h_T(\text{Sensor}) = 0.8 \times h_{4-T}(V) + 0.15 \times h_{3-T}(A) + 0.05 \times h_{m(i)-T}(O(i)) \quad (4)$$

根据式(4)可知, 沉浸感的获得很大程度上依赖于用户在虚拟环境中所获得的视觉感知。

4 结束语

文中深入研究了基于中介真值程度度量的评价方法, 主要要点如下:

(1) 通过分析评价方法的特点, 设计了有别于其它数学方法的新评价方法;

(2) 提出采用距离比率函数对单项进行评价、采用加权距离比率和函数实现 n 项综合评价的新方法;

(3) 讨论了以计算机为显示媒体的虚拟现实系统沉浸感, 并将以中介真值程度度量为基础的评价方法用于虚拟现实系统的沉浸感的度量中, 提出了采用距离比率函数对单个感官沉浸感进行度量, 采用加权距离比率和函数对以身体多种感官感知为基础的虚拟现实系统沉浸感进行度量的新方法。

参考文献:

- [1] Zhai Aimei, Wang Xuefeng, Wang Lin. A New Performance Evaluation Method Based on Multiple-parameters Evaluation and DEA Model[C]//International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Shanghai, China; [s. n.], 2007: 6633-6635.
- [2] Kao C, Huang S N, Sueyoshi T. Performance Evaluation of Management-DEA[M]. Taiwan: Hua-Tai Publisher, 2003.
- [3] Liu Chih-Ming, Hsu Hen-Shen, Wang Shen-Tsu, et al. A Performance Evaluation Model Based on AHP and DEA[J]. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, 2005, 22(3): 243-251.
- [4] Sheikh H R, Sabir M F, Bovik A C. A Statistical Evaluation of Recent Full Reference Image Quality Assessment Algorithms[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2006, 15(11): 3440-3451.
- [5] Sato Y, Hamada S, Maeda T, et al. Evaluation of the statistical delay quality model[C]//Proceedings of the 2005 Conference on Asia South Pacific. Shanghai, China; [s. n.], 2005: 305-310.
- [6] Xu Weixiang, Liu Xumin. Study on the accuracy of comprehensive evaluating method based on fuzzy set theory[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2005, 16(2): 330-334.
- [7] Mi Xiaozhen, Yan Changgang, Jin Li, et al. Evaluation for result-chain models based on fuzzy evaluation matrix[C]//Proceedings of 2006 10th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design. [s. l.]: [s. n.], 2006: 455-458.
- [8] Liao Qin, Gu Huimin, Hao Zhifeng, et al. Fuzzy comprehensive evaluation of e-commerce and process improvement[C]//Proc of First International Workshop on Internet and Network Economics. [s. l.]: [s. n.], 2005: 366-374.
- [9] 张秀梅, 王涛. 模糊聚类分析方法在学生成绩评价中的应用[J]. 渤海大学学报: 自然科学版, 2007, 28(2): 169-172.
- [10] Kuroda S, Yoshikawa T, Furuhashi T. A proposal for comparison of impression evaluation data among individuals by using clustering method based on distributed structure of data[C]//Proc of 5th International Conference on Rough Sets and Current Trends in Computing. [s. l.]: [s. n.], 2006: 891-898.
- [11] Wen Kunli, Hsieh Wen-Fang. Optimal Teacher Evaluation Based on Cardinal Grey Relational Grade[J]. 灰色系统学刊, 2003, 6(1): 29-38.
- [12] Wong C C. New grey relational grade measure[C]//Proceeding of 4th National Conference on Grey Theory and Application. [s. l.]: [s. n.], 1999: 1-15.
- [13] Han Feng, Wang Ting, Lei Jin. Research of Performance Evaluation of Power Generation Enterprises Based on Rough Set Theory[C]//Proceeding of First IEEE International Symposium on Information Technologies and Applications in Education. Kunming; [s. n.], 2007: 74-77.
- [14] Guo Chen, Parsa V. Nonintrusive speech quality evaluation using an adaptive neurofuzzy inference system[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2005, 12(5): 403-406.

2 算法性能测试和结果分析

(1) 测试环境。

测试平台: CPU 是 Intel(R) Core(TM) 2 Quad CPU Q8200 2.33GHz, 内存 2G, 硬盘 500G。

操作系统: Windows XP。

编译器: Visual C++6.0。

(2) 测试实验设计。

随机选取文本串内容, 长度为 500, 模式串采用不同的长度, 分别为 5, 10, 50, 80, 从各算法所需要的时间、所尝试的次数、所比较的字符个数三方面进行实验。

(3) 实验结果与分析。

实验的结果如表 4 所示。从表 4 来看:

1. 在短模式串如 5 和 10 中, 在各算法所需要的时间、所尝试的次数、所比较的字符个数方面, 三种算法都比长模式串效率高。

2. 匹配长模式串时, 由于比较长模式串时需要比较的字符数较多, 所以花费的时间比匹配短模式串时所花费的时间要多, 从模式串为 80 时可明显地看出, 匹配所需时间增加了。

表 4 BM、QS、RF 算法比较

算法	模式串长度	匹配所需时间(秒)	尝试次数(次)	比较的字符个数(个)
BM	5	73	57	63
	10	42.5	32	44
	50	38.2	11	62
	80	55.6	11	91
QS	5	67	49	69
	10	49.7	36	49
	50	46.5	16	70
	80	63	18	97
RF	5	93	52	73
	10	58.6	26	42
	50	95	6	85
	80	126	4	115

(上接第 126 页)

- [15] 金菊良, 程 健, 张有富. 基于加速并行遗传算法的模糊综合评价模型[J]. 水电能源科学, 2005, 23(6): 1-4.
- [16] 朱梧楦, 肖奚安. 中介逻辑的命题演算系统(1)[J]. 自然杂志, 1985(8): 315-316.
- [17] Xiao Xi'an, Zhu Wujia. A system of medium axiomatic set theory[J]. Science in China (A), 1988(11): 1320-1335.
- [18] 洪 龙, 肖奚安, 朱梧楦. 中介真值程度的度量及其应用

3. 在短模式串中, RF 算法的速度超过 BM 算法。

3 结束语

网络的快速发展要求网络入侵检测系统的处理性能要不断地提高, 因此提高模式匹配算法效率是关键。文中通过实验对基于后缀搜索的 BM、QS、RF 三种算法在匹配时间、所尝试的次数、所比较的字符个数三方面进行测试并进行实验分析, QS、RF 算法在实践中效率较高应用较广。

参考文献:

- [1] 王 琢, 赵永哲, 姜占华. 网络处理模式匹配算法研究[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(12): 310-312.
- [2] Navarro G, Raffi M. Flexible Pattern Matching in Strings[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2007.
- [3] Boyer R S, Moore J S. A fast string searching algorithm[J]. Communications of ACM: Programming Techniques, 1977, 20(10): 762-772.
- [4] 薛传庆, 韩明畅, 金伟信. 入侵检测系统中 BM 算法的改进[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(6): 136-139.
- [5] 赵念强, 鞠时光. 入侵检测系统中模式匹配算法的研究[J]. 微计算机信息, 2005, 21(8x): 22-24.
- [6] 袁静波, 郑吉森, 丁顺利. 一种 BM 模式匹配算法的改进[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(17): 105-107.
- [7] 程玉青, 梅 登. 入侵检测系统中 BM 模式匹配算法的改进[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(7): 172-174.
- [8] Sunday D M. A very fast substring search algorithm[J]. Communications of the ACM, 1990, 33(3): 132-142.
- [9] 许一震, 王永成, 沈 洲. 一种快速的多模式字符串匹配算法[J]. 上海交通大学学报, 2002, 36(4): 516-520.
- [10] Lecroq T. A variation on the Boyer-Moore algorithm[J]. Theoretical Computer Science, 1992, 92(1): 119-144.
- [11] Lecroq T. Experimental results on string matching algorithms[J]. Software-Practice & Experience, 1995, 25(7): 727-765.
- [12] Charras C, Lecroq T. Handbook of exact string-matching algorithms[M]. London: King's College London Publications, 2004.

(I)[J]. 计算机学报, 2006, 29(12): 2186-2193.

- [19] 洪 龙, 肖奚安, 朱梧楦. 中介真值程度的度量及其应用(II)[J]. 计算机学报, 2007, 30(9): 1551-1558.
- [20] Stevens S S. Mathematics, measurement and psychophysics[M]//Handbook of Experimental Psychology. New York: Wiley, 1951: 1-49.