

Web 日志挖掘在网络教学中的应用研究

冯春辉

(邢台学院 信息科学与技术系, 河北 邢台 054001)

摘 要:在网络教学模式下, 学生学习的过程就是访问教学网站页面的过程, 这些访问都能被完整地记录在系统日志中, 通过对日志的分析挖掘, 可以找出学生行为模式; 在另一方面, 教学网站的结构组织是不是符合学生和教师学习和教学的规律, 通过对网站日志的分析也可以得到。所有这些都离不开数据挖掘技术。文章提出了基于 Web 日志挖掘的模型, 并对组成该系统的关键模块进行了分析。通过统计分析挖掘页面兴趣和分类聚类方法对学生进行划分, 有效地改善网站结构、更好地为学生服务, 提高教学质量水平。

关键词:Web 日志挖掘; 兴趣度; 网络教学; 模糊聚类

中图分类号:TP393;G712

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)06-0183-05

Research on Application of Web Log Mining in Network Teaching

FENG Chun-hui

(Department of Information Science & Technology, Xingtai University, Xingtai 054001, China)

Abstract: Under the network educational model, the process which the student studies is to visit the pages of the process of teaching web-sites, these visits can record completely in the system log. Through the analysis and mining of the log, the student behaviour pattern may be discovered; On the other hand, the structural organization of the teaching site for students and teachers is in line with the laws of learning and teaching, through the analysis of Web logs can also be obtained. All these cannot leave the data mining technology. Present a based-on web log mining network teaching model. And the key components of the system modules were analyzed. Through method of statistical analysis mining rate of interest and method of clustering and classification divide into students, structure of the website is improved effectively and student is better serviced. As a result, teaching level is improved.

Key words: Web log mining; rate of interest; network teaching; fuzzy clustering

0 引言

随着网络技术在教育教学中的广泛深入应用, 网络教学已经成为目前最为重要的教学形式。大量的教学资源在网络上发布并共享。虽有大量的网络教学资源, 但目前主要存在: 一是资源利用率低, 学习者利用资源库进行学习碰到问题时找不到解决问题的资源, 或者找不到适合自己学习能力的资源, 两种情况都影响学习者对资源的利用; 二是不适合个性化学习是当前网络资源库存在的根本问题, 主要表现为资源的组织方式缺乏多样性, 现有的资源库在内容的呈现上依然是统一的, 尽管学生可以根据需求去寻找自己所需的内容, 但无法也不可能满足以分析为导向的个性化学习服务需要; 三是资源检索困难, 目前的资源库大都

按资源的存储类型进行建设, 建库容易而使用困难, 学习者查询相关的知识点需要不断从一个页面跳转到另一个页面, 而搜索功能单一又很难使学习者立即获得需要的内容。

不同的学习兴趣和学习目标对教育资源有不同的要求。如何才能满足学习者的需求? 资源库建设者只有了解学习者的行为习惯与兴趣, 为学习者提供更为需要的、个性化的教育资源。将 Web 数据挖掘技术应用于网络资源库的建设, 可以有效地解决这个问题。从 Web 挖掘的角度, 提出根据 Web 日志来挖掘出学生对于教学网站的使用模式, 从而得到对指导改进工作的有价值的信息和规则。网络日志挖掘旨在通过网络日志进行有效的数据挖掘, 发掘隐藏在日志数据背后的 Web 用户访问模式。

1 Web 日志挖掘

Web 日志挖掘是指从 Web 的日志记录中提取感兴趣的模式, 目前 Web 日志挖掘方面的研究较多,

收稿日期: 2009-09-19; 修回日期: 2009-12-15

基金项目: 河北省“十一五”规划课题项目(019549)

作者简介: 冯春辉(1964-), 女, 河北邢台人, 副教授, 研究方向为数据库理论和数据挖掘。

WWW 中的每个服务器都保留了访问日志,记录了关于用户访问和交互的信息,可以通过分析和研究 Web 日志记录中的规律,来识别网站的潜在用户^[1-3];可以用基于扩展有向树模型来识别用户浏览序列模式,从而进行 Web 日志挖掘;可以根据用户访问的 Web 日志记录挖掘用户的兴趣关联规则,存放在兴趣关联知识库中,作为对用户行为进行预测的依据,从而为用户预取一些 Web 页面,加快用户获取页面的速度,分析这些数据还可以帮助理解用户的行为,从而改进站点的结构,或为用户提供个性化的服务。Web 日志挖掘的流程一般分为数据预处理、模式发现、模式分析几个阶段^[4,5]。

1.1 数据预处理

Web 日志挖掘首先要对日志中的原始数据进行预处理,包括依赖于域的数据净化、用户识别、会话识别和路径补充等^[6-8]。预处理过程是保证 Web 日志挖掘质量的关键步骤。

(1)数据净化。指删除 Web 服务器日志中与挖掘算法无关的数据。大多数情况,只有日志中 HTML 文件与用户会话相关,所以通过检查 URL 的后缀删除认为不相关的数据。例如,对于一个主要包含图形文档的站点,此时就不能将图形文件删除,而是自定义一套规则将它对应到一定的 HTML 文件,这样就不会将一些重要的用户会话丢失。

(2)识别用户。由于本地缓存、代理服务器和防火墙的存在,使得识别用户的任务变得很复杂。一般最常被 Web 日志挖掘工具使用的技术是基于日志/站点的方法,例如可以使用了一些启发式规则帮助识别用户。1)如果 IP 地址相同,但是日志中表明用户的浏览器或操作系统改变了,则认为不同的代理表示不同的用户。2)将日志和网站拓扑结构结合,构造用户的浏览路径。如果当前请求的页面同用户已浏览的页面间没有链接关系,则认为存在 IP 地址相同的多个用户。

(3)识别用户会话。用户会话是指用户对服务器的一次有效访问,通过其连续请求的页面,可以获得他在网站中的访问行为和浏览兴趣。日志文件中不同的页面当然属于不同的会话。当用户的页面请求在时间上跨度较大时,就可能是该用户多次访问同一个网站。这里可以利用超时,如果两页间请求时间的差值超过一定界限就认为用户开始了一个新的会话。

(4)识别片段。在识别用户会话过程中的另一个问题是确定访问日志中是否有重要的请求没有被记录。这就是路径补充所做的工作,解决的方法类似于用户识别中的方法。如果当前请求页与用户上一次请求页之间没有超文本链接,那么用户很可能使用了浏

览器上的“BACK”按钮调用缓存在本机中的页面。检查引用日志确定当前请求来自哪一页,如果在用户的历史访问记录上有多个页面都包含与当前请求页的链接,则将请求时间最接近当前请求页的页面作为当前请求的来源。若引用日志不完整,可以使用站点的拓扑结构代替。通过这种方法将遗漏的页面请求添加到用户的会话文件中。

1.2 模式识别

模式发现是运用各种算法和技术对预处理后的数据进行挖掘,生成模式。这些技术包括人工智能、数据挖掘、统计理论、信息论等多领域的成熟技术^[9,10]。

1.3 模式分析

该阶段实现对用户访问模式的分析,基本作用是排除模式发现中没有价值的规则模式,从而将有价值的、用户感兴趣的模式提取出来。

2 Web 日志挖掘在网络教学中的应用

Web 日志挖掘指在 WWW 上挖掘有趣的、潜在的、有用的模式和信息的过程。其主要目标则是从 Web 网站的访问日志记录中获取感兴趣的模式,每个 Web 服务器都能有访问日志文件,它记录了访问者的访问和交互的信息。通过分析这些数据可以帮助网站管理者理解用户的行为和 Web 结构,了解用户的浏览习惯,调整从而改进站点的设计。

对于一个特定的网络远程教学网站来说,其拓扑结构是已知的,虽然不同的学习者可能有不同的访问浏览模式,但从长期统计趋势上说它们是稳定的,所以经过一段时间后会会在网站上积累大量有用的信息(如用户的访问日志、注册信息、需求信息、定单信息、交流信息等)。采用 Web 日志挖掘技术可以充分利用这些有用信息,从而建立一个集智能化与个性化为一体的远程教学平台。

2.1 系统模型

为更好地了解学生的访问学习兴趣和爱好,和向学生提供有效的教学服务,文中构建了基于 Web 日志挖掘的网络教学模型,如图 1 所示。

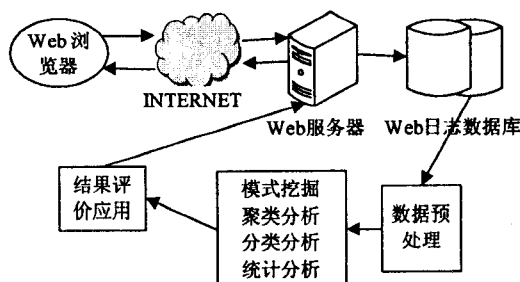


图 1 Web 日志挖掘网络教学模型

2.2 关键模块分析

2.2.1 数据预处理模块

从学习者的访问日志中得到的原始日志记录并不适于挖掘,必须进行适当的处理才能进行挖掘。因此,需要通过日志清理,去除无用的记录;对于某些记录,还需要通过站点结构信息,把URL路径补充成完整的访问序列;然后划分学习者,并把学习者的会话划分成多个事务。文中旨在用统计的方法对用户潜在的兴趣进行挖掘和用模糊聚类的方法对学生进行分类分析,以便为不同的相似学生类提供不同的服务。而用户的兴趣体现在长期的访问行为中,所以日志预处理中只需要做清理数据和用户辨别这两个步骤,也就大大降低了预处理的难度。

数据清洗:数据清洗是指清除Web访问日志中的冗余记录。当访问者发出对于某个页面的访问请求的时候,在这个页面中所包含的图形、脚本、图像等资源都会被自动下载,并写入访问日志中,而这些内容对于挖掘来说就是噪声数据,真正需要的是对含有教学内容的HTML访问记录。在Web访问日志中去除这些噪声信息的方法一般是根据请求文件的后缀名来识别被请求资源的类型,然后剪掉这些访问记录,如.jpg、.gif和.jpeg的图形文件。经过数据清理和简化得到的访问记录形如:〈IP, url, time, agent〉。其中url为用户请求的页面, time为请求的时间。

用户识别:用户识别一般是根据访问者的IP地址、用户代理将访问记录归类给某一个用户(赋予一个编号uid)。但是,由于缓存、代理服务器、防火墙的使用以及ISP上网接入方式的多样性,使得要准确识别用户变得不太可能。一般的准则是在一定的时间范围内,相同的IP和agent就可以认为是同一个用户。经过用户识别,给每一个访问记录加上一个用户标识uid,访问记录的格式就变为:〈uid, url, time〉。

2.2.2 Web日志挖掘处理模块

将数据预处理的结果存储到Web事务库中,接下来可以对Web事务库进行挖掘,主要利用统计分析和分类聚类方法进行挖掘。这个过程又可称为模式发现。

●**统计分析:**是分析学习者访问模式最普通的方法,它可以依据不同变量对用户会话文件或Web事务进行描述性分析。由于记录了学生访问某些资源页的时间,所以可以通过相邻两次资源页访问的时间差来大致计算学生访问某页面停留的时间。以此可以推算学生进行某项学习所花的时间,在一定程度上可以反映学生对某课程或资源的感兴趣程度。利用这些信息就可以改进站点的设计结构。定义user对网页page

的兴趣度如式(1)。

$$F(\text{user}, \text{page}) = \frac{\text{user 浏览 page 所用的时间}}{\text{user 的总浏览时间}} \times \frac{\text{page 字节数}}{\text{路径中总字节数}} \quad (1)$$

算出用户的页面兴趣度,并将结果从大到小排列可以为站点优化和个性化推荐提供依据。

●**分类分析:**分类技术对学生的知识水平进行分类,给予不同级别的知识呈现。比如根据学生兴趣把学生分类,然后调整页面。使某类学生一进入就可到达他感兴趣的页面。再如可以把学生的知识水平分成入门级、初级、中级和高级等不同级别类,给予相应的适应性学习推介。另外还可按照学习者的年龄特征建立不同的组类,按照学生的学习风格建立不同的组类,按照学习历史建立不同的组类,按照学习绩效建立不同的组类,按照知识结构建立不同的组类等。

●**聚类分析:**聚类可以建立一个宏观的概念,发现数据的分布特点,以及可能的数据属性之间的相互关系,其目的是向具有某一特征属性的学习群体提供针对性的服务。例如通过分析Web日志挖掘的结果,发现有一些学习者在一段时间内频繁浏览某些页面,经过分析可以将他们聚类为一组,知道这些学习者对这些内容感兴趣,可以及时调整页面及页面内容,在呈现给这一类学习者的页面内容中,增加相关知识的内容及链接,满足学习者的需求。

聚类分析是一种数据划分或分组处理的重要手段和方法。目前,聚类算法大体上分为划分的方法、层次的方法、基于密度的方法、基于网格的方法和基于模型的方法。由于Web站点存在大量的网络课程和资源,学生浏览Web时的目的性不是很明确,即具有模糊性和不确定性,因此将模糊集理论^[11]用于传统的聚类方法中,提出了Web日志挖掘的模糊聚类方法。模糊聚类就是利用模糊等价关系将给定对象划分为一些等价类。在实际应用中很难直接得到模糊等价关系,需要通过传递闭包法才能得到等价关系。但传递闭包法涉及大量矩阵乘法运算,不适合处理高维数据。因此,可以先建立模糊相似矩阵表示各个样本间相似度,然后直接进行聚类^[11,12]。在聚类分析中,将用户浏览偏好、浏览内容、用户访问信息量、浏览路径等指标综合为一个整体来考虑,可全面刻画用户浏览页面的整体行为。这样避免了利用单个因素进行用户兴趣度量的片面性。为此,用模糊多重集来刻画用户浏览行为,基于以上分析,假设在聚类分析中,用 $I = \{I_1, I_2, \dots, I_l\}$ 表示点击次数、页面停留时间、用户偏好等反映用户浏览行为的指标的集合,一个Web站点的Web页面集合为 $W = \{W_1, W_2, \dots, W_m\}$, 用户集合为 $U = \{U_1,$

$U_2, \dots, U_n\}$ 。则 $\forall U_i \in U (i=1, 2, \dots, n)$, 用户 U_i 对任意一个页面 W_j 的浏览行为可描述为 $U_{iW_j} = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{il}\}$, 其中 $x_{ik} (k=1, 2, \dots, l)$ 表示指标集 I 中相对应元素的值, 将 U_{iW_j} 中元素的值进行归一化处理, 从而得到某个用户浏览行为的模糊多重集。

$$M = \{\{x_{i11}, x_{i12}, \dots, x_{i1l}\}, \{x_{i21}, x_{i22}, \dots, x_{i2l}\}, \dots, \{x_{im1}, x_{im2}, \dots, x_{iml}\}\}$$

因此, 用户对网站页面的浏览行为可以用浏览行为矩阵来表示(见矩阵 1)。

以浏览行为矩阵为基础, 通过式(2)确定用户 U_i 和用户 U_j 的相似度集合 $S_{ij} = \{s_{ij1}, s_{ij2}, \dots, s_{ijl}\}$ 。

$$S_{ijk} = \frac{\sum_{l=1}^n x_{ilk} \wedge x_{jlk}}{\sum_{l=1}^n x_{ilk} \vee x_{jlk}} \quad (2)$$

式中: $S_{ijk} \in [0, 1], i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m, k=1, 2, \dots, l$ 。 S_{ijk} ——用户 U_i 和用户 U_j 关于指标集 I 中第 k 个指标的相似度, S_{ijk} ——用户 U_i 与页面 W_j 第 k 个指标值。

以用户 U_i 和用户 U_j 相似度集合 S_{ij} 构造模糊多重相似矩阵 R (见矩阵 2)。

然后, 以模糊多重相似矩阵 R 来求解相似类, 假设相似度阈值为 $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l)$ 。将满足 $S_{ij1} \geq \lambda_1, S_{ij2} \geq \lambda_2, \dots, S_{ijl} \geq \lambda_l$ 的划为一类, 并通过归并得到最终的等价类, 即为聚类结果。相似类构造方法如式(3)。

$$[X_i]_R = \{X_j | X_j \in X, S_{ij1} \geq \lambda_1, S_{ij2} \geq \lambda_2, \dots, S_{ijl} \geq \lambda_l\} \quad (3)$$

2.2.3 结果应用模块

网站建设者可根据学生的网页浏览兴趣度及分类聚类分析得出的结果, 应用到 Web 服务器中, 改进网站的结构, 向学生提供感兴趣的大量网络教学资源, 有效地为学生服务。

3 应用实例分析

实验数据来源于我系网络教学课程的访问日志文

件, 20421 条日志记录作为测试集。数据预处理后每条记录包含的信息字段为日期、时间、方法、URI 资源(URL)、用户地址、协议版本、用户代理、参照、状态、发送字节数、接收字节数、所花时间。利用记录中的发送字节数和所花时间信息和统计得到的页面浏览频度按照上述式(1)计算页面的兴趣度, 如表 1。

表 1 页面兴趣度

ID	页面	兴趣度
1	/index-software.asp	0.54
2	/index-database.asp	0.70
3	/index-sqlserver.asp	0.53
4	/index-vbnet.asp	0.40
5	/index-dbdev.asp	0.72

选取 Web 站点内的 5 个 Web 页面, 记作 $W = \{W_1, W_2, W_3, W_4, W_5\}$, 假定在某一段时间内共有 4 个用户访问该站点, 记作 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$ 。为了计算的简便性, 在此仅选取 3 个指标用户点击次数、停留时间、用户偏好度构成聚类算法中的指标集, 即 $I = \{\text{用户点击频率, 停留时间比率, 偏好度}\}$ 。根据指标集合对 Web 日志数据进行预处理工作, 并以预处理后的数据为基础, 对 Web 用户和 Web 页面进行聚类分析。在数据预处理工作后, 得到用户点击次数、停留时间、用户偏好度的数据, 以此形成原始数据表, 如表 2。

表 2 原始数据

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
U_1	{0,0,0}	{5,20,3}	{0,0,0}	{8,30,4}	{0,0,0}
U_2	{60,240,9}	{0,0,0}	{54,50,4}	{0,0,0}	{52,130,5}
U_3	{65,270,10}	{0,0,0}	{65,60,4}	{0,0,0}	{48,120,5}
U_4	{21,120,5}	{43,130,7}	{0,0,0}	{60,180,9}	{5,10,2}

对原始数据进行归一化处理后, 建立浏览行为矩阵(见矩阵 3):

以行为矩阵的数据为基础, 根据式(3)可求得任意两个用户间的相似度, 并建立 Web 用户模糊多重相似矩阵(见矩阵 4):

$$M = \begin{bmatrix} \{x_{111}, x_{112}, \dots, x_{11l}\} & \{x_{121}, x_{122}, \dots, x_{12l}\} & \dots & \{x_{1m1}, x_{1m2}, \dots, x_{1ml}\} \\ \{x_{211}, x_{212}, \dots, x_{21l}\} & \{x_{221}, x_{222}, \dots, x_{22l}\} & \dots & \{x_{2m1}, x_{2m2}, \dots, x_{2ml}\} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \{x_{n11}, x_{n12}, \dots, x_{n1l}\} & \{x_{n21}, x_{n22}, \dots, x_{n2l}\} & \dots & \{x_{nm1}, x_{nm2}, \dots, x_{nml}\} \end{bmatrix} \quad (\text{矩阵 1})$$

$$R = \begin{bmatrix} \{1, 1, \dots, 1\} & \{s_{121}, s_{122}, \dots, s_{12l}\} & \dots & \{s_{1m1}, s_{1m2}, \dots, s_{1ml}\} \\ & \{1, 1, \dots, 1\} & \dots & \{s_{2m1}, s_{2m2}, \dots, s_{2ml}\} \\ & & \dots & \dots \\ & & & \{1, 1, \dots, 1\} \end{bmatrix} \quad (\text{矩阵 2})$$

$$\begin{bmatrix}
 \{0,0,0\} & \{0.38,0.40,0.43\} & \{0,0,0\} & \{0.62,0.60,0.57\} & \{0,0,0\} \\
 \{0.36,0.57,0.5\} & \{0,0,0\} & \{0.33,0.12,0.22\} & \{0,0,0\} & \{0.31,0.31,0.28\} \\
 \{0.37,0.6,0.53\} & \{0,0,0\} & \{0.37,0.13,0.21\} & \{0,0,0\} & \{0.27,0.27,0.26\} \\
 \{0.16,0.27,0.22\} & \{0.33,0.30,0.30\} & \{0,0,0\} & \{0.47,0.41,0.39\} & \{0.04,0.02,0.09\} \\
 \{1,1,1\} & \{0,0,0\} & \{0,0,0\} & \{0.67,0.55,0.53\} & \\
 & \{1,1,1\} & \{0.91,0.92,0.94\} & \{0.11,0.17,0.18\} & \\
 & & \{1,1,1\} & \{0.11,0.17,0.18\} & \\
 & & & \{1,1,1\} &
 \end{bmatrix} \quad (\text{矩阵 3})$$

$$\begin{bmatrix}
 \{1,1,1\} & \{0,0,0\} & \{0,0,0\} & \{0.67,0.55,0.53\} \\
 & \{1,1,1\} & \{0.91,0.92,0.94\} & \{0.11,0.17,0.18\} \\
 & & \{1,1,1\} & \{0.11,0.17,0.18\} \\
 & & & \{1,1,1\}
 \end{bmatrix} \quad (\text{矩阵 4})$$

取阈值为 $\lambda_1 = 0.85, \lambda_2 = 0.85, \lambda_3 = 0.85$, 根据式(2) 可以将 Web 用户集分为: $\{U_1\}, \{U_2, U_3\}, \{U_4\}$ 。此等类即为 Web 用户的聚类结果。同样可以对页面集合进行聚类分析。

4 结束语

将 Web 日志挖掘应用于网络教学中, 通过统计分析挖掘页面兴趣度和分类聚类方法对学生进行划分, 有效地改善网站结构、更好地为学生服务, 提高教学质量水平。

参考文献:

- [1] Dunham M H. 数据挖掘教程[M]. 郭崇慧, 田风占, 译. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] 张新香. Web 日志挖掘在电子商务中的应用研究[J]. 计算机系统应用, 2006, 13(1): 52-55.
- [3] 陈新中, 李 岩, 杨炳儒, 等. Web 日志挖掘技术进展[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(4): 492-495.
- [4] 李燕风. WEB 访问信息挖掘系统[J]. 计算机工程, 2003, 29

(15): 45-47.

- [5] 石佑红, 赵 宏, 乔 敏. Web 挖掘在个性化远程教育中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(9): 136-138.
- [6] 张健沛, 刘建东, 杨 静. 基于 Web 的日志挖掘数据预处理方法的研究[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(10): 191-193.
- [7] Massegia F, Poncelet P, Teisseire M, et al. Web usage mining: extracting unexpected periods from web logs[J]. Data mining and knowledge discovery, 2008, 16(1): 39-65.
- [8] Sung Ho Ha, Sung Min Bae, Sang Chan Park. Web mining for distance education[J]. IEEE, 2000(2): 715-719.
- [9] Facca F M, Lanzi P L. Mining interesting knowledge from Weblogs: a survey[J]. Data and Knowledge Engineering, 2005, 53(3): 225-241.
- [10] Yang Q, Zhang H H. Web-log mining for predictive web caching[J]. IEEE Trans. Knowl. Data Eng., 2003, 15(4): 1050-1053.
- [11] 陈水利, 李敬功, 王向公. 模糊集理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [12] 宋擒豹, 沈钧毅. Web 页面和客户群体的模糊聚类算法[J]. 小型微型计算机系统, 2001, 22(2): 229-231.

(上接第 182 页)

户满意率提高。就此两种情况而言, 呼叫平台可以根据实际情况, 在客户放弃率提高不多的情况下, 从提高企业自身效益方面考虑, 可以选择 265 个座席, 从而达到呼叫平台座席数量和企业要求的服务质量之间的一个平衡。

4 结束语

Erlang 算法是电信组织管理中的重要公式之一, 它结合历史数据进行的座席及高峰时段的预测及各项相关参数的预测, 对企业的生存和效益有着重要的作用。在实际应用中, Erlang 算法具有较高的参数预测率, 可以为呼叫中心的座席进行合理配置, 优化企业资源。总而言之, 对呼叫中心的业务量预测准确度、服务水平越高、放弃量越少, Erlang 算法计算越准确。文中以电信呼叫中心为平台, 介绍了座席推算算法, 该数学模型还可广泛应用于金融、电信、保险、能源等领域。

参考文献:

- [1] 王厚东. 呼叫中心排班的两种主要工具[EB/OL]. 2006-05-26. <http://www.soft6.com/tech/5/52205.html>.
- [2] Ross S M. 随机过程[M]. 何声武, 谢盛荣, 程依明, 译. 北京: 中国统计出版社, 2005.
- [3] Gross D, Harris C M. Fundamentals of queueing theory[M]. New York: John Wiley & Sons, 1985.
- [4] 王爱平, 朱永俊, 张功营, 等. 基于蚁群算法的呼叫中心人力资源分配[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(3): 204-208.
- [5] Erlang-c Formula introduction[EB/OL]. 2008-09. <http://hi.baidu.com/ucallme/blog/item/>.
- [6] 孙晓磊, 王 振, 刘 茂. 拥挤理论在超市结算区人群管理中的应用[J]. 中国公共安全·学术, 2007(1): 11-15.
- [7] 田乃硕, 刘 滔辛, 马占友, 等. Erlang 消失系统的离散时间建模分析[J]. 系统工程与电子技术, 2006(6): 823-827.
- [8] 朱轶文, 艾 萍. 一种用于呼叫中心的呼叫放弃率预测模型[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(5): 134-137.