

基于项目反应理论自适应测试系统的设计实现

谷 伟

(上海建桥学院 信息技术学院, 上海 201315)

摘 要:根据自适应学习的特点,对项目反应理论的参数模型进行分析,提出极大似然估算法计算学习者能力参数。并在分析自适应测试系统的体系结构及系统主要功能模块的基础上,构建该测试系统;并提出了测试系统中首题估算策略、信息间隔量估算策略,从而提高出题速度和计算速度;并根据学习者的实际测试情况得出难度系数和特质水平,实现了难度系数算法和学习者特征水平计算算法。在此基础上开发了一个基于计算机应用基础课程的自适应测试系统。

关键词:项目反应理论;自适应学习;特质水平;难度系数

中图分类号:TP311

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)12-0175-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.12.042

Design and Implementation of Self-adaptive Test System Based on Item Response Theory

GU Wei

(Department of Information Technology, Shanghai Jianqiao College, Shanghai 201315, China)

Abstract: According to the adaptive learning characteristics, analyzing the model of parameter about item response theory, use maximum likelihood estimation method to calculate learner ability parameters. Based on the main function of system structure and system analysis of adaptive test system module, construct the test system, and put forward the question estimation strategy and information interval estimation strategy of the testing system, so as to improve the test speed and computing speed. Calculate the learner characteristic level and question's difficulty coefficient according to the learner's actual test, and develop the adaptive test system based on computer basis course.

Key words: item response theory; self adaptive learning; characteristic level; difficulty coefficient

0 引 言

目前,学校教育均把培养学生的能力、提高学生的素质作为教学工作的重点,由于学生在学习习惯、方法、能力和效率上各有不同,因此在教学过程中,以学生为中心的个性化学习得到提倡。而基于web的自适应测试系统在个性化学习中得到应用。在自适应测试系统中,将计算机技术、自适应学习理论和教学相结合,根据学生自身的能力自动地选择难度合适的测试内容让学生进行学习,从而提供多样化、个性化学习内容,实现个性化教学。

1 自适应测试系统理论基础

1.1 项目反应理论

项目反应理论(Item Response Theory, IRT)是该测试系统构建的理论基础,项目反应理论模型提出了学

习者(被测试者)对测试内容的反应行为和其潜在的能力特质或能力水平之间的关系。这一关系可以用项目特征曲线表示,如图1所示^[1]。

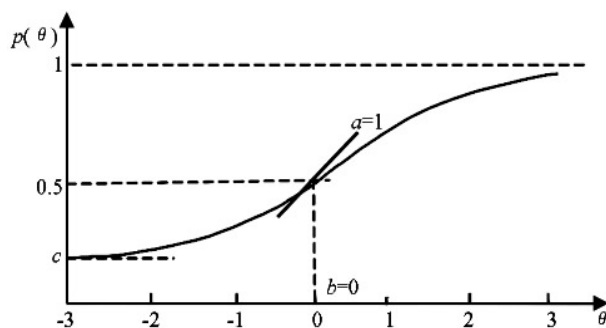


图1 项目特征曲线图

在图1所示坐标图中,横坐标代表被测试者的能力水平,纵坐标为被测试者正确反应测试题目的概率。用来描述项目反应模型的数学函数称为项目反应

函数。根据以上的分析可以得出,项目反应函数就是描述被测者答对概率 $P(\theta)$ 与项目的参数 a 、 b 、 c 和被试者的特质水平 θ 在数值上的关系。根据参数的不同,特征函数可分为单参数、双参数和三参数三种模式,其中三参数的 Logistic 模型的特征函数公式如下式所示^[2-3]。

$$P(\theta_{ji}) = P(u_i = 1 | \theta_j, a_i, b_i, c_i) = c_i + (1 - c_i) / [1 + \exp(-1.7a_i(\theta_j - b_i))] \quad (1)$$

其中, $P(\theta_{ji})$ 表示测试者 j 答对第 i 题的概率; u_i 是测设者的反应, 答对为 1, 答错为 0; θ_i 是测设者的能力值; a_i 是试题 i 的区分度; b_i 是试题 i 的难度; c_i 是猜测系数。当系数 c_i 为 0 时就变成了项目反应理论的两参数模型(Birnbaum 模型)^[2]。

1.2 IRT 极大似然估算法

在自适应学习中, 如何能正确估计学生的能力是关键之一, 在上述公式中有 a 、 b 、 c 、 θ 等未知参数^[4], 其中 θ 的值是通过项目参数采用极大似然函数估算法得出的^[5]。

设有 n 个项目, 对给定项目 j , 特质水平为 θ 的学习者对该项目的反应为随机变量 u_i , $u_i = 1$ 表示回答正确, 为 0 表示回答错误, 由此构造反应矩阵 U , 则联合概率为:

$$L(U | \theta, a, b, c) = \prod_{j=1}^n P_j^{u_j} Q_j^{1-u_j} \quad (2)$$

其中, U_j 是学习者对 n 的第 j 题的反应。 P_j 表示被试答对第 j 题的概率, $Q_j = 1 - P_j$ 表示被试答错第 j 题的概率。(2) 式称为似然函数, 使似然函数达到最大值时 θ 的取值, 成为 θ 的极大似然估算值, 即学习者的能力参数估算值^[5]。极大似然估计就是估计出概率的最可能的极大值。当参数变化时, 概率的非极大值可能不止一个, 但极大值一般只有一个^[2]。

2 自适应学习系统设计

该自适应测试系统采用 B/S 模式, 前台主要提供给学习者进行自主学习测试, 系统会根据测试过程进行

自动判断, 给出学生下一步的学习策略。后台主要提供各种信息、知识库、试题库等数据的维护^[6]。

2.1 系统功能结构

该系统主要包括学习者、教师、自适应测试、管理及维护等部分, 它们之间的逻辑结构如图 2 所示。

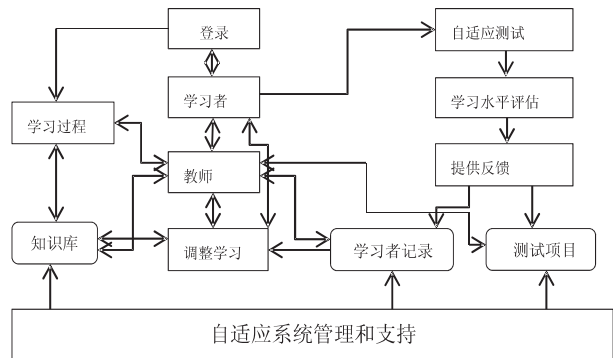


图 2 自适应系统逻辑结构图

根据该逻辑结构图, 该自适应学习系统主要包括学习模块、测试模块、学习策略支持模块、智能支持管理模块四大模块, 整个系统结构如图 3 所示。

1) 学习模块以学习者为中心, 该模块分为两个子模块: 单元学习子模块和支持学习子模块。在单元学习子模块中, 一个学习单元都可以看成一个独立的知识点。在知识点学习单元里, 学生事先根据自己的学习状况选择相应的内容进行练习。如果该学生通过了该知识点内容的练习, 系统会建议学生进入下一个相应的学习单元^[6-7]。

2) 测试模块主要是对学生已学过或者掌握的若干知识点进行综合测试或针对整门课程内容进行考试, 通过测试模块, 学生对所学知识点有更深入或直观的了解, 同时教师也能根据学生的测试情况掌握学生的学习状况。该模块主要有测试组卷、自适应测试、成绩分析等子模块内容^[8]。

3) 学习策略支持模块的主要功能是对学习的学习过程和结果进行数据管理和分析, 从而向学习者提供不同的学习策略。主要包括用户管理、学习者记录、指导者评价等功能模块。其中指导者评价模块对于学生

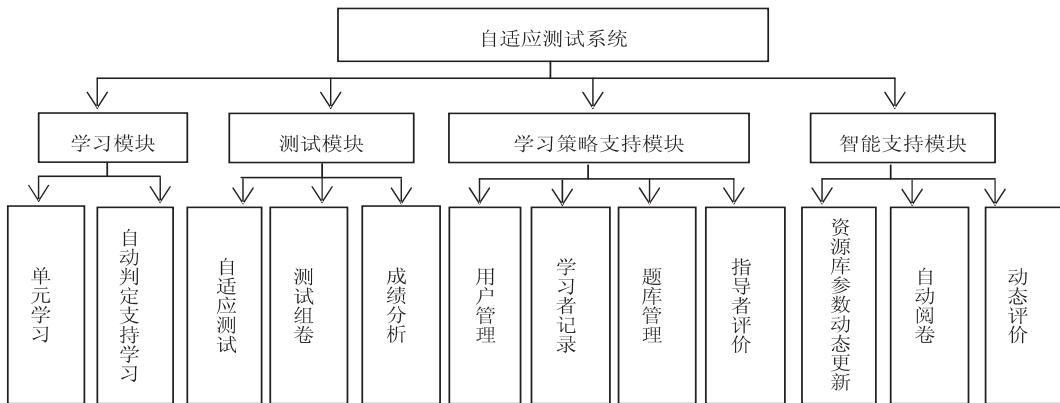


图 3 系统框架结构图

及时调整自己的学习内容和策略起到重要的作用。在该模块中,指导者(教师)通过查询可以获得学生的相关学习记录,同时指导者(教师)又可以通过系统给出的学生的自适应特质水平对该学生进行定量评价和有效的描述性评价,而学生通过这些描述性的评价内容知道自己在哪些方面还存在一定差距,哪些知识点还需要进一步提高,从而获得更有效的学习^[6,9]。

4) 智能支持模块是最能体现自适应功能的模块,在该模块中,所有数据处理都是通过服务器在后台进行执行的。通过该模块,学生能够了解相应的自适应特质水平以及相关参数系数。该模块主要由自动阅卷模块、资源库参数动态更新模块和动态评价模块三部分组成。在自动阅卷中,根据学生的测试情况进行自动评分,资源库参数动态更新模块是指学生在学习测试中,根据每道题目的正确率多少从而自动地调整该题目的难度系统,通过动态更新,可以使资源库的参数更加精准^[6,10]。

2.2 数据库设计

该系统数据库表涉及到学生、教师、测试内容、测试题目等相关内容,主要数据库表结构及关系如图 4 所示。

3 系统关键技术及实现

3.1 提高测试模块运行速度策略

在自适应测试模块中,所有的计算,包括每个学生的特质水平参数、测试题目参数都是由服务端负责完成的。因此,提高服务器运行速度和能力是十分重要的,一方面可以通过提高硬件设备来提高服务器的运行能力,另一方面,在系统设计过程中,适当考虑如何

让服务器减负也是十分重要的。该自适应测试系统在设计开发过程中使用以下策略和方法来提高出题速度。

3.1.1 首题估算策略

按照学生进行测试的正常流程,学生在测试之前,系统必须知道学生的初始特质水平才能进行出题测试,而这个计算量是十分复杂的,因此在该系统设计过程中,假设学生已经知道自己的初始特质水平,系统可以让学生自主地选择自己的初始状态,共有简单、中等和较难三种初始状态共学生选择。根据罗德的相关研究,对于达到一定测试题目的测试,学生的初始状态如何不会影响学生的最终特质水平参数计算的精确性。一般要求题目大于 25 题。在该自适应测试系统中,每个知识点的测试题目长度一般大于 30,因此通过这样的测试量计算出来的特质水平应该是准确的。通过首题估算这一优化算法策略,既能减少服务器的初始计算量,同时还能使学生的特质水平的精确性不受影响。

3.1.2 信息量间隔估算策略

在对测试题目进行计算时,如果按照传统的做法每做完一道题目之后,服务器端就进行一次计算,同时向客户端传递下一道题目,这样会对服务器造成过重的负担。因此,该系统在计算测试题目的信息时,采用了间隔信息量计算这一方法,即每隔一定的测试题目之后计算一次相关信息。服务器在计算完一次信息量之后,就一次性地向客户端传递一定量的测试题目,这样学生做完一道题目之后就直接在本地取题,直接减少了服务器的负担。并且这一做法可以保持用户水平的稳定性,避免了在用户水平出现大幅跳动的情况下题库无题可出的情况^[4]。

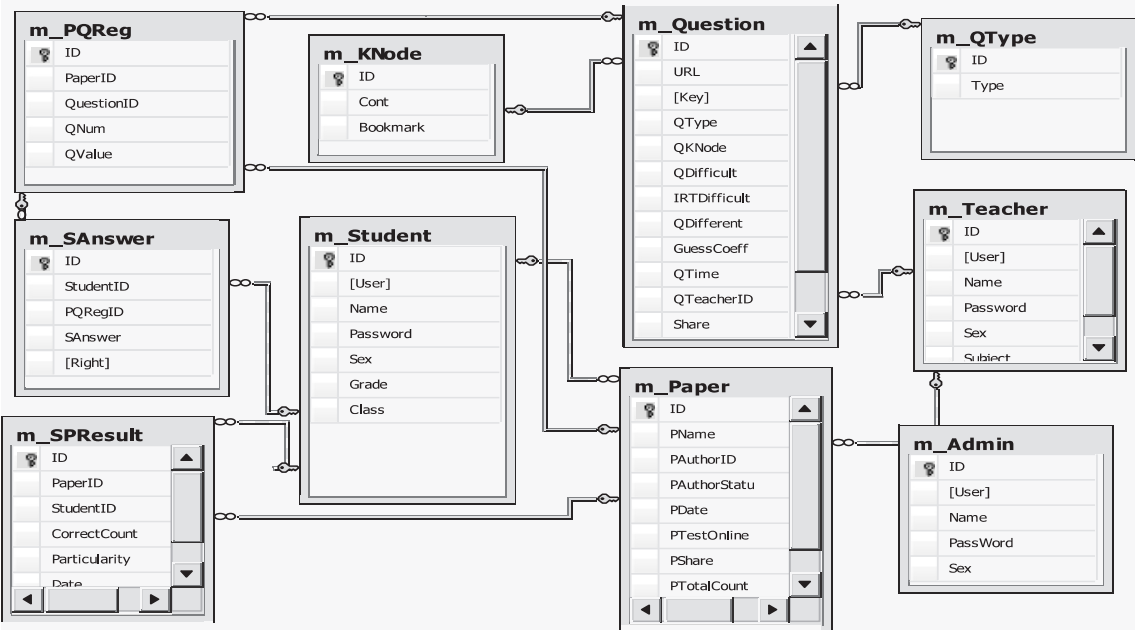


图 4 数据库表关系图

3.2 学生个性化学习策略的自适应调整

在单元知识学习中,系统根据学生的测试自动判断是否进入下个知识点学习,在该模块中,系统将应学的知识点按一定的关联进行安排和排序,通过测试,掌握学生对知识点的学习情况,根据该学习情况确定该学生的各知识点的状态,从而确定应进行哪些知识点的学习,制定学习策略,具体如下。

设知识点为 $\{Z \mid Z_0, Z_1, \dots, Z_n\}$, Z_i 对应的状态为 R_i , 对应的测试成绩为 T_i , 则当 $R_i = 1$ 时表示通过该知识点测试 ($T_i > 90$), 则当 $R_i = 0$ 时表示未通过该知识点测试 ($T_i < 60$), 则当 $R_i = -1$ 时表示可学习知识点 ($60 < T_i < 90$)。当学生初始登录后,可以任意选择知识点 Z_0 , 则 $R_0 = 0$, 若对于任一 Z_i , 都有 $R_i < 0$, 则表明学生已学完所有知识点。否则将所有 $R \leq 0$ 的相关知识都呈现给学生,由学生自主选择其中相关内容进行学习测试。如果学生选择 Z_n 进行学习测试后,若 $T_n \geq 90$, 修改 $R_n = 1$, 如果 $T_n \geq 60$, 修改 $R_n = -1$, 并将 Z_n 的所有后面新的有一定关联的知识点放入到该学生的后续学习内容中,加入到该学生学习内容中,同时将这些刚加入知识点的 R 值设为 0。若 $T_n < 60$ 且测试次数达到 5 次以上,则找到 Z_n 的所有前导知识点,并将这些知识点的 R 设为 -1, 让学生重新进行测试,再次学习掌握^[11]。

通过该个性化学习策略,就能向不同的学生提供不同的学习内容,同时学生也能知道自己相关知识点的掌握情况,从而进行自适应学习,达到个性化学习的目的。

3.3 相关参数算法

3.3.1 难度系数算法

前面讲过项目反应理论的相关参数采用极大似然估算法计算,而无论是求项目参数还是求能力参数,都要使用牛顿-拉夫逊迭代进行迭代计算,其中都需要进行一阶求导^[2]。难度系数算法是通过学生测试的结果,计算该题目的难度系数值。该算法参数由某试题的三质量参数 a 、 b 、 c , 应试者当前能力值 g 和做题情况 u 组成^[12]。

具体算法实现如下:

```
private double GetH( double[] a, double[] b, double[] c,
double[] u, double g )
{ double f1 = 0, f2 = 0, P = 0, C = 1;
for( int i = 0; i < c.Length; i++)
{ C *= c[ i ];
if( C < 0.000 000 01 )
{ C = 0; break; } }
for( int i = 0; i < u.Length; i++)
{ P = C + (1 - C) / (1 + Math. Exp( -1.7 * a[ i ] * ( g - b[ i ] ) ) );
```

```
f1 += 1.7 * a[ i ] * ( u[ i ] - P ) * ( P - C ) / ( P * (1 - C) ) );
f2 += 1.7 * 1.7 * a[ i ] * a[ i ] * ( u[ i ] * C - P * P )
* ( P - C ) * (1 - P) / ( P * P * (1 - C) * (1 - C) ); }
return f1 / f2; }
```

3.3.2 学生特征水平算法

```
public double GetNewG( int SID, double g, Question[] fiveQuestion )
{ double G = g, h; DBProxy myData = new DBProxy( " C_GetABCByQID" ); // 获得学生已经完成所有题目的 a, b, c, u
string[] Ref = new string[] { "@ PID", "@ SID" }; string[] Value = new string[] { _pid. ToString(), SID. ToString() };
DataView myView = myData. ExcteData( " GetABCByQID", Ref, Value ); int[] thelastU = new int[ 5 ];
for( int i = 0; i < 5; i++)
{ AnswerP myAnswer = new AnswerP(); thelastU[ i ] = myAnswer. ChooseUByRelationID( fiveQuestion[ i ]. ID, _pid );
if( thelastU[ 0 ] == 1 && thelastU[ 1 ] == 1 && thelastU[ 2 ] == 1 && thelastU[ 3 ] == 1 && thelastU[ 4 ] == 1 )
{ G += 0.1; }
else if( thelastU[ 0 ] == 0 && thelastU[ 1 ] == 0 && thelastU[ 2 ] == 0 && thelastU[ 3 ] == 0 && thelastU[ 4 ] == 0 )
{ G -= 0.1; }
else { double[] a = new double[ myView. Count ]; double[] b = new double[ myView. Count ];
double[] c = new double[ myView. Count ]; double[] u = new double[ myView. Count ];
for( int i = 0; i < myView. Count; i++)
{ a[ i ] = 2 + double. Parse( myView[ i ][ " QDifferent" ]. ToString() );
b[ i ] = double. Parse( myView[ i ][ " IRTDifficult" ]. ToString() );
c[ i ] = double. Parse( myView[ i ][ " GuessCoeff" ]. ToString() );
u[ i ] = myView[ i ][ " Right" ]. ToString() == " True" ? 1. 00 : 0. 00; }
do { h = GetH( a, b, c, u, G ); G -= h; }
while( Math. Abs( h ) >= 0.001 ); }
return G; }
```

3.4 系统实现

该自适应测试系统使用 Visual Studio 2005 + SQL Server 2005 作为系统开发工具,该系统以《计算机应用基础》作为开发课程。首先对该课程内容进行规划,分成三级知识点,然后按照每个知识点进行测试题库的建设,并在教学中进行应用,获得一定效果。

4 结束语

基于项目反应理论的自适应测试系统在提高学生

(下转第 182 页)

可以完成《程序设计语言 C/C++》、《数据库原理及应用》、《平面动画制作》、《计算机网络基础及应用》和《网络安全技术》等课程教学,基于 Linux 的跨平台信息技术教学实现的方法是在 Linux 操作系统上安装部署 Wine^[12] 软件,安装配置主要步骤参见该课题系列论文《基于 Linux 的高校信息技术教学平台可行性研究》等。

5) 高校师资建设。师资队伍为大学的第一要素,是学科建设的依托,更是保障人才培养质量和提升学术水平的先决条件^[13]。有一支结构合理素质优良的 Linux 师资队伍,是高校推动 Linux 发展必不可少的重要因素之一。

6) 计算机等级考试。在基于 Linux 的高校信息技术教学平台下,已兼容 Windows 环境,学完 LibreOffice 组件后再接触 MS Office 会很容易学习,分配 4~6 个理论课时学习 MS Office,并在计算机等级考试前安排一周强化学习,不会影响学生取得计算机等级证书。

5 结束语

基于 Linux 的高校信息技术教学平台不仅改变了《计算机信息技术基础》课程的软件环境,也为计算机专业改变以使用 Windows 软件环境为主的教学方式带来了挑战。此教学平台有助于高校促进 Linux 的学习,同时有助于推广普及到其他课程,甚至其他专业,有利于培养学生的开创性和自主性,推动国产软件的发展。

(上接第 178 页)

学习自主性、个性化学习方面有一定应用,该系统采用三参数的项目反应模型,能自动根据学习者的学习水平和掌握知识情况,自动地给出相关测试知识点的内容进行学习测试,从而达到个性化学习的目的。今后除了根据测试结果来调整学习策略之外,还可以通过学习内容、学习频率、学习效果的各种记录信息,通过数据挖掘,自动地获取学习过程中的动态信息,让学生更加自主化地进行学习。达到个性化学习目的。

参考文献:

- [1] 刘丽平,王文杰,郭世宁. 计算机自适应考试系统题库的设计与实现[J]. 计算机系统应用,2006,23(3):10-12.
- [2] 沈建荣. 具有自适应能力的学生自助学习系统的设计与实现[D]. 苏州:苏州大学,2011.
- [3] van der Linden W J, Glas C A W. Computerized adaptive testing: Theory and practice[M]. [s. l.]: [s. n.], 2000: 101-116.
- [4] Wainer H. Computerized adaptive testing: A primer[M]. New Jersey: LEA, 2000.

参考文献:

- [1] 芮雪. 虚拟机下 Linux 操作系统的网络配置[J]. 电脑与信息技术, 2011, 19(6): 7-8.
- [2] 王亮亮, 芮雪, 杨琴. 基于 Linux 的高校信息技术教学平台可行性研究[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(7): 200-203.
- [3] 马小强, 张晓军. 基于开源软件的研究与教育应用[J]. 中国电化教育, 2006(11): 94-97.
- [4] Fedoraproject Wiki[EB/OL]. 2012-04-11. https://fedoraproject.org/wiki/Fedora_Project_Wiki.
- [5] Contributing to the CentOS project[EB/OL]. 2012-05-15. <http://wiki.centos.org/Contribute>.
- [6] 陈立鹏, 郝晓明. 高等学校中少数民族学生教育公平问题研究[J]. 大学教育科学, 2008(4): 102-105.
- [7] 刘荣才, 周丽. 职业教育教材质量评价与教材改革建设问题探讨[J]. 职业技术教育, 2003(19): 44-47.
- [8] 高凌飏. 教材评价维度与标准[J]. 教育发展研究, 2007(06B): 8-12.
- [9] 马会梅, 杨建朝. 教学内容设计的心理学研究[J]. 河北师范大学学报(教育科学版), 2009, 11(10): 62-65.
- [10] 张琇, 倪志婧, 王薇, 等. 综合研究性实验项目的教学设计与过程管理[J]. 实验技术与管理, 2012, 29(2): 159-161.
- [11] 教育部. 教育部关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见[M]. 出版地不详: 出版者不详, 2011.
- [12] WineHQ. AboutWine[EB/OL]. 2011-11-18. <http://www.winehq.org/about>.
- [13] 高耀明. 高校师资队伍建设的的问题与对策[J]. 教育发展研究, 2009(23): 76-80.

- [5] 于海霞, 刘竞杰, 王家骥. 基于项目反应理论的自适应考试系统的设计与应用[J]. 合肥学院学报(自然科学版), 2010, 20(3): 44-48.
- [6] 谷伟, 张娜娜. 基于项目反应理论的计算机化自适应测试系统的研究[J]. 现代电子技术, 2012(9): 30-32.
- [7] 黄韦波. 基于.NET 的自适应考试系统的设计与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
- [8] 王华波, 朱亚平, 王经. 基于 Internet 的自适应测试系统的设计和开发[J]. 实验室研究与探索, 2005, 24(5): 34-36.
- [9] 黄伯平, 赵蔚, 余延冬. 自适应学习系统参考模型比较分析[J]. 中国电化教育, 2009(8): 97-101.
- [10] 杨跃斌, 钟汝能, 孙瑜, 等. 基于 IRT 的计算机化自适应测试系统研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2011, 33(S2): 294-298.
- [11] 马容生. 基于.NET 的自适应学习系统的设计与实现[J]. 制造业自动化, 2011, 33(2): 60-62.
- [12] Lee S C, Shirani A I. A component based methodology for web application development[J]. Journal of systems and software, 2004, 71(1-2): 177-187.

基于项目反应理论自适应测试系统的设计实现

作者：[谷伟](#)，[GU Wei](#)
作者单位：[上海建桥学院 信息技术学院, 上海, 201315](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

ISTIC

年, 卷(期):[2013\(12\)](#)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201312042.aspx