

技能点组合分布的技能操作题库组卷研究^①

陈尧妃 陈焕通 (金华职业技术学院 信息工程学院 浙江 金华 321017)

倪应华 (浙江师范大学 行知学院 浙江 金华 321004)

摘要: 根据技能组卷特点提出围绕技能点构建组卷约束模型,使用组合分布策略实现技能题库自动组卷。设计了技能点组卷矩阵约束模型,重点探讨组合分布组卷策略实现的三个关键环节:参数验证优化、技能点组合方案生成和技能试卷生成。通过实例验证表明:使用该方法实现技能题库组卷完全满足技能点组卷矩阵约束条件,具有组卷方法简便、组卷效率高、试卷质量优的特点,非常适合技能题库的组卷应用。

关键词: 技能考核;组合分布;组卷约束

Skill Operation Paper of Skill Points Combination Distribution

CHEN Yao-Fei¹, CHEN Huan-Tong¹, Ni Yinghua² (1.College of Information Engineering, Jinhua College of Profession and Technology, Jinhua 321017,China; 2.Xingzhi College, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: According to characteristics of the Skill operation paper, this paper proposes to build constraint mode around the skill point. It achieves the skills item bank automated test paper using the combination of the distribution. It designs skill point matrix constraint model. It discusses three key components: parameter validation optimization, the program generates combinations of skill points and becoming the skills test paper. The example indicates the this method can achieve the skills item bank to satisfy the skills points test paper. The method is simple, highly efficient and of excellent quality. It is very suitable for application of the Skill operation paper.

Keywords: skills assessment; combination distribution; constraints of test paper

1 引言

随着计算机应用的普及和教育教学改革的进一步深入,高校课程考试的方式经历着不断的变革。从考试的形式来看,主要有三个阶段:自命题出卷、试卷库抽卷、试题库组卷^[1]。目前对于题库组卷的理论和应用研究大部分都是针对理论课程展开,而对于实践型课程操作题库的组卷应用研究相当匮乏。因此笔者在分析技能组卷与理论组卷差别的基础上,提出围绕技能点组合分布的操作题库组卷策略。通过大量实验和应用表明:该方法非常适合技能题库组卷,组卷质

量完全满足组卷约束条件,同时具有组卷效率高、算法实现简便的特点。

2 技能组卷与理论组卷的差别

组卷是按照既定的组卷策略从题库中抽取合适试题组成试卷的过程,该试卷必须满足题型、认知、知识点、难度、题分等诸多条件的分布约束。技能组卷与理论组卷有所不同,主要体现在如下五个方面:

(1) 从题型角度看,理论考试题型众多;技能试题类型都是操作题,类型比较单一。因此技能组卷不

^① 基金项目:2008年度浙江省教育厅项目(Y200805671)

收稿时间:2009-10-23;收到修改稿时间:2009-11-24

需要考虑题型分布约束。

(2) 从认知角度看,理论考试一般分成识记、理解、掌握、应用、综合等多种类别,而技能考核侧重点都在技能应用上,因此在技能组卷时可以不考虑认知分布约束。

(3) 从知识点角度看,理论考试一般知识点比较多,划分比较细,一般按照理论教学的章、节、点来细分。技能考核因课程的不同,技能知识点数目也有所不同。由于计算机组卷时都必须满足惟一性约束,即同一个操作技能点在同一份试卷中不能重现。知识点划分过细,单个知识点范围就越小,可能导致技能组卷不能全部覆盖。知识点划分过粗,单个知识点范围就越大,可能会因为无法满足惟一性约束而造成组卷失败。因此在划分技能知识点时可以借鉴理论知识点划分方法对知识点按照技能模块、技能点、技能操作类型等进行知识点合理划分。

(4) 从难度角度看,理论课程题库中同一知识点的不同试题,由于试题内容不同、题型不同会造成试题难度差异很大。因此在理论题库中确定试题难度是非常有必要的。而在技能操作题库中同属于一个知识点的不同操作题,虽然操作对象和要求有差异,但是操作难度相差无几。因此在技能题库中只需确定知识点难度,而无需确定操作试题难度。

(5) 从题分角度看,理论试题由于试题难度、题型不同,同一知识点不同试题题分可以有差异。而技能试题难度只和技能知识点相关,因此题分可以根据技能点确定,而无需给每个技能试题确定分数。

根据上述分析,技能组卷可以将技能点作为组卷对象,从题库中选出符合要求的技能点分布方案,然后从选定的技能点分布中抽选技能点试题组成技能操作试卷。

3 组卷约束条件和数学模型分析

3.1 组卷约束条件分析

结合上述分析设计如下技能点组卷约束指标。这些指标形成实际组卷过程中对技能点组卷方案的约束:①技能点惟一性约束:对于一份技能试卷,试题操作技能点具有惟一性。②试卷总分约束:所有技能模块总分和试题技能点总分应等于试卷总分。③知识点分布约束:试卷是否达到了技能模块的分数要求。④难度分布约束:试卷难度是不是达到指定的难度分

数分布。⑤试卷估计用时:试卷的估计用时与答卷用时是否相差不大。

3.2 数学模型及约束量化

技能点组卷约束指标可以描述成一个矩阵模型:使用5维向量(题号 a_{i1} , 题分 a_{i2} , 知识单元 a_{i3} , 难度 a_{i4} , 估时 a_{i5})来表示。假设 m 为技能试卷题目数,则符合 $m \times 5$ 矩阵条件的技能点就能组成一份技能点分布方案。如图1所示。

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ & & \vdots & & \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & a_{m4} & a_{m5} \end{pmatrix}$$

图1 技能点组卷约束模型

结合组卷约束模型对约束条件进行量化^[2,3]:

①试题惟一性约束: $a_{i1} \notin \{a_{i1}, \dots, a_{i-11}\} (1 \leq i \leq m)$; (a_{i1} 定义为第 i 道题在试题库中的题号)。

②试卷总分约束: $\sum_{i=1}^m a_{i2} = ZF$ (a_{i2} 定义为第 i 道题在试题库中的题分; ZF 为试卷总分,一般为100)。

③知识点覆盖约束: $\sum_{i=1}^m C_i a_{i3} = Z_k$ (a_{i3} 定义为第 i 道题隶属于哪个知识模块的模块编号; Z_k 为第 K 知识模块的总分; C_i 为可变系数,具体见下方公式)。

$$C_i = \begin{cases} 1, & \text{当 } a_{i3} = K \text{ 时} \\ 0, & \text{当 } a_{i3} \neq K \text{ 时} \end{cases}$$

④难度分布约束: $\sum_{i=1}^m a_{i4} a_{i2} / ZF = ND$ (a_{i4} 定义为第 i 道题的试题难度值; ND 为试卷平均难度)。

⑤试卷估计用时: $\sum_{i=1}^m a_{i5} = T$, (a_{i5} 定义为第 i 道题的做题估计用时; T 为全卷考试时间)。

4 组卷策略和实现流程

4.1 常用组卷策略

从题库中选取满足要求的试题需要一定的算法和技巧,这些算法和技巧称为组卷策略。计算机智能组卷常用的组卷策略有优先权组卷策略、随机组卷策略、回溯组卷策略以及遍历组卷策略等^[4,5]。

4.2 组合分布组卷策略

由于直接采用回溯策略和遍历策略效率太低,因此在技能组卷中采用多种策略结合实现。技能点组合分布组卷策略是通过确定技能试卷的技能点分布确定技能试题的方法实现^[6]。整个组卷策略分成三个关键

阶段：参数验证优化、技能点组合方案生成、技能试卷生成。下面具体讨论三个阶段：

(1) 参数验证优化

阶段功能：根据组卷参数验证试卷总分约束是否满足。如果不满足则提示修改组卷参数；如果满足则根据技能模块内部技能点-分数分布验证知识点覆盖面约束是否满足。

知识点覆盖面约束验证方法：根据第 K 模块分数 $MKFB(K)$ 和知识点分数分布得到该模块取题数量 $S(K)$ 的取值区间 $[N, M]$ ， $M \geq S(K) \geq N$ 。再根据 $S(K)$ 的取值找出满足模块分数约束的技能点组合队列 $DL(K)$ 。

实现流程：

①首先统计出第 K 模块内技能点个数 $T(K)$ ，将 $T(K)$ 个技能点按照分数降序排列得到 K 模块内技能点有序序列 $JN(1)$ 、 $JN(2)$ 、……、 $JN(T(K))$ ，对应的难度有序序列为 $ND(1)$ 、 $ND(2)$ 、……、 $ND(T(K))$ ，分数序列为 $FS(1)$ 、 $FS(2)$ 、……、 $FS(T(K))$ ；

②按照技能点分数有序序列从左到右(分数从高到低)逐个累加技能点的分数，刚好满足以下条件 $SUM = FS(1) + FS(2) + \dots + FS(i) \geq MKFB(K)$ 时结束累加，则该模块最小取题数 $N = i - 1$ 。

③按照技能点分数有序序列从右到左(分数从低到高)逐个累加技能点的分数，刚好满足以下条件 $SUM = FS(T(K)) + FS(T(K) - 1) + \dots + FS(i) \geq MKFB(K)$ 时结束累加，如果 $SUM > MKFB(K)$ ，则该模块最大题数 $M = T(K) - i - 1$ ，若 $SUM = MKFB(K)$ ，则该模块最大题数 $M = T(K) - i$ 。

④经过上述②③两步确定了 N 和 M 的值，判断 N 和 M 的关系。如果 $M \geq N$ ，则表明 $MKFB(K)$ 可以在第 K 模块内能够成功组合技能点。反之，则表明 $MKFB(K)$ 不合理，不能在第 K 模块内成功组合技能点，需要进一步修改模块分数 $MKFB(K)$ 重新验证。

⑤若第 K 模块最后取得的值为 $4 \geq S(K) \geq 3$ ，则表明在第 K 模块中至少要取 3 个或者 4 个技能知识点才有可能满足模块分数约束。当 $S = 3$ 时，第 K 模块内有 3 种组合；当 $S = 4$ 时，第 K 模块内有 4 种组合，实际上这些组合中只有少部分满足第 K 模块分数约束，将满足约束的模块技能点组合放入队列

$DL(K)$ 。

⑥判断 $DL(K)$ 是否为空，如果为空表示没有满足约束的技能点组合，需要重新设定第 K 模块的模块分数 $MKFB(K)$ 并重新验证。

⑦按照⑤⑥方法逐个判断各个模块的 DL 队列，直到所有的队列均非空为止。

这里需要指出的是如果经过修正仍然无法成功验证，那么表明试题库内技能点分数分布不是很合理，有可能整体偏低或者偏高。

(2) 技能点随机组合分布组卷方案生成

阶段功能：对满足模块分数约束的技能点组合队列 $DL(K)$ 所确定的技能点进一步验证难度分布约束。

实现流程：

①在每个模块 DL 队列中分别随机选择一个组合连接形成一份技能点组合方案(代选技能点试卷)。假定该方案 SJ 的技能点共 P 个，技能点序列依次为 $SJJN(1)$ 、 $SJJN(2)$ 、……、 $SJJN(P)$ ，相应的技能难度分布依次是 $SJND(1)$ 、 $SJND(2)$ 、……、 $SJND(P)$ 。

②逐个分类统计难度得到方案难度分布，根据方案难度分布与组卷难度分布要求进行比较，如果误差在可接受范围内则输出该套技能点分配组卷方案。如果误差不可接受，那么重新随机选择并验证难度分布，直到有合理的技能点分配组卷方案为止。

③如果需要也可以按照该方法组出多份技能点分配组卷方案。

④如果在规定的时间内一直没有符合难度分布要求的技能点试卷生成，则表明试题库中技能点难度分布不是很合理，需要重新分配试题库技能难度。

(3) 技能点随机组合分布试卷生成

阶段功能：根据满足技能点难度分布的方案选择技能操作试题组成技能操作试卷。

实现流程：

根据满足技能点难度分布的方案 SJ 的技能点序列 $SJJN(1)$ 、 $SJJN(2)$ 、……、 $SJJN(P)$ ，从题库中按照技能点序列逐个随机选择符合技能点要求的试题组成考核试卷，这样经过多次组卷就可以形成相同模块分数分布、相同组卷难度、相同技能点分布、不同技能试题的套卷多份。

4.3 组合分布组卷流程

基于技能点组合分布组卷流程如图 2 所示。

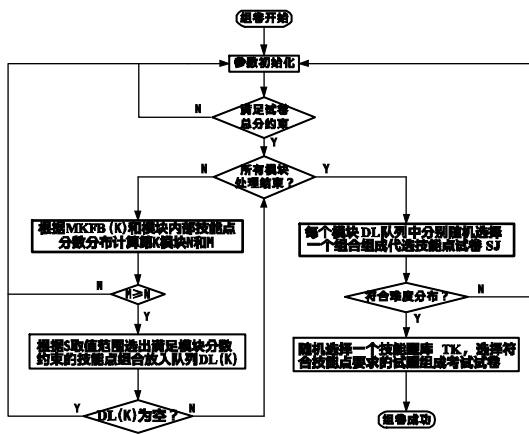


图 2 技能点随机组合分布试卷生成流程图

5 组卷效果分析

以《SQL Server 数据库》技能操作为例，整个技能操作划分成数据库(表)、约束索引、视图、高级应用、查询，共五大模块 48 个技能点，每个技能点建立了若干个操作试题。在一定组卷参数设定下考察基于技能点组合分布组卷策略的效率和质量。

5.1 组卷参数设定

组卷参数设定如下：①技能试卷总分 100 分；②技能模块分数分布为“数据库(表)14 分、约束索引 12 分、视图 20 分、高级应用 26 分、查询 28 分”；③技能试卷难度分布为“容易 10 分、较易 24 分、一般 32 分、较难 24 分、难 10 分，各项难度误差控制在 ±1 分”。

5.2 组卷参数验证优化

在当前组卷参数设定下按照技能点组合分布组卷策略，截取了组卷参数验证优化阶段各项数据如表 1 所示。

表 1 组卷参数验证阶段各项数据

技能模块	数据库(表)	约束索引	视图	高级应用	查询
模块编号 K	1	2	3	4	5
T(K)	8	8	10	11	11
$S(K) \in [N, M]$	[4, 5]	[4, 4]	[4, 5]	[5, 7]	[5, 7]
$\sum_{k=1}^K C_{T(K)}^{S(K)}$	126	70	462	1254	1254
DL(K)	20	25	56	104	91

表 1 中所有模块组卷技能点数目区间 $S(K)$ 的 $M \geq N$ 表明：所有模块都能够从题库中取得技能点分布。满足约束的模块技能点组合队列 DL(K) 都非空表明：可以从题库中取得符合知识点覆盖约束的技能点分布，当前题库技能知识点分布是合理的。

5.3 组卷效率分析

基于技能点组合分布组卷策略的主要影响因素是每个模块中组合数的规模。只要合理设计模块技能点和技能点分数，那么就能有效控制组合的规模。在当前组卷参数设定下考察技能组卷系统在 5 秒内产生各种难度技能组卷方案的有效(不重复)份数。考察 5 次随机限时组卷，组卷效率平均达到 7.72(份/秒)，即组卷生成 1 份满足要求试卷的时间平均只有 0.13 秒。这种组卷效率可以满足任何离线甚至在线考试系统组卷的时间要求。

5.4 组卷质量分析

现提取某次组卷中连续产生的 5 份有效组卷方案。通过分析组卷方案的难度分布和误差以及模块技能点和分数分布来衡量组卷方案的质量。5 份有效组卷方案难度分布和误差分析如表 2 所示，其中 1 号组卷方案模块技能点和分数分布如表 3 所示。从表 2 中可以得出：各项难度误差都在 ±1 分的可接受范围内，符合难度分布约束要求。从表 3 中可以发现：模块技能点分布数量比较均匀，完全符合模块分数分布约束要求。

表 2 组卷方案难度分布和误差分析

序号	技能点数	难度误差	难度分布				
			容易	较易	一般	较难	难
1	25	难度	11	23	31	24	11
		误差	+1	-1	-1	0	+1
2	25	难度	9	24	31	25	11
		误差	-1	0	-1	+1	+1
3	25	难度	9	23	32	25	11
		误差	-1	-1	0	+1	+1
4	25	难度	9	24	31	25	11
		误差	-1	0	-1	+1	+1
5	25	难度	10	23	32	24	11
		误差	0	-1	0	0	+1

表 3 1 号组卷方案模块技能点和分数分布

模块名称	技能点分布	个数	分数分布	模块分
数据库(表)	1, 5, 7, 8	4	4, 4, 4, 2	14
约束索引	9, 13, 14, 16	4	3, 4, 3, 2	12
视图	18, 19, 20, 21, 23	5	4, 5, 4, 5, 2	20
高级应用	27, 28, 30, 32, 33, 36	6	4, 5, 2, 5, 4, 6	26
查询	38, 40, 42, 45, 47, 48	6	4, 5, 6, 4, 4, 5	28
技能点个数汇总		25	试卷总分 100	

6 总结

采用基于技能点构建技能题库完全符合技能操作的特点，具有题库构建简便、易维护、易使用的优点。同时本文提到的使用组合分布实施技能点组卷的方法具有方法简便、组卷效率高、组卷质量优的特点。

(下接第 212 页)

参考文献

- 1 王宇颖,侯爽,郭茂祖.题库系统试卷自动生成算法研究.哈尔滨工业大学学报, 2003(3):342-346.
- 2 Tan Q. Application Research of Apriori Association Rule Algorithm in the Analysis of Grades of Examination Paper. Journal of Xinyang Normal University(Natural Science Edition), 2009(2):201-205.
- 3 华如海,王俊普,郑全,等.基于约束满足的智能组卷方法的研究与实现.计算机应用研究, 2000(11):20-22.
- 4 Sun XY. Study on Algorithm of Intelligent Test Paper. 2008 International Conference on MultiMedia and Information Technology, 2008.86-89.
- 5 王雍钧,黄毓瑜.基于知识点题型分布和分值的智能组卷算法研究.计算机应用与软件, 2004,21(8):111-113.
- 6 王友仁,张岩,崔江,等.智能组卷系统的建模与算法研究.系统工程理论与实践, 2004,(9):85-89.