

文章编号: 1001-0920(2004)09-1026-04

社会考试评卷人分组的多目标优化模型

汪定伟, 刘 铸

(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 针对社会考试的考卷评阅人的优化分组问题, 建立了一个多目标的非线性 0-1 整数规划的优化模型, 其目标是极小化阅卷差错率的同时极大化阅卷速度. 提出了一种基于目标模糊满意度的多目标加权和方法, 并开发了一个针对此类问题求解的遗传算法. 通过对大量源于实际算例的计算, 证明以上方法可以在实用中取得满意结果.

关键词: 考试组织; 多目标决策; 最优化; 遗传算法

中图分类号: TP278 **文献标识码:** A

Multi-objective optimization model for grouping reviewers of social examination

WANG Dingwei, LIU Zhu

(School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China
Correspondent: WANG Dingwei, E-mail: dwwang@mail.neu.edu.cn)

Abstract: To solve the grouping reviewer problem of social examination, a nonlinear 0-1 integer programming with multiobjectives optimization is presented. Its two objectives are to minimize the total error rate and to maximize the total reviewing speed. A weighted sum method based on fuzzy satisfactory levels of objectives is proposed to treat the multiple objectives. Then, a genetic algorithm with sequence encoding and PMX crossover is developed to solve this kind of problems. The computation on a large number of examples with practical data shows the satisfactory results of the methods in practical applications.

Key words: examination organization; multiobjective decision; optimization; genetic algorithm

1 引言

随着我国人才市场和劳动市场管理的日益规范化, 知识水平与劳动技能的考试逐步走向社会化^[1,2]. 由于社会考试涉及面广、参考人数多、考试规模大, 如何用系统工程的方法解决考试组织与管理中的各种问题已成为一个亟待解决的问题. 评卷人分组优化问题就是其中的一个主要问题.

社会考试评卷的公正性是全社会普遍关注的问题. 为减少评卷中的差错, 主观题一般均采用多人评阅的方式. 即每份试卷都经过多人评阅, 如果评阅结

果一致, 则接受结果; 否则由高一层的审核员审核复评. 现有的考试信息管理系统可以根据数据统计, 获得所有评阅人的阅卷速度和评卷的一致率(或差错率). 我们的问题是如何对评阅人进行分组, 使得总的评卷差错降到极小, 而总的评阅速度更快. 评卷人分组优化虽然是一个新问题, 但它本质上仍是一种聚类分析(Clustering Analysis)问题^[3,4]. 本问题与制造系统中的工件或机器的分组问题极其相似^[5,6], 不同之处在于评阅人分组问题中的两个分组指标(高的阅卷速度和低的差错率)是相互矛盾的, 这就

收稿日期: 2003-10-14; 修回日期: 2003-12-31.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60084003; 70171056).

作者简介: 汪定伟(1948—), 男, 江西彭泽人, 教授, 博士生导师, 从事复杂系统建模与优化、智能优化与软计算等研究; 刘铸(1963—), 男, 辽宁沈阳人, 副研究员, 博士生, 从事考试管理、系统工程等研究.

不得不用多目标决策的方法来解决^[7,8]。

本文提出了一个描述评阅人分组优化的多目标的非线性 0-1 整数规划模型。由于两个指标差异性很大, 本文提出一种基于模糊集-目标满意度的偏爱解的选择方法, 并开发了一个基于遗传算法的模型求解算法^[9,10]。通过对大量源于实际的算例进行计算, 取得了满意的结果。

2 问题的描述与模型

社会考试的阅卷人分组优化问题可描述如下: 设有 m 个评卷人, 拟分为 n 个阅卷组, 每组 m 人。对于评卷人 i , 其阅卷速度为 v_i , 阅卷一致率为 α ($0 < \alpha < 1$), $i = 1, 2, \dots, m$ 。其中阅卷一致率 α 表示评卷人 i 对每张试卷的评价和公众一致的概率。假设某个评价与公众评价不一致即为出现差错, 那么 $(1 - \alpha)$ 即为评卷人 i 出现差错的概率。对于一个评卷组, 只有所有评卷人都出现差错时才可能造成错判, 因此对于有 m 个评卷人的阅卷组, 其出错概率为 $(1 - \alpha)^m$ 。假设在阅卷中不允许跨组交叉阅卷, 阅卷组 j 的阅卷速度就取决于其中最慢的评卷人的速度, 即 $V_j = \min\{v_i | i \text{ 被分到第 } j \text{ 组}\}$ 。问题的目标是希望对评卷人合理分组, 使得总的出错率达到极小, 而总的阅卷速度达到极大。

设模型的变量为

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{评卷人 } i \text{ 被分配到第 } j \text{ 组;} \\ 0, & \text{其他;} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, m, n \quad (1)$$

则问题的两个目标可定义为

$$F_1 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (1 - \alpha)^{x_{ij}}$$

$$F_2 = \sum_{j=1}^n \min\{v_i | x_{ij} = 1, \forall i\}$$

于是以上问题可用如下数学模型表达:

$$\min F_1 \quad (2)$$

$$\max F_2 \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = m, j = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, m, n, \quad (5)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1, i = 1, 2, \dots, m, n, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

模型 (2) ~ (6) 是一个多目标的非线性 0-1 整数规划模型。模型 (2) 和 (3) 分别表示问题的两个目标, 即极小化总的差错率和极大化总的阅卷速度;

(4) 代表各阅卷组的人数约束; (5) 限定一个评卷人只能分配到一个组; (6) 为变量类型约束。由于目标函数 F_1 是高次的, F_2 是非解析的, 以上问题不能用普通的数学规划方法求解。

从图论的角度看, 以上问题也可看作多指标的 p -分图问题^[11]。

3 目标的模糊满意度

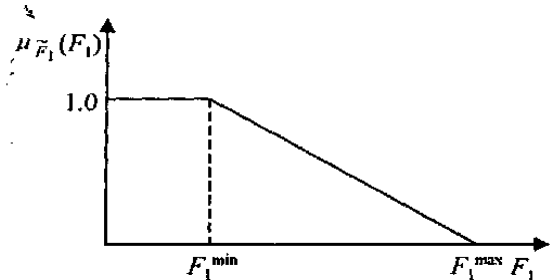
常用多目标问题的处理方法是加权和的方法^[11]。但对于本文的问题, 由于两个目标函数的值域相差很大, 权重系数的确定十分困难。为此, 本文提出基于模糊满意度的加权和方法。

设 F_1^{min} 和 F_2^{max} 分别为单独考虑目标 F_1 和目标 F_2 时所获得的单目标优化的最优值, 而 F_2^{min} 和 F_1^{max} 为对应的未被考虑的目标值, 则两个目标的满意度可分别用模糊集定义为^[12]:

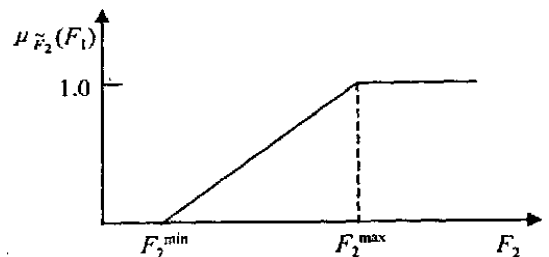
$$\mu_{\tilde{F}_1}(F_1) = \begin{cases} 1, & F_1 < F_1^{min}; \\ \frac{F_1^{max} - F_1}{F_1^{max} - F_1^{min}}, & F_1^{min} \leq F_1 \leq F_1^{max}; \\ 0, & F_1 > F_1^{max}; \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{\tilde{F}_2}(F_2) = \begin{cases} 1, & F_2 > F_2^{max}; \\ \frac{F_2 - F_2^{min}}{F_2^{max} - F_2^{min}}, & F_2^{min} \leq F_2 \leq F_2^{max}; \\ 0, & F_2 < F_2^{min}; \end{cases} \quad (8)$$

两个模糊集的隶属度函数如图 1 所示。



(a) $\mu_{\tilde{F}_1}(F_1)$



(b) $\mu_{\tilde{F}_2}(F_2)$

图 1 两个模糊满意度的隶属度函数

设 w_1 和 w_2 分别为目标 F_1 和 F_2 的权重, 取两个目标的模糊满意度的加权和为新的目标函数, 即

$$\max F = w_1 \mu_{\bar{F}_1}(F_1) + w_2 \mu_{\bar{F}_2}(F_2). \quad (9)$$

用式(9)替代原来的目标函数(2)和(3),将原问题化为单目标的非线性 0-1 整数规划问题。但是,由于问题目标 F_2 是非解析的,用遗传算法求解将是一个好的选择

4 模型求解的遗传算法

为避免复杂的约束处理问题,遗传算法采用顺序编码。即:令

$$X = [x_1, \dots, x_m, |x_{m+1}, \dots, x_{2m}, | \dots, |x_{m \cdot m+1}, \dots, x_m]$$

第 1 组 第 2 组 ... 第 n 组

其中: $x_i = k$ 为 1 到 mn 之间的整数,且不存在 $x_i = x_j$, 所有 i, j 。即 X 是 1 到 mn 的 mn 个自然数的任意顺序。 $x_i = k$ 表示评阅人 k 排在位置 i 前 m 个位置上的评阅人组成第 1 组,以后每 m 个位置上的评阅人组成一个组,这样共组成了 n 个组

顺序编码的优点是编码本身保证约束(4)和(5)得到满足,且针对顺序编码开发的多种修复合法性的遗传算子(如 PMX, OX, CX 等),可以方便地选择采用^[9,10]。其缺点是解对编码是一对多的,即存

在较大的编码冗余

本文直接采用目标函数(9)作为适值函数,采用双切点交叉,用 PMX 作合法性修复,并采用换位变异及正比选择策略,指定最大代数作为停止准则,即可设计出求解评阅人分组的遗传算法^[9,10]。

5 计算举例

以上遗传算法用 FORTRAN 编程,在 P4/760 微机上计算,取得了很好的效果。这里介绍一个源于实际的小例子。设某社会考试的评卷工作聘请了 15 个评阅人,计划分为 5 个评卷组,每组 3 人,各评阅人的评卷一致率和评阅速度如表 1 所示

以 F_1 为单一目标,用遗传算法求解,获得 $F_1^{\min} = 0.647$, 对应的 $F_2^{\min} = 224$ 。以 F_2 为单一目标,用遗传算法求解,获得 $F_2^{\max} = 244$, 对应的 $F_1^{\max} = 1.684$ 。

按以上值构造两个目标模糊满意度函数(7)和(8),根据决策者对两个目标的权重构造加权和形式的目标函数(9),即可用遗传算法求解。当 w_1 和 w_2 取不同值时获得的非劣解的结果如表 2 所示

表 1 各评阅人的技术参数

评阅人 l	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
一致率 α	0.98	0.95	0.92	0.97	0.94	0.98	0.93	0.95	0.98	0.90	0.91	0.89	0.94	0.97	0.90
速度 v_i (份/时)	45	50	55	48	50	43	49	55	48	58	52	57	49	40	53

表 2 不同权重下获得的非劣解

非劣解 $N\alpha$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
权重 1 w_1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
权重 2 w_2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
总满意度 F	1.0	0.917	0.835	0.788	0.768	0.747	0.753	0.784	0.846	0.905	1.0
总差错率 $F_1/\%$	1.684	1.504	1.504	1.016	1.016	1.016	0.832	0.678	0.678	0.653	0.647
速度 F_2 /(份/h)	244	244	244	241	241	241	237	231	231	226	224

根据决策者的偏好,希望差错率能控制在千分之一以下,于是选择非劣解 7 为偏爱解。即两个目标的权重取为: $w_1 = 0.6, w_2 = 0.4$ 。此时,总差错率为 0.832%, 总的阅卷速度为 237 份/h。非劣解与偏爱

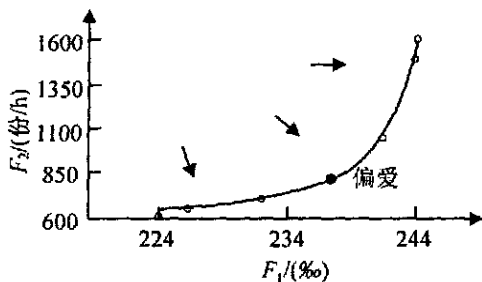


图 2 非劣解及偏爱解图示

表 3 评阅人的分组结果

阅卷组	评阅人	组的差错率/%	组评阅速度/(份/h)
1	11, 9, 7	0.126	48
2	2, 13, 5	0.180	49
3	1, 4, 15	0.060	45
4	8, 10, 3	0.400	55
5	14, 6, 12	0.066	40

解的分布见图 2, 评阅人分组的结果见表 3

决策者对以上结果表示满意。根据计算经验,并由表 3 的结果对照表 1 可见,评阅人分组中按一致率高低搭配可以获得更低的总出错率,而按评阅速度尽可能相近原则分组则可获得更高的总阅卷速

度 这两个分组原则不一致, 因此所有非劣解都是兼顾这两个原则的结果

6 结 语

应用系统工程方法解决社会考试的组织与管理问题是当前人力资源考核评估与管理中的一个重要研究领域 本文针对考试阅卷的评阅人分组问题, 建立了一个多目标的非线性 0-1 整数规划的优化模型 在多目标的处理上, 本文提出了基于目标模糊满意度的加权和的方法, 并开发了一个针对此类问题求解的遗传算法 通过对大量源于实际算例的计算, 证明了本文方法可以在实用中取得满意结果

参考文献(References):

- [1] 教育部考试中心《中国考试》杂志社 考试研究论文集[M] 北京: 高等教育出版社, 1992
- [2] 于信凤 考试学引论[M] 沈阳: 辽宁人民出版社, 1997
- [3] Hartigan J A. *Clustering Algorithms*[M] New York: John Wiley & Sons, 1975
- [4] Ferligoj A, Batagelj Direct multicriteria clustering algorithms[J]. *J of Classification*, 1992, 9(1): 43-61
- [5] Charlaborty K, Roy U. Connectionist models for part-family classifications [J]. *Computer & Industrial Engineering*, 1993, 14(2): 189-198
- [6] Chung Y, Kusiak A. Grouping parts with neural network [J]. *J of Manufacturing Systems*, 1994, 13(2): 262-275
- [7] Steuer R E. *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation, and Application*[M] New York: Wiley, 1986
- [8] Cai X, Li KN, A genetic algorithm for scheduling staff of mixed skills under multi-criteria [J]. *European J of Operational Res*, 2001, 125(2): 359-369
- [9] Gen M, Cheng R. *Genetic Algorithm and Engineering Design*[M] New York: John Wiley & Sons, 1997
- [10] Michalewicz Z. *Genetic Algorithm + Data Structure = Evolution Programs*[M]. 3rd edition. New York: Springer-Verlag, 1996
- [11] Gerber M U, Kobler D. Algorithmic approach to the satisfactory graph partitioning problem [J]. *European J of Operational Res*, 2001, 125(2): 283-291
- [12] 方述诚, 汪定伟 模糊数学与模糊优化[M] 北京: 科学出版社, 1997

(上接第 1025 页)

- [4] Lee KR, Kim JH, Jeung ET, et al Output feedback robust H_∞ control of uncertain fuzzy dynamic systems with time-varying delay [J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 2000, 8(6): 657-664
- [5] Jeung ET, Oh DC, Kim JH, et al Robust controller design for uncertain linear systems with time-varying delays: LM I approach [J]. *Automatica*, 1996, 32(8): 1229-1231
- [6] Esfahani SH, Petersen IR. An LM I approach to output-feedback guaranteed cost control for uncertain time-delay systems [J]. *Int J of Robust and Nonlinear Control*, 2000, 10(4): 157-174
- [7] Xie L, De CE Souza Delay-dependent robust stability and stabilization of uncertain linear delay systems: A linear matrix inequality approach [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1997, 42(8): 1144-1148

下 期 要 目

- | | |
|--|----------|
| 供需链管理中合同定量研究及其发展 | 张 龙, 等 |
| 一种基于分类一致性的决策规则获取算法 | 代建华, 潘云鹤 |
| 量子系统控制中状态模型的建立 | 丛 爽 |
| 无模型控制方法对多变量耦合系统控制的应用研究 | 韩志刚, 等 |
| 基于 if-then 规则库的生产全过程优化及其在加热炉温度设定中的应用 | 陈 庆, 等 |
| 分层交互式进化计算及其应用 | 巩敦卫, 等 |
| 一类非线性系统的在线建模新方法 | 魏瑞轩, 等 |
| 基于遗传小波神经网络的冷孔轧制力预报研究 | 黄 敏, 等 |
| 视觉匀度分析的改进梯度指数法及其应用 | 常发亮, 等 |