

DOI 编码: 10.3969/j.issn.1672-884x.2017.01.010

基于灰色关联分析的双边公平匹配决策模型及应用

刘勇 熊晓旋 全冰婷
(江南大学商学院)

摘要: 稳定性、公平性和满意度是衡量匹配方案优劣的重要依据,其直接影响和决定着匹配决策的质量和效率。针对含有灰色、模糊等不确定信息的双边匹配决策问题,运用灰色关联分析方法,从匹配主体的满意度、匹配方案的稳定性和公平性整体视角,构建基于满意度最大、满意度偏差最小的双边匹配决策多目标优化模型,并采用模拟植物生长算法,求解最优匹配方案,利用模型解决江苏省技术知识供需匹配问题。

关键词: 不确定信息; 双边匹配; 公平性; 灰色关联分析

中图分类号: C93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-884X(2017)01-0086-07

Two-Sided Fair Matching Decision-Making Method and Application Based on Grey Incidence Analysis

LIU Yong XIONG Xiaoxuan QUAN Bingting
(Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu, China)

Abstract: The stability, fairness and satisfaction are the important basis of measuring the pros and cons of the matching schemes, and they directly influence and determine the quality and efficiency of matching decision-making. With respect to the two-sided matching decision-making problems with grey and fuzzy information, from the angle of the satisfaction degree of matching stakeholders, and the stabilities and fairness of matching schemes, the thought and method of grey incidence analysis is exploited to establish a novel two-sided fair matching decision-making model. In this paper, to begin with, some concepts such as matching information system, ideal objects, satisfaction coefficient and fair matching are defined, and then grey incidence analysis is utilized to construct a two-sided fair matching decision-making multi-objective optimal model based on the satisfaction degree maximization and distance deviation minimum, and then Plant Growth Algorithm is exploited to solve the matching schemes; finally, the proposed model is exploited to deal with the real problem of the matching supply and demand of technological knowledge in Jiangsu Province.

Key words: uncertain information; two-sided matching; fairness; grey incidence analysis

在现实生活中,不同群体间主体的相互配对问题普遍存在,为有效解决此类匹配问题,GALE等^[1]最早提出婚姻匹配问题,并设计了求解算法。针对GS匹配方法的缺陷,ROTH^[2]正式给出双边匹配的概念,并界定了“双边匹配”和“双边”的概念,之后完善了Gale-Shapley双边匹配算法^[3~5],并将双边匹配理论应用到医院与实习生的双边匹配^[6]、同居伙伴的双边匹配^[7,8]、入学新生与学校的双边匹配^[9,10]、风险投资商与风险企业匹配^[11,12]、军事人员与工作任

务匹配^[13]、电子交易匹配^[14]、金融市场匹配^[15]、房屋交易匹配^[16]、家政服务人员与雇主匹配^[17]等领域。

为使双边匹配理论得到进一步发展和完善,学者们从不同的角度采用不同的研究方法构建双边匹配方法和模型,概括起来,这些研究主要从经济学和决策科学两个方面展开。对于前者,学者们利用经济学理论、博弈论、实验经济学等,对双边匹配结构、双边匹配方案的稳定性、双边匹配算法、双边匹配的影响因素、匹配

收稿日期: 2016-07-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71503103); 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(2015JDZD04); 江苏省社会科学基金资助项目(14GLC008); 江苏省自然科学基金资助项目(BK20150157); 江苏省研究生培养创新工程资助项目(SJLX16_0489)

机制的设计等问题进行探讨。如 ALPEM 等^[18]及 HALABURDA^[19]分别从经济博弈的视角研究双边匹配问题;WANG 等^[20]设计了市场匹配理论,并从实证的角度探讨匹配机制。对于后者,学者们采用多目标决策、多属性决策、决策支持系统等理论与方法,构建基于模糊理论的匹配模型^[14,21,22]、基于证据理论的匹配模型^[23]、基于前景理论的匹配模型^[24],对双边匹配的满意度^[25~27]、匹配主体决策心理行为^[28]、匹配方案的稳定性^[29,30]、匹配算法^[31~33]等展开研究,并利用计算机技术和网络信息技术设计决策支持系统。如 WONG 等^[21,22]针对客户服务中流行服装的匹配问题,提出一种模糊多准则决策方法,即“If-then”筛选规则和属性匹配满意度的集结方法,计算成对的服装协调满意指数,从而建立面向属性匹配评价的智能专家系统,以帮助设计者将服饰进行协调匹配;SHIBA^[34]构建了非对称性双边匹配模型,并利用计算机模拟和仿真对匹配结果进行仿真。

双边匹配决策的相关研究大多是从匹配主体的满意度角度,探讨匹配方案的稳定性,而缺乏从匹配主体的满意度和匹配方案的稳定性与公平性角度,整体探究匹配决策问题;同时,考虑到匹配决策系统包含大量的模糊信息、灰色信息,而基于传统的匹配决策方法难以有效处理此类匹配问题。鉴于此,笔者利用灰色关联分析方法,从匹配主体的满意度、匹配方案的稳定性与公平性角度出发,构建双边公平匹配决策模型,并以实例验证其有效性与实用性。

1 基于灰色关联分析的双边匹配满意度测度

在求解双边匹配问题时,通常将匹配主体的满意度和匹配方案的稳定性与公平性作为衡量匹配方案优劣的重要依据。这是由于满意性能够使匹配主体获得相应的满意的匹配对象,进而产生双方主体满意的匹配方案;其稳定性可以确保匹配主体间能够维系稳定的匹配关系;其公平性能够降低双边主体的利益冲突。可见,得到一个兼具稳定性、公平性和满意性的匹配方案,可以极大地提升匹配决策的质量和效率。鉴于此,本研究从稳定性、公平性和满意性整体视角构建双边匹配决策模型。

在双边匹配决策问题中,设 $A = \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_m\}$ 为甲方主体集合,其中, $m \geq 2$, $a_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 为第 i 个甲方主体; $B = \{b_1, \dots, b_j, \dots, b_n\}$ 为乙方主体集合,其中, $n \geq 2$, $b_j (j =$

$1, 2, \dots, n)$ 为第 j 个乙方主体。设 $C = \{c_1, \dots, c_k, \dots, c_p\}$ 为甲方主体 a_i 评价乙方主体 b_j 的属性集合, c_k 为第 k 个评价属性, a_{ijk} 为甲方主体 a_i 对乙方主体 b_j 关于 c_k 的属性值; $\omega_k (k = 1, 2, \dots, p)$ 为属性 c_k 的权重, 且 $\sum_{k=1}^p \omega_k = 1$; 设 $D = \{d_1, \dots, d_t, \dots, d_q\}$ 为乙方主体 b_j 评价甲方主体 a_i 的属性集, d_t 为第 t 个评价属性, b_{ijt} 为乙方主体 b_j 关于属性 d_t 评价甲方主体 a_i 的属性值; $\eta (t = 1, 2, \dots, q)$ 为属性 d_t 的权重, 且 $\sum_{t=1}^q \eta = 1$ 。

对于甲方主体 a_i 和乙方主体 b_j , 其能否形成匹配主要依据彼此对对方的满意程度, 而甲乙双方主体对彼此满意度往往从多方面或者多准则属性进行测度。由于客观世界的复杂性、不确定性以及认知的有限性, 甲乙双方主体所构建而成的匹配系统包含大量的灰色、模糊等不确定信息, 属性值往往以区间数的形式给出。

定义 1 设 $IS = (U, E, V, f)$ 为一匹配信息系统, 如果满足以下 4 个条件: ① $U = \{A, B\}$ 为匹配主体集合, A 和 B 分别为甲、乙方主体; ② $E = \{C, D\}$ 为评价属性集合, C 和 D 分别为甲、乙方评价对方属性集合; ③ $V = \{V_C, V_D\}$, $V = V_C \cup V_D = \cup a_{ijk} \cup b_{ijt}$, a_{ijk} 和 b_{ijt} 分别为甲方主体 a_i 和乙方主体 b_j 对对方关于 c_k 和 d_t 的属性值; ④ $f = \{f_A, f_B\}$ 为信息函数集合, $f_A: A \times C \rightarrow V_C$ 和 $f_B: B \times D \rightarrow V_D$ 分别为甲、乙方主体的信息函数, 则称 $IS = (U, E, V, f)$ 为匹配信息系统, 记作 MIS 。

定义 2 设 $\mu: A \rightarrow B$ 为一种法则, 对于 $\forall a_i \in A, \forall b_j \in B$, 如果满足 $\mu(a_i) = b_j$, 则分别称 μ 和 (a_i, b_j) 为甲方主体和乙方主体的匹配方案和匹配对。

注: $\mu(a_i) = b_j$ 表示甲方主体 a_i 与乙方主体 b_j 在 μ 匹配, $\mu(a_i) = a_i$ 表示甲方主体 a_i 在 μ 未匹配, 而 $\mu(b_j) = b_j$ 表示乙方主体 b_j 在 μ 未匹配。

匹配双方主体能否形成配对, 在于双方对彼此的满意度大小, 满意度越高, 双方主体之间更容易产生配对。考虑到理想匹配对象是匹配主体最满意的匹配主体, 可认为匹配主体对理想匹配对象的满意度是 1。对于任意甲方主体 a_i 和乙方主体 b_j , 如果分别与其理想匹配对象关于属性集 C 和 D 越接近, 则表明, 甲方主体 a_i 和乙方主体 b_j 分别对乙方主体 b_j 和甲方主体 a_i 满意度越高; 反之, 满意度较低。鉴于此, 可利用匹配主体与理想匹配对象关于属性集合的相似程度或者关联程度, 测度匹配对象 a_i 和 b_j 对彼此的满意程度。考虑到灰色关联分析方

法,可根据序列曲线几何形状来判断不同序列之间的联系^[35]。下面利用其定义来匹配主体的理想匹配对象、满意度系数和满意度。

定义 3 对于 $\forall a_i \in A, \forall b_j \in B (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$, 属性集 C 和 D , 如果 $a_k^0 = [\underline{a}_{ijk}^0, \bar{a}_{ijk}^0] = \max_i \max_j \{a_{ijk}\}$ 和 $b_t^0 = [\underline{b}_{ijt}^0, \bar{b}_{ijt}^0] = \max_i \max_j \{b_{ijt}\}$, 则分别称

$$a^0 = (a_1^0, \dots, a_k^0, \dots, a_p^0) = (\max_i \max_j \{a_{ij1}\}, \dots, \max_i \max_j \{a_{ijp}\}) = ([\underline{a}_{ij1}^0, \bar{a}_{ij1}^0], \dots, [\underline{a}_{ijp}^0, \bar{a}_{ijp}^0]); \quad (1)$$

$$b^0 = (b_1^0, \dots, b_t^0, \dots, b_q^0) = (\max_i \max_j \{b_{ij1}\}, \dots, \max_i \max_j \{b_{ijq}\}) = ([\underline{b}_{ij1}^0, \bar{b}_{ij1}^0], \dots, [\underline{b}_{ijq}^0, \bar{b}_{ijq}^0]) \quad (2)$$

为甲方主体 A 和乙方主体 B 的理想匹配对象。

定义 4 对于 $\forall a_i \in A, \forall b_j \in B (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$, 如果 $a_{ijk}^0 = [\underline{a}_{ijk}^0, \bar{a}_{ijk}^0]$, $a_{ijk} \in [\underline{a}_{ijk}, \bar{a}_{ijk}]$, $b_{ijt}^0 = [\underline{b}_{ijt}^0, \bar{b}_{ijt}^0]$, $b_{ijt} \in [\underline{b}_{ijt}, \bar{b}_{ijt}]$, 则分别称

$$\alpha_{ijk} = \frac{\min_i \min_j \min_k a_{ijk}^+ + \rho \max_i \max_j \max_k a_{ijk}^+}{a_{ijk}^+ + \rho \max_i \max_j \max_k a_{ijk}^+}; \quad (3)$$

$$\beta_{ijt} = \frac{\min_i \min_j \min_t b_{ijt}^+ + \rho \max_i \max_j \max_t b_{ijt}^+}{b_{ijt}^+ + \rho \max_i \max_j \max_t b_{ijt}^+} \quad (4)$$

为在属性 c_k 和 d_t 下匹配对象 a_i 和 b_j 对匹配对象 b_j 和 a_i 双方的满意度系数。其中

$$a_{ijk}^+ = \sqrt{\frac{(a_{ijk}^0 - a_{ijk})^2 + (\bar{a}_{ijk}^0 - \bar{a}_{ijk})^2}{2}}; \quad (5)$$

$$b_{ijt}^+ = \sqrt{\frac{(b_{ijt}^0 - b_{ijt})^2 + (\bar{b}_{ijt}^0 - \bar{b}_{ijt})^2}{2}}. \quad (6)$$

定义 5 对于 $\forall a_i \in A, \forall b_j \in B$, 属性集 C 和 D , $\alpha_{ijk}, \beta_{ijt}, \omega_k, \eta_t$, 分别称 $\alpha_{ij} = \sum_{k=1}^p \alpha_{ijk} \omega_k, \beta_{ij} = \sum_{t=1}^q \beta_{ijt} \eta_t$ 为匹配对象 a_i 和 b_j 对匹配对象 b_j 和 a_i 的满意度。

根据上述定义和灰色关联分析的内涵,可知,对于甲方主体 a_i , 与其理想匹配对象的关联

度越大,表明其对乙方主体 b_j 满意度越高;对于乙方主体 b_j , 与其理想匹配对象的关联度越小,表明其对甲方主体 a_i 评价越差,满意度越低;而对于整个匹配系统,存在一个最低满意度,其匹配主体表示能够进入匹配系统的阈值,当满意度高于或等于阈值,匹配主体才会愿意合作;否则,匹配主体不会愿意参与到匹配决策中来。设 $\lambda > 0$ 表示匹配系统主体的满意阈值,若 $\alpha_{ij} \geq \lambda$,则表示甲方主体 a_i 认为乙方主体 b_j 是可接受的;若 $\beta_{ij} \geq \lambda$,则表示乙方主体 b_j 认为甲方主体 a_i 是可接受的。在匹配方案中,当 $\mu(a_i) = a_i$, 记甲方主体 a_i 的满意度 $\alpha_{ij} < \lambda$; 当 $\mu(b_j) = b_j$, 记乙方主体 b_j 的满意度 $\beta_{ij} < \lambda$ 。

依据匹配对象 a_i 和 b_j 对彼此的满意度,可确定甲方主体 A 对乙方主体 B 的满意度矩阵 $\alpha = [\alpha_{ij}]_{m \times n}$ 和乙方主体 B 对甲方主体 A 的满意度矩阵 $\beta = [\beta_{ij}]_{m \times n}$ 。

考虑甲、乙主体的不同满意度和双方匹配地位的公平性,可采用甲、乙方主体对匹配方案或匹配对象满意度的偏差描述和测度。鉴于此,可定义匹配主体的公平匹配方案。

定义 6 设 $\mu = \{\mu_1, \dots, \mu_s, \dots, \mu_t\}$ 和 x_{ij} 分别表示由匹配主体集合 A 和 B 所形成的匹配方案集合和主体 a_i, b_j 的匹配集值,对于 $\forall a_i \in A, \forall b_j \in B (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$, 如果在匹配方案 μ_s 下匹配主体的满意度偏差满足

$$f(\mu_s) = \min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |\alpha_{ij} - \beta_{ij}| x_{ij}, \quad (7)$$

则称 μ_s 为双边主体公平匹配方案。其中, $x_{ij} = \{0, 1\}$, 且 0 和 1 分别表示主体 a_i, b_j 未形成匹配对和产生匹配。如果 $f(\mu_s) = 0$, 则 μ_s 表示双边主体绝对公平的匹配方案。

根据分析,若 (a_i, b_j) 为 μ 的匹配对, 则 (b_j, a_i) 也为 μ 甲、乙主体匹配对。甲、乙匹配主体能否形成匹配,在于双方互评满意度的高低、匹配阈值大小和匹配方案的公平性。甲、乙方主体的双边匹配问题见图 1。左图表示甲、乙方

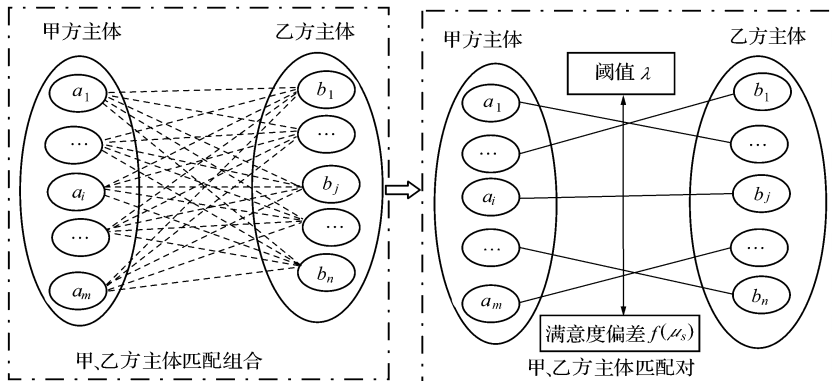


图 1 甲、乙双方主体双边匹配

主体的匹配组合,右图表示考虑由匹配主体的满意度、匹配阈值和匹配方案的公平性而产生的甲、乙方主体匹配对。

2 双边公平匹配决策模型

设 x_{ij} 为决策变量,其中, $x_{ij} \in \{0,1\}$ 。如果 $x_{ij}=1$,则表明甲方主体 a_i 与乙方主体 b_j 完成匹配; $x_{ij}=0$ 表示甲方主体 a_i 与乙方主体 b_j 未形成匹配。对于能否促进更多甲、乙双方主体间的公平匹配组合的形成,主要取决于甲、乙双方主体对彼此的满意度最大化和匹配方案满意度偏差最小化双目标的实现程度,依据甲方主体 a_i 对乙方主体 b_j 的偏好矩阵 $\alpha = [\alpha_{ij}]_{m \times n}$ 和乙方主体 b_j 对甲方主体 a_i 的偏好矩阵 $\beta = [\beta_{ij}]_{m \times n}$,可构建多目标优化模型

$$\max Z_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} x_{ij}; \quad (8a)$$

$$\max Z_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \beta_{ij} x_{ij}; \quad (8b)$$

$$\min Z_3 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |\alpha_{ij} - \beta_{ij}| x_{ij}; \quad (8c)$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq \theta_i, & i = 1, 2, \dots, m; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq \sigma_j, & j = 1, 2, \dots, n; \\ 1 \leq \theta_i, 1 \leq \sigma_j, \lambda \leq \alpha_{ij}, & \lambda \leq \beta_{ij}; \\ x_{ij} \in \{0,1\}, i = 1, 2, \dots, m, & j = 1, 2, \dots, n, \end{cases} \quad (8d)$$

其中,式 8(a)~式(8c)为目标函数,式(8a)表示最大化所有匹配对象对需求方的满意度值之和;式(8b)表示最大化所有需求方对匹配对象的满意度值之和;式(8c)表示甲方群体 A 和乙方群体 B 在匹配过程中的公平性;式(8d)中 θ_i , σ_j 分别表示匹配对象 a_i 和 b_j 最多能匹配的对象个数,而 $\lambda \leq \alpha_{ij}$, $\lambda \leq \beta_{ij}$ 表示甲方与乙方主体的满意度需满足阈值。

对于这一多目标优化模型,可采用蚁群算法、遗传算法、模拟退火算法、粒子群算法、鱼群算法、模拟植物生成算法等智能算法编程求解。模拟植物生长算法由李彤等^[36]提出,是将优化问题的解空间当作植物的生长环境,将最优解当作光源,模拟真实植物的向光性机理(形态素浓度理论),建立枝叶在不同光线强度环境下的快速生长的演绎方式,实现人工植物在优化问题解空间中,从初始状态到完整形式的终态(没有新的树枝生长)的过程。与其他算法相比较,模拟植物生长算法能够以较短的运算时间寻找到最优解,其对参数设置的依赖性较低,无需编

码和解码,方便快捷^[37,38],因此,本研究选择该算法求解多目标最优匹配方案。

3 案例分析

高校和企业的合作选择是一个典型的双边公平匹配决策问题。为加快科技成果向现实生产力转化,促进科技和经济紧密结合,江苏省设立科技成果转化专项资金,重点资助创新水平高、产业带动性强、具有自主知识产权的重大科技成果转化项目,该类项目要求企业与高校科研机构开展研发合作和实现科技成果转化。由此,各级市科技主管部门在组织项目申报前期,将开展企业与高校的合作,以确保申请项目的可行性。江苏省无锡市科技局征集得到 5 个符合当地需求的高校课题组和 4 家企业,这 5 个课题组分别来自南京大学、东南大学、南京航空航天大学、清华大学、江南大学,为行文方便,将其分别记为 $(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$; 4 个企业分别为兴澄特种钢铁有限公司、江阴奔翔生物科技有限公司、无锡赛德生物工程有限公司、无锡威孚集团有限公司,将其分别记为 (b_1, b_2, b_3, b_4) 。为更好地实现高校发明专利技术与企业匹配,科技局需要邀请一些专家进行调查访谈,并收集和整理高校与企业间的相关信息。根据对高校、企业和科技局专家的访谈及信息整理,可知,高校课题组针对专利技术需求企业,对不同专利满意度,从专利技术的转让收入(c_1)、企业的技术水平(c_2)和专利技术转化的速度(c_3)3 个方面进行评价,根据收集整理的信息,可确定权重分别为 $(0.45, 0.30, 0.25)$; 专利技术需求企业针对高校课题组供给的专利,主要从专利技术的市场前景度(d_1)、专利技术的潜在价值(d_2)、引进专利技术的价格(d_3)、专利技术的复杂程度(d_4)、拥有专利技术团队的技术水平(d_5)等方面进行满意度评价,权重分别为 $(0.3, 0.18, 0.22, 0.15, 0.15)$ 。通过收集、整理得到高校和企业互评属性值(分别见表 1 和表 2)。由于资金能力等方面的限制,各企业所能接收的专利分别为 $\sigma_1=1, \sigma_2=2, \sigma_3=2, \sigma_4=1$; 而高校课题组所提供的专利最多只能由一个企业转化,即 $\theta_1=\theta_2=\theta_3=\theta_4=\theta_5=1$,且各高校课题组和企业的满意度不得小于 0.475。

根据技术知识供需双方相互属性值,通过式(1)和式(2)计算,可确定各匹配主体关于属性集合的理想匹配对象分别为 $a^0 = ([0.88, 0.89], [0.91, 0.91], [0.90, 0.90])$; $b^0 = ([0.85, 0.86], [0.88, 0.88], [0.89, 0.89])$,

[0.91, 0.91], [0.89, 0.89])。

表 1 高校课题组对企业评价的属性值

A	A/B	c ₁	c ₂	c ₃
a ₁	b ₁	[0.84, 0.84]	[0.75, 0.78]	[0.84, 0.84]
	b ₂	[0.80, 0.82]	[0.55, 0.58]	[0.79, 0.80]
	b ₃	[0.64, 0.67]	[0.72, 0.75]	[0.65, 0.68]
	b ₄	[0.75, 0.76]	[0.80, 0.80]	[0.79, 0.81]
a ₂	b ₁	[0.70, 0.70]	[0.65, 0.67]	[0.81, 0.81]
	b ₂	[0.64, 0.65]	[0.80, 0.81]	[0.72, 0.75]
	b ₃	[0.66, 0.69]	[0.85, 0.85]	[0.80, 0.80]
	b ₄	[0.63, 0.65]	[0.64, 0.65]	[0.85, 0.86]
a ₃	b ₁	[0.83, 0.84]	[0.85, 0.85]	[0.77, 0.78]
	b ₂	[0.65, 0.65]	[0.66, 0.69]	[0.72, 0.75]
	b ₃	[0.65, 0.68]	[0.74, 0.76]	[0.79, 0.80]
	b ₄	[0.64, 0.64]	[0.81, 0.82]	[0.65, 0.68]
a ₄	b ₁	[0.80, 0.81]	[0.78, 0.78]	[0.75, 0.76]
	b ₂	[0.83, 0.84]	[0.85, 0.86]	[0.90, 0.90]
	b ₃	[0.71, 0.72]	[0.85, 0.88]	[0.85, 0.88]
	b ₄	[0.60, 0.64]	[0.74, 0.76]	[0.79, 0.80]
a ₅	b ₁	[0.82, 0.82]	[0.78, 0.79]	[0.83, 0.84]
	b ₂	[0.74, 0.75]	[0.77, 0.79]	[0.81, 0.82]
	b ₃	[0.76, 0.77]	[0.74, 0.74]	[0.75, 0.77]
	b ₄	[0.88, 0.89]	[0.91, 0.91]	[0.66, 0.67]

表 2 企业对高校专利评价的属性值

B/B/A	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	
b ₁	a ₁	[0.74, 0.75]	[0.83, 0.84]	[0.76, 0.77]	[0.72, 0.75]	[0.68, 0.70]
	a ₂	[0.62, 0.62]	[0.81, 0.82]	[0.88, 0.88]	[0.70, 0.70]	[0.66, 0.68]
	a ₃	[0.71, 0.72]	[0.68, 0.69]	[0.80, 0.81]	[0.83, 0.84]	[0.78, 0.79]
	a ₄	[0.79, 0.80]	[0.78, 0.78]	[0.89, 0.89]	[0.91, 0.91]	[0.75, 0.77]
	a ₅	[0.66, 0.66]	[0.68, 0.70]	[0.70, 0.71]	[0.77, 0.79]	[0.73, 0.75]
b ₂	a ₁	[0.85, 0.85]	[0.83, 0.84]	[0.82, 0.82]	[0.83, 0.84]	[0.76, 0.77]
	a ₂	[0.70, 0.70]	[0.80, 0.81]	[0.85, 0.86]	[0.65, 0.67]	[0.89, 0.89]
	a ₃	[0.64, 0.65]	[0.74, 0.75]	[0.81, 0.82]	[0.80, 0.81]	[0.71, 0.72]
	a ₄	[0.66, 0.69]	[0.76, 0.78]	[0.76, 0.77]	[0.85, 0.85]	[0.78, 0.80]
	a ₅	[0.63, 0.65]	[0.66, 0.67]	[0.60, 0.60]	[0.64, 0.65]	[0.68, 0.70]
b ₃	a ₁	[0.81, 0.82]	[0.80, 0.81]	[0.80, 0.81]	[0.83, 0.84]	[0.66, 0.67]
	a ₂	[0.74, 0.75]	[0.83, 0.84]	[0.76, 0.77]	[0.72, 0.75]	[0.68, 0.70]
	a ₃	[0.62, 0.62]	[0.81, 0.82]	[0.88, 0.88]	[0.70, 0.70]	[0.66, 0.68]
	a ₄	[0.71, 0.72]	[0.68, 0.69]	[0.80, 0.81]	[0.83, 0.84]	[0.78, 0.79]
	a ₅	[0.79, 0.80]	[0.78, 0.78]	[0.89, 0.89]	[0.91, 0.91]	[0.75, 0.77]
b ₄	a ₁	[0.73, 0.74]	[0.81, 0.82]	[0.76, 0.78]	[0.75, 0.77]	[0.79, 0.79]
	a ₂	[0.66, 0.66]	[0.68, 0.70]	[0.70, 0.71]	[0.77, 0.79]	[0.73, 0.75]
	a ₃	[0.85, 0.86]	[0.88, 0.88]	[0.85, 0.88]	[0.79, 0.81]	[0.80, 0.81]
	a ₄	[0.74, 0.74]	[0.64, 0.65]	[0.63, 0.65]	[0.66, 0.67]	[0.55, 0.56]
	a ₅	[0.70, 0.71]	[0.64, 0.64]	[0.74, 0.74]	[0.65, 0.68]	[0.74, 0.76]

利用灰色关联分析方法的式(3)和式(4), 可求得专利知识供给方高校与专利转化方企业相互满意系数, 由于篇幅所限, 不再罗列。根据专利技术的转让收入、企业的技术水平和专利技术转化速度的权重为 0.45, 0.30, 0.25, 以及专利技术的市场前景度、专利技术的潜在价值、引进专利技术的价格、专利技术的复杂程度、拥有专利技术团队的技术水平的权重为 0.30, 0.18, 0.22, 0.15, 0.15, 可得高校和企业的相互

满意度, 进而可确定高校 A 对企业 B 的满意度矩阵和企业方 B 对高校 A 的满意度矩阵分别为

$$\alpha = [\alpha_{ij}]_{5 \times 4} = \begin{bmatrix} 0.705 & 0.569 & 0.447 & 0.598 \\ 0.504 & 0.502 & 0.584 & 0.502 \\ 0.717 & 0.445 & 0.509 & 0.485 \\ 0.615 & 0.826 & 0.667 & 0.488 \\ 0.682 & 0.587 & 0.555 & 0.856 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$\beta = [\beta_{ij}]_{5 \times 4} = \begin{bmatrix} 0.591 & 0.777 & 0.680 & 0.606 \\ 0.594 & 0.672 & 0.591 & 0.492 \\ 0.589 & 0.551 & 0.594 & 0.858 \\ 0.788 & 0.584 & 0.589 & 0.453 \\ 0.492 & 0.680 & 0.788 & 0.492 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

根据知识专利供给方和需求方互评满意度矩阵, 可构建技术知识供需的双边匹配多目标优化模型, 即

$$\max Z_1 = 0.705x_{11} + 0.569x_{12} + 0.447x_{13} + 0.598x_{14} + 0.504x_{21} + 0.502x_{22} + 0.584x_{23} + 0.502x_{24} + 0.717x_{31} + 0.445x_{32} + 0.509x_{33} + 0.485x_{34} + 0.615x_{41} + 0.826x_{42} + 0.667x_{43} + 0.488x_{44} + 0.682x_{51} + 0.587x_{52} + 0.555x_{53} + 0.856x_{54}; \quad (11)$$

$$\max Z_2 = 0.591x_{11} + 0.777x_{12} + 0.680x_{13} + 0.606x_{14} + 0.594x_{21} + 0.672x_{22} + 0.591x_{23} + 0.492x_{24} + 0.589x_{31} + 0.551x_{32} + 0.594x_{33} + 0.858x_{34} + 0.788x_{41} + 0.584x_{42} + 0.589x_{43} + 0.453x_{44} + 0.492x_{51} + 0.680x_{52} + 0.788x_{53} + 0.492x_{54}; \quad (12)$$

$$\min Z_3 = 0.114x_{11} + 0.025x_{12} + 0.141x_{13} + 0.190x_{14} + 0.013x_{21} + 0.274x_{22} + 0.088x_{23} + 0.048x_{24} + 0.133x_{31} + 0.027x_{32} + 0.172x_{33} + 0.106x_{34} + 0.021x_{41} + 0.237x_{42} + 0.121x_{43} + 0.118x_{44} + 0.191x_{51} + 0.271x_{52} + 0.102x_{53} + 0.364x_{54}; \quad (13)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^4 x_{ij} \leq 1, i = 1, 2, \dots, 5; \\ \sum_{i=1}^4 x_{i1} \leq 1; \\ \sum_{i=1}^4 x_{i2} \leq 2; \\ \sum_{i=1}^4 x_{i3} \leq 2; \\ \sum_{i=1}^4 x_{i4} \leq 1; \\ 0.475 \leq \alpha_{ij}, 0.475 \leq \beta_{ij}, \\ x_{ij} \in \{0, 1\}, i = 1, 2, 3, 4, 5; j = 1, 2, 3, 4. \end{cases} \quad (14)$$

采用模拟植物生长算法, 利用 Matlab 13.0 软件编程求解上述优化模型, 可得最优匹配结果为 (a₁, b₂), (a₂, b₃), (a₃, b₄), (a₄, b₁), (a₅, b₃), 即南京大学课题组与江阴奔翔生物科技有

限公司可建立合作关系,合作转化其所提供的专利知识;东南大学课题组和江南大学课题组均与无锡赛德生物工程有限公司形成匹配对,其所提供的相应的专利技术可由无锡赛德生物工程有限公司实施转化;而清华大学课题组所提供的专利技术可由兴澄特种钢铁有限公司转化;南京航空航天大学课题组可与无锡威孚集团有限公司形成匹配对,其所提供的专利技术由无锡威孚集团有限公司实施转化。文献[25,27,28]所得匹配结果为南京大学与无锡赛德生物工程有限公司合作、东南大学和江南大学与兴澄特种钢铁有限公司合作、南京航空航天大学与江阴奔翔生物科技有限公司合作、南京理工大学与无锡威孚集团有限公司合作,这个匹配结果和基于本研究所提出的匹配结果并不一致,且这些高校和企业的匹配实际也难以发生,造成这种结果的原因是,这些模型中并没有同时考虑匹配方案的公平性和满意度。

通过案例和模型分析可知,本研究所构建的模型在综合考虑匹配主体的满意度和匹配方案的稳定性与公平性的基础上,能够很好地描述和解决含有灰色、模糊等不确定信息的技术知识供需匹配决策问题。为加快科技成果转化和技术转移,实现更高效的技术知识供需匹配,应该从宏观和微观两个层面上着手加强。从宏观层面上,国家、地方政府应出台相应的法律、法规和政策,促进高校、科研院所与企业的交流与合作,使高校了解企业所需技术知识等相关市场信息,也使企业明确高校所拥有的技术及其成熟度等方面的信息;从微观层面上,为有效降低知识匹配成本、减少知识匹配时间、提高知识的匹配效率,匹配主体应根据自身情况采取相应的对策。具体而言,对技术知识供给方,应提供比较全面的技术的特性、成熟度等相关信息,并积极与企业交流,以明确企业的需求,积极配合企业,并投入实际行动,帮助企业处理技术转化过程中遇到的问题等;对技术知识需求方,应同高校、科研院所展开多层次交流与合作,介绍其需求和目标,同时,也应积极了解高校、科研院所所拥有的技术及其特性等方面的信息。

4 结语

针对多指标评价信息的双边匹配问题,从匹配主体的满意度和匹配方案的稳定性、公平性和满意性角度,利用灰色系统理论和优化模型,构建了一种基于灰色关联方法的双边匹配

决策方法,并利用模拟植物生长算法求解最优匹配方案。根据模型和案例分析,与已有方法相比,所构建的模型不仅考虑匹配主体的满意度和匹配方案的稳定性,更关注匹配方案的公平性;同时,决策流程清晰,计算过程简单,为解决现实中基于多属性评价信息的双边匹配问题提供了决策思路与方法。

参 考 文 献

- [1] GALE D, SHAPLEY L S. College Admissions and the Stability of Marriage[J]. American Mathematical Monthly, 1962, 69(1):9~15
- [2] ROTH A E. Common and Conflicting Interests in Two-Sided Matching Markets[J]. European Economic Review, 1985, 27(1):75~96
- [3] ALDERSHOF B, OLIVIA M C. Stable Matching with Couples [J]. Discrete Applied Mathematics, 1996, 68(1/2):203~207
- [4] ALDERSHOF B, OLIVIA M C. Stable Marriage and Genetic Algorithms: A Fertile Union[J]. Journal of Heuristics, 1999, 5(1):29~46
- [5] BALINSKI M, RATIER G. Graphs and Marriages [J]. American Mathematical Monthly, 1998, 105(5): 430~445
- [6] ROTH A E. New Physicians: A Natural Experiment in Market Organization [J]. Science, 1990, 250 (4 987):1 524~1 528
- [7] CHUNG K S. On the Existence of Stable Roommate Matching[J]. Games and Economic Behavior, 2000, 33(2):206~230
- [8] FLEINER T, IRVING R W, MANLOVE D F. Efficient Algorithms for Generalized Stable Marriage and Roommates Problems[J]. Theoretical Computer Science, 2007, 381(1~3):162~176
- [9] ABDULKADIROGLU A, SONMEZ T. School Choice: A Mechanism Design Approach[J]. American Economic Review, 2003, 93(3):729~747
- [10] ABDULKADIROGLU A, PATHAK P A, ROTH A E. The New York City High School Match[J]. American Economic Review, 2005, 95(2):364~367
- [11] SORUNEZ T. Manipulation via Capacities in Two-Sided Matching Markets[J]. Journal of Economic Theory, 1997, 77(1):197~204
- [12] 万树平, 李登峰. 具有不同类型信息的风险投资商与投资企业多指标双边匹配决策方法[J]. 中国管理科学, 2014, 22(2):40~47
- [13] KORKMAZ I, GDKCEN H, CETINYOKUS T. An Analytic Hierarchy Process and Two-Sided Matching Based Decision Support System for Military Personnel Assignment [J]. Information Sciences,

- 2008,178(14):2 915~2 927
- [14] 蒋忠中,樊治平,汪定伟,等. 具模糊信息的多数量多属性电子交易匹配问题[J]. 管理科学学报, 2014,17(5):52~65
- [15] CHITRU S F, VLADIMIR A G, PAUL A S. Two-Sided Matching: How Corporate Issuers and Their Underwriters Choose Each Other[J]. Journal of Applied Corporate Finance, 2013, 25(2):103~115
- [16] 梁海明,姜艳萍. 二手房组合交易匹配决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(2): 358~367
- [17] 孔德才,姜艳萍,纪楠. 家政服务人员和雇主的双边匹配模型[J]. 东北大学学报:自然科学版, 2015, 36(11): 1 668~1 672
- [18] ALPEM S, KATRANTZI I. Equilibrium of Two-Sided Matching Games with Common Preferences [J]. European Journal of Operational Research, 2009, 196(3):1 214~1 222
- [19] HALABURDA H. Unravelling in Two-Sided Matching Markets and Similarity of Preferences [J]. Games and Economic Behavior, 2010, 69(2):365~393
- [20] WANG Y, HARUVY E. Tiers in One-Sided Matching Markets: Theory and Experimental Investigation [J]. Management Science, 2013, 59(6): 1 458~1 477
- [21] WONG W K, ZENG X H, AU W M R, et al. A Fashion Mix-and-Match Expert System for Fashion Retailers Using Fuzzy Screening Approach[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(2): 1 750~1 764
- [22] WONG W K, ZENG X H, AU W M R. A Decision Support Tool for Apparel Coordination through Integrating the Knowledge-Based Attribute Evaluation Expert System and the T-S Fuzzy Neural Network [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(2):2 377~2 390
- [23] 林杨,王应明. 考虑直觉模糊偏好关系的双边稳定匹配及应用[J]. 控制与决策, 2015, 30(12): 2 212~2 218
- [24] 乐琦,樊治平. 基于累积前景理论的双边匹配决策方法[J]. 系统工程学报, 2013,28(1): 38~46
- [25] CHEN X, LI Z W, FAN Z P, et al. Matching Demanders and Suppliers in Knowledge Service: A Method Based on Fuzzy Axiomatic Design[J]. Information Sciences, 2016, 346/347: 130~145
- [26] 樊治平,乐琦. 基于完全偏好序信息的严格双边匹配方法[J]. 管理科学学报, 2014,17(1):21~34
- [27] 梁海明,姜艳萍. 一种基于弱偏好序信息的双边匹配决策方法[J]. 系统工程学报, 2014,29(2):153~159
- [28] 梁海明,姜艳萍,孔德财. 考虑偏好序的多满意稳定导向双边匹配决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2015,35(6):1 535~1 546
- [29] 樊治平,李铭洋,乐琦. 考虑稳定匹配条件的双边满意匹配决策方法[J]. 中国管理科学, 2014,22(4): 112~118
- [30] 李铭洋,樊治平. 考虑双方主体心理行为的稳定双边匹配方法[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(10):2 591~2 599
- [31] 魏立佳. 弱偏好序下的最优单边匹配算法设计[J]. 系统工程理论与实践, 2011,31(9): 1 687~1 695
- [32] ANDERSON R, ASHLAGI I, GAMARNIK D, et al. A Dynamic Model of Barter Exchange[C]//Proceedings of the Twenty-Sixth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms. New York: Columbia University, 2015: 1 925~1 933
- [33] AFÈCHE P, DIAMANT A, MILNER J. Double-Sided Batch Queues with Abandonment: Modeling Crossing Networks[J]. Operations Research, 2014, 62(5):1 179~1 201
- [34] SHIBA N. Analysis of Asymmetric Two-Sided Matching: Agent-Based Simulation with Theorem-Proof Approach[J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2013,16(3):11
- [35] LIU S F, LIN Y. Grey Information: Theory and Practical Applications [M]. London: Springer-Verlag, 2010
- [36] 李彤,王春峰,王文波,等. 求解整数规划的一种仿生类全局优化算法——模拟植物生长算法[J]. 系统工程理论与实践, 2005,25(1): 76~85
- [37] 李彤,王众托. 模拟植物生长算法与知识创新的几点思考[J]. 管理科学学报, 2010,13(3): 87~96
- [38] GUNNEY K, DURMUS A, BASBUG S. A Plant Growth Simulation Algorithm for Pattern Nulling of Linear Antenna Arrays by Amplitude Control[J]. Progress in Electromagnetics Research B, 2009, 17: 69~84

(编辑 桂林)

通讯作者: 刘勇(1985~),男,河南平舆人。江南大学(江苏省无锡市 214122)商学院副教授,博士。研究方向为决策分析。E-mail:clly1985528@163.com