

家政服务人员与雇主的双边匹配模型

孔德财, 姜艳萍, 纪楠

(东北大学工商管理学院, 辽宁沈阳 110169)

摘 要: 针对如何依据家政服务人员和雇主的供需信息实现最优的双边匹配, 从而提高匹配的效率和降低匹配的成本问题, 对家政服务人员与雇主双边匹配问题进行了研究. 首先, 对家政服务人员与雇主的双边匹配问题进行描述; 然后, 依据家政服务人员与雇主提供的供需信息, 分别计算家政服务人员和雇主的满意度; 在此基础上, 构建以家政服务人员和雇主的满意度最大为目标的多目标优化模型; 通过求解模型, 获得最优匹配结果. 最后, 通过一个算例说明了所提出方法的可行性与有效性.

关 键 词: 家政服务; 双边匹配; 满意度; 多目标优化模型

中图分类号: C 934; F 719 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2015)11-1668-05

Two-Sided Matching Model Between Domestic Service Staffs and Employers

KONG De-cai, JIANG Yan-ping, JI Nan

(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: JIANG Yan-ping, professor, E-mail: yppjiang@mail.neu.edu.cn)

Abstract: In order to achieve the optimal two-sided matching according to the supply and demand information of domestic service staff and employers, and to improve the efficiency of matching and reduce the cost of matching, the two-sided matching between domestic service staff and employers was studied. Firstly, the two-sided matching issue between domestic service staff and employers is described. Secondly, the satisfaction degree of domestic service staff and employers is calculated based on the supply and demand information provided by domestic service staff and employers, respectively. Furthermore, a multi-objective optimization model maximizing the staff and employers satisfaction degrees is constructed. A solution model is constructed to determine the corresponding optimal matching alternatives. Finally, a numerical example is given to illustrate the feasibility and effectiveness of the proposed method.

Key words: domestic service; two-sided matching; satisfaction degree; multi-objective optimization model

传统的家政服务中介由于采用手工操作的匹配方式存在匹配效率低和匹配成本高等问题. 随着电子商务的发展, 电子中介的出现为雇主和家政服务人员提供更多实时有效的信息, 在一定程度上减少了因信息不对称而造成的无效匹配^[1]. 但是, 无论传统中介还是电子中介, 主要是为雇主和家政服务人员提供供需信息, 都不具备快速实现双方优化匹配的功能. 因此, 如何依据家政服务人员和雇主的供需信息实现最优的双边匹配, 从

而提高匹配的效率和降低匹配的成本, 已经成为当前家政服务业亟需解决的问题.

双边匹配最早起源于 Gale 和 Shapley 关于婚姻匹配与大学录取问题的研究, 并提出了著名的 Gale - Shapley 算法^[2]. 此后, Roth 进一步发展了稳定匹配理论^[3]. 由于在稳定匹配理论和市场机制设计实践方面做出的贡献, Shapley 和 Roth 在 2012 年荣获诺贝尔经济学奖. 近年来随着服务业的快速发展, 双边匹配研究已经扩展到了许

收稿日期: 2014-10-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71271050, 71571040); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20110042110011).

作者简介: 孔德财(1984-), 男, 山东临沂人, 东北大学博士研究生; 姜艳萍(1968-), 女, 辽宁沈阳人, 东北大学教授, 博士生导师.

多服务行业,如商品交易、风险投资、无线通讯网络等^[4-7]. Guo 研究了物流服务提供商(卖方)和顾客(买方)之间的物流服务交易匹配问题,建立了多属性组合交易匹配模型,优化的目标是实现顾客的满意度最大^[4]. 蒋忠中等针对电子中介中具有数量折扣的多属性商品交易匹配问题,建立了以买卖双方匹配度最大为目标的优化模型^[1]. Korkmaz 等提出了一种基于 AHP 方法和双边匹配的决策支持系统(DSS),用于辅助军事人员的分配^[5]. Jorswieck 针对无线通讯网络中的用户和资源匹配问题,采用用户和资源提出的延迟接受算法获得稳定匹配并研究了稳定匹配的相关性质^[6]. Chen 和 Song 对信贷市场中企业与银行的双边匹配问题进行了研究,通过对美国信贷市场 2003 ~ 2005 年数据的分析,指出当企业与银行地理位置越近、彼此更愿意分享数据与专业知识,那么匹配的几率就会很大^[7].

虽然双边匹配已经在许多服务行业取得了丰富的研究成果,然而,目前尚未看到关于双边匹配在家政服务行业的研究. 基于此,本文对家政服务人员与雇主的双边匹配决策问题进行了研究,重点考虑了家政服务人员和雇主的服务技能、服务时间和多指标评价等 3 方面信息,通过构建以双边满意度最大为目标的优化模型,来求得最优匹配方案.

1 问题描述

本文考虑的是一对多的家政服务人员与雇主的双边匹配问题,即一个家政服务人员可以为多个雇主服务,而一个雇主只雇佣一个家政服务人员. 设 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ 为 m 个家政服务人员组成的集合,其中 A_i 代表第 i 个家政服务人员; $B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ 为 n 个雇主组成的集合,其中 B_j 代表第 j 个雇主. 设 $H = \{H^1, H^2, \dots, H^l\}$ 为服务技能集合,其中 H^k 代表第 k 种服务技能. 设 $h_i = (h_i^1, h_i^2, \dots, h_i^l)$ 为家政服务人员 A_i 所具备的技能向量,其中 $h_i^k = 0$ 或 1 , $h_i^k = 1$ 表示家政服务人员 A_i 具备第 k 项技能;否则 $h_i^k = 0$. 本文考虑家政服务人员具有多项服务技能. 设 $g_j = (g_j^1, g_j^2, \dots, g_j^l)$ 为雇主 B_j 需要的服务技能向量, $g_j^k = 0$ 或 1 , 其中 $g_j^k = 0$ 表示雇主 B_j 不需要第 k 项服务技能;否则 $g_j^k = 1$. 本文考虑雇主具有单项服务需求,故向量 g_j 中只有一个元素等于 1, 而其他元素都为 0. 进一步地,考虑家政服务人员每周实际的

工作时间和雇主每周需要服务的时间. 只有当时间不冲突时,家政服务人员才有机会与多个雇主进行匹配. 首先,定义一个工作日集合 $R = \{R^1, R^2, \dots, R^7\}$, 其中 R^i 代表一周当中第 i 个工作日. 设 $r_i = (r_i^1, r_i^2, \dots, r_i^7)$ 为家政服务人员 A_i 每周实际的工作时间向量,其中, $r_i^d = 0$ 或 1 , $r_i^d = 1$ 表示家政服务人员 A_i 可以在第 d 个工作日进行工作;否则 $r_i^d = 0$. 类似地,设 $s_j = (s_j^1, s_j^2, \dots, s_j^7)$ 为雇主 B_j 每周需要服务的时间向量,其中, $s_j^d = 0$ 或 1 , $s_j^d = 1$ 表示雇主 B_j 在第 d 个工作日需要服务;否则 $s_j^d = 0$. 设 $E = \{E_1, E_2, \dots, E_p\}$ 为家政服务人员在选择雇主时,除工作内容之外还考虑的其他指标集合,其中 E_k 表示家政服务人员考虑的第 k 个指标. $w_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ip})^T$ 为家政服务人员 A_i 给出的指标权重向量,其中, w_{ik} 表示 A_i 给出的关于指标 E_k 的权重, $0 \leq w_{ik} \leq 1$, $\sum_{k=1}^p w_{ik} = 1$. $a_{ik} = (a_{ik}^1, a_{ik}^2, \dots, a_{ik}^n)$ 为家政服务人员 A_i 在指标 E_k 下给出的关于所有雇主的严格偏好序向量, $a_{ik}^j \in \{1, 2, \dots, f_i\} \cup \{\varphi\}$, 其中, f_i 表示家政服务人员 A_i 感兴趣的雇主总数, $1 \leq f_i \leq n$. 若 A_i 对雇主 B_j 是感兴趣的,则 $a_{ik}^j \in \{1, 2, \dots, f_i\}$, 其中, a_{ik}^j 表示在第 k 个指标下, A_i 认为雇主 B_j 在所有感兴趣的雇主中排在第 a_{ik}^j 位;若 A_i 对雇主 B_j 是不感兴趣的,则 $a_{ik}^j = \varphi$. 设 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_q\}$ 为雇主在选择家政服务人员时,除家政服务人员具备的技能外考虑的指标集合,其中 U_v 代表雇主考虑的第 v 个指标. $o_j = (o_{j1}, o_{j2}, \dots, o_{jq})^T$ 为雇主 B_j 给出的指标权重向量,其中, o_{jv} 表示雇主 B_j 给出的关于指标 U_v 的权重, $0 \leq o_{jv} \leq 1$, $\sum_{v=1}^q o_{jv} = 1$. $b_{jv} = (b_{jv}^1, b_{jv}^2, \dots, b_{jv}^m)$ 为雇主 B_j 在指标 U_v 下给出的关于所有家政服务人员的严格偏好序向量, $b_{jv}^i \in \{1, 2, \dots, t_j\} \cup \{\varphi\}$, 其中, t_j 表示雇主 B_j 感兴趣的家政服务人员总数, $1 \leq t_j \leq m$. 若 B_j 对家政服务人员 A_i 是感兴趣的,则 $b_{jv}^i \in \{1, 2, \dots, t_j\}$, 其中, b_{jv}^i 表示在第 v 个指标下, B_j 认为 A_i 在所有感兴趣的家政服务人员中排在第 b_{jv}^i 位;若 B_j 对家政服务人员 A_i 是不感兴趣的,则 $b_{jv}^i = \varphi$.

本文要解决的问题:依据家政服务人员和雇主给出的多指标评价信息 a_{ik} 和 b_{jv} 以及权重向量 w_i 和 o_j , 在充分考虑家政服务人员所拥有的服务技能 h_i 和工作时间 r_i 以及雇主需要的服务内容 g_j 和服务时间 s_j 基础上,根据某种决策方法,获得家政服务人员和雇主满意度尽可能高的匹配方

案.

2 双边匹配决策方法

在实际的家政服务人员与雇主匹配过程中, 需要考虑 3 个方面的因素: 服务技能、服务时间和多指标评价信息. 第一, 只有当家政服务人员 A_i 具备的服务技能符合雇主 B_j 需求的服务技能时, 双方才有可能进行匹配. 第二, 由于一个家政服务人员往往具备多种服务技能, 因此, 家政服务人员可以为多个不同的雇主提供服务, 但前提是家政服务人员的工作时间要满足雇主服务时间的要求, 同时家政服务人员为多个雇主服务的时间是不可冲突的. 因而, 本文构建的家政服务人员与雇主的双边匹配模型中, 充分考虑了服务技能和工作时间的约束. 第三, 需要考虑家政服务人员和雇主的多指标评价信息. A_i 对 B_j 的多指标评价信息的满意度越大, 家政服务人员 A_i 越倾向于与雇主 B_j 形成匹配对; 同样, B_j 对 A_i 的满意度越大, B_j 也越倾向于与 A_i 形成匹配对^[8]. 因而, 本文构建的家政服务人员与雇主的双边匹配模型中, 是以家政服务人员满意度最大和雇主满意度最大为目标.

2.1 满意度计算

首先, 计算家政服务人员 A_i 对雇主 B_j 关于指标 E_k 的满意度 α_{ijk} . 序值 a_{ik}^i 越小, 表明在指标 E_k 下, 家政服务人员 A_i 对雇主 B_j 的满意度越大; 相反, 序值 a_{ik}^i 越大, 表明在指标 E_k 下, 家政服务人员 A_i 对雇主 B_j 的满意度越小. 本文给出家政服务人员 A_i 对雇主 B_j 关于指标 E_k 的满意度 α_{ijk} 计算公式为

$$\alpha_{ijk} = \begin{cases} \frac{1-a_{ik}^i}{f_i}, & a_{ik}^i \in \{1, 2, \dots, f_i\}; \\ M, & a_{ik}^i = \varphi. \end{cases} \quad (1)$$

其中: $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, p; M$ 为足够大的正数. 进一步考虑 A_i 给出的指标权重, 可得家政服务人员 A_i 对雇主 B_j 的总体满意度为

$$\alpha_{ij} = \sum_{k=1}^p \alpha_{ijk} w_{ik}. \quad (2)$$

类似地, B_j 对 A_i 关于指标 U_v 的满意度 β_{ijv} 为

$$\beta_{ijv} = \begin{cases} \frac{1-b_{jv}^i}{t_j}, & b_{jv}^i \in \{1, 2, \dots, t_j\}; \\ M, & b_{jv}^i = \varphi. \end{cases} \quad (3)$$

其中 $v=1, 2, \dots, q$. 所以, B_j 对 A_i 的总体满意度 β_{ij} 为

$$\beta_{ij} = \sum_{v=1}^q \beta_{ijv} o_{jv}. \quad (4)$$

2.2 模型构建与求解

设 x_{ij} 为 0-1 型决策变量, $x_{ij}=1$ 表示家政服务人员 A_i 与雇主 B_j 形成匹配; 否则 $x_{ij}=0$. 则依据家政服务人员对雇主的满意度 α_{ij} 和雇主对家政服务人员的满意度 β_{ij} , 可构建如下的以家政服务人员满意度最大和雇主满意度最大为目标的双边匹配优化模型:

$$\max Z_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} x_{ij}, \quad (5)$$

$$\max Z_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \beta_{ij} x_{ij}, \quad (6)$$

$$\text{s. t. } (r_i^d - s_j^d) x_{ij} \geq 0, d = 1, 2, \dots, 7, \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n s_j^d x_{ij} \leq 1, d = 1, 2, \dots, 7, \quad (8)$$

$$(h_i^k - g_j^k) x_{ij} \geq 0, k = 1, 2, \dots, l, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1, \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq n, \quad (11)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1. \quad (12)$$

在模型中, 式(5)和式(6)为目标函数, 式(5)表示家政服务人员对雇主的满意度最大; 式(6)表示雇主对家政服务人员的满意度最大. 约束条件(7)表示当某个雇主与家政服务人员匹配时, 该雇主需要服务的时间必须得到满足; 约束条件(8)表示每一个家政服务人员每天不能为两个或者更多的雇主同时提供服务; 约束条件(9)表示家政服务人员所具备的技能必须能够满足雇主的需求; 约束条件(10)表示每个雇主最多能够与一个家政服务人员进行匹配; 约束条件(11)表示每个家政服务人员最多能够与 n 个雇主进行匹配.

模型(5)~(12)是一个双目标 0-1 整数规划模型, 本文采用基于隶属函数的加权和方法进行求解, 其中, 两个隶属函数 μ_{Z_1} 和 μ_{Z_2} 分别定义如下^[9]:

$$\mu_{Z_1} = 1 - \frac{Z_1^{\max} - Z_1}{Z_1^{\max} - Z_1^{\min}}, \quad (13)$$

$$\mu_{Z_2} = 1 - \frac{Z_2^{\max} - Z_2}{Z_2^{\max} - Z_2^{\min}}. \quad (14)$$

其中: Z_1^{\min} 和 Z_1^{\max} 为单独考虑目标函数 Z_1 的最小值和最大值; Z_2^{\min} 和 Z_2^{\max} 为单独考虑目标函数 Z_2 的最小值和最大值; $0 \leq \mu_{Z_1}, \mu_{Z_2} \leq 1$.

依据式(13)和式(14), 将双目标的优化模型(5)~(12)转换为以式(15)为目标函数、以式

(7) ~ 式(12)为约束条件的单目标优化模型.

$$\max Z = \omega_1 \mu_{Z_1} + \omega_2 \mu_{Z_2}. \quad (15)$$

这里, ω_1 和 ω_2 分别表示目标函数 Z_1 和 Z_2 的重要性,且 $0 \leq \omega_1, \omega_2 \leq 1, \omega_1 + \omega_2 = 1$, 为保证家政服务人员和雇主匹配的公平性,可令 $\omega_1 = \omega_2 = 0.5$. 转换后的优化模型是一个单目标的 0-1 整数规划模型,当家政服务人员和雇主数量较小时,可采用分支定界算法进行求解;当家政服务人员和雇主数量较大时,可采用优化软件包(如 Lingo, Cplex 等)或设计智能优化算法(如遗传算法、模拟退火算法等)进行求解.

3 算例分析

某家政服务中介机构收到 3 个家政服务人员 $\{A_1, A_2, A_3\}$ 的个人基本信息和 5 个雇主 $\{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5\}$ 需要的服务信息. 考虑的服务技能集合为 $H = \{H^1, H^2, H^3, H^4, H^5\}$, 其中 H^1 表示“做饭保洁”、 H^2 表示“护工”、 H^3 表示“家教幼教”、 H^4 表示“月嫂”、 H^5 表示“育儿嫂”. 家政服务人员在选择雇主时所考虑的指标集为 $E = \{E_1, E_2, E_3, E_4\}$, 其中 E_1 代表工资、 E_2 代表食宿、 E_3 代表工作环境、 E_4 代表服务内容; 雇主在选择家政服务人员时所考虑的指标集为 $U = \{U_1, U_2, U_3\}$, 其中 U_1 代表年龄、 U_2 代表工作经验、 U_3 代表受教育程度. 家政服务人员和雇主给出的相关信息如表 1 ~ 表 6 所示, 并根据式(1) ~ 式(4) 计算得到家政服务人员和雇主的满意度如表 7 和表 8 所示.

表 1 家政服务人员具备的技能和工作时间

Table 1 Skills and working time of domestic service staffs

服务人员	A_1	A_2	A_3
h_i	(1,1,1,1,0)	(0,1,1,1,1)	(1,0,1,1,0)
r_i	(1,1,1,1,1,1)	(1,1,1,1,1,1)	(1,1,1,1,1,1)

表 2 雇主所需服务和时间

Table 2 Service type and time required by employers

雇主	g_i	s_j
B_1	(1,0,0,0,0)	(1,1,1,1,0,0,0)
B_2	(0,1,0,0,0)	(1,0,1,0,1,0,1)
B_3	(1,0,0,0,0)	(0,0,0,0,0,1,1)
B_4	(0,0,1,0,0)	(0,0,1,1,1,1,1)
B_5	(1,0,0,0,0)	(0,0,0,1,1,1,1)

表 3 家政服务人员给出的偏好信息

Table 3 Preferences given by domestic service staffs

服务人员	指标	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
A_1	E_1	3	7	5	φ	2
	E_2	2	4	8	φ	6
	E_3	4	6	2	φ	8
	E_4	6	3	4	φ	7
A_2	E_1	3	7	φ	4	2
	E_2	5	1	φ	3	7
	E_3	1	5	φ	7	3
	E_4	3	4	φ	2	5
A_3	E_1	φ	7	1	4	φ
	E_2	φ	3	4	5	φ
	E_3	φ	1	3	2	φ
	E_4	φ	6	7	8	φ

表 4 家政服务人员给出的指标权重

Table 4 Criteria weight given by domestic service staffs

服务人员	E_1	E_2	E_3	E_4
A_1	0.2	0.4	0.3	0.1
A_2	0.3	0.3	0.2	0.2
A_3	0.1	0.5	0.3	0.1

表 5 雇主给出的偏好信息

Table 5 Preferences given by employers

雇主	指标	A_1	A_2	A_3
B_1	U_1	5	3	1
	U_2	4	2	1
	U_3	2	6	1
B_2	U_1	2	φ	3
	U_2	4	φ	1
	U_3	5	φ	2
B_3	U_1	4	2	6
	U_2	5	6	3
	U_3	1	2	3
B_4	U_1	1	2	3
	U_2	6	3	1
	U_3	3	1	6
B_5	U_1	5	4	φ
	U_2	1	2	φ
	U_3	4	5	φ

表 6 雇主给出的指标权重

Table 6 Criteria weight given by employers

雇主	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
U_1	0.5	0.4	0.2	0.3	0.5
U_2	0.2	0.4	0.6	0.3	0.2
U_3	0.3	0.2	0.2	0.4	0.3

表 7 家政服务人员对雇主的满意度
Table 7 Domestic service staffs' satisfaction on employers

雇主	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
A_1	0.77	0.61	0.62	$-M$	0.56
A_2	0.75	0.67	$-M$	0.68	0.65
A_3	$-M$	0.79	0.72	0.68	$-M$

表 8 雇主对家政服务人员的满意度
Table 8 Employers' satisfaction on domestic service staffs

雇主	A_1	A_2	A_3
B_1	0.63	0.66	1.00
B_2	0.64	$-M$	0.83
B_3	0.63	0.60	0.66
B_4	0.72	0.87	0.69
B_5	0.59	0.57	$-M$

根据家政服务人员和雇主的满意度,可构建多目标优化模型(5)~(12),并将其转换为单目标模型后采用优化软件 LINGO 11.0 进行求解,得到的匹配结果为 $A_1 \leftrightarrow B_1, A_1 \leftrightarrow B_3, A_2 \leftrightarrow B_5, A_3 \leftrightarrow B_4$.

4 结 论

1) 本文针对家政服务人员和雇主的双边匹配决策问题,提出了相应的决策分析方法.在该方法中,考虑了家政服务人员和雇主的服务技能、服务时间和多指标评价等 3 方面的信息.为了确定家政服务人员和雇主都尽可能满意的双边匹配方案,构建了双方满意度最大为目标的匹配优化模型.

2) 与以往的方法相比,本文采用双边匹配机制对家政服务人员和雇主进行匹配,不仅能够获得匹配双方都满意的匹配结果,而且还能提高匹配的效率,降低家政服务人员寻找工作和雇主寻求家政服务的成本.

3) 本文所提出的方法不仅可以解决家政服务人员与雇主的双边匹配决策问题,还可扩展解

决其他双边匹配决策问题,如教育辅导机构中学生与辅导教师的匹配、具有多技能的技术人员与工作匹配等.

参考文献:

- [1] 蒋忠中,袁媛,樊治平.电子中介中具有数量折扣的多属性商品交易匹配问题[J].中国管理科学,2010,18(6):122-130.
(Jiang Zhong-zhong, Yuan Yuan, Fan Zhi-ping. Multi-attribute trade matching with quantity discount in electronic brokerage [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2010,18(6):122-130.)
- [2] Gale D, Shapley L S. College admissions and the stability of marriage [J]. *American Mathematical Monthly*, 1962, 69(1): 9-15.
- [3] Roth A E. The evolution of the labor market for medical interns and residents; a case study in game theory [J]. *The Journal of Political Economy*, 1984, 92(6): 991-1016.
- [4] Guo O. Multi-attribute inter-enterprise exchange of logistics services[C]//Proceedings of the 10th IEEE Conference on E-Commerce Technology and the Fifth IEEE Conference on Enterprise Computing, E-Commerce and E-Service. Washington DC, 2008: 113-120.
- [5] Korkmaz İ, Gökçen H, Çetinyokus T. An analytic hierarchy process and two-sided matching based decision support system for military personnel assignment [J]. *Information Sciences*, 2008, 178(14): 2915-2927.
- [6] Jorswieck E A. Stable matchings for resource allocation in wireless networks [C]//2011 17th International Conference on Digital Signal Processing (DSP). Corfu, 2011: 1-8.
- [7] Chen J, Song K. Two-sided matching in the loan market [J]. *International Journal of Industrial Organization*, 2013, 31(2): 145-152.
- [8] 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.
(Liang Hai-ming, Jiang Yan-ping. Method for two-sided matching decision-making based on the weak preference ordering information [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2014, 29(2): 153-159.)
- [9] Chen Y W, Wang C H, Lin S J. A multi-objective geographic information system for route selection of nuclear waste transport [J]. *Omega*, 2008, 36(3): 363-372.