

老年人与照护方的两阶段双边匹配方法研究¹

李芳菲, 邵红琳, 左美云*

(中国人民大学 信息学院 智慧养老研究所, 北京 100872)

摘要 本文以智慧养老服务平台为中介, 分析了老年人与照护方的双边匹配问题, 提出了包含“老年人——照护公司”与“老年人——照护人员”的两阶段双边匹配模型, 论文对照护人员的期望指标体系进行了初步探索, 对照护人员的需求进行了刻画, 在模型中基于双边匹配的稳定性 and 公平性, 针对照护人员的多期望方案, 通过多属性决策方法进行了综合满意度求解。本文是一个进展中的研究, 后续将通过智能算法求解得出匹配结果。

关键词 智慧养老; 双边匹配; 老年人; 照护方; 指标体系

中图分类号 C931.2

Research on Two-Phase Two-sided Matching Method between Old Adults and Nursing Side

LI Fangfei, SHAO Honglin, ZUO Meiyun

((Research Institute of Smart Senior Care, School of Information, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract This paper analyzes the two-sided matching problem between the old adults and the nursing side through the smart senior care service platform, and proposes a two-stage two-sided matching model including “old adults-nursing company” and “old adults-nursing staff”. The nursing staff expectation criterion system was initially explored, and the needs of the nursing staff were characterized. Based on the stability and fairness of two-sided matching in the model with a multi-expectation scheme for nursing staff. The decision method of multiple attributes is used to solve the comprehensive satisfaction. This paper is a research in progress, and the matching results will be solved by intelligent algorithms in the next works.

Key words smart senior care; two-sided matching; old adults; nursing side; criterion system

1 引言

随着年龄的增长, 一方面, 老年人的身体机能逐渐下降, 另一方面, 部分老年人性格会返璞归真, 或者偏执固执。这些老年人在中国被戏称为“老小孩”。据访谈, 同等待遇下大部分照护人员更倾向于照顾“小小孩”。这不仅因为老年人照料需求多且差异较大, 更是因为照顾过程中照护人员需要承担各种隐形的心理压力。但实际上, 现有的服务中介组织在双边匹配时, 往往更考虑老年人的服务需求, 而忽略了照护人员的期望。这种匹配会导致照护人才流失、照护服务匹配不饱等等。智慧养老服务平台的匹配规则如何设计, 才能使得老年人和照护方(照护人员及其组织)都满意?

现有的智慧养老服务体系, 大多以社区为依托, 以老龄人群为服务对象, 以社区内或邻边的企业事业单位服务机构为网点, 以信息化平台(智慧养老服务平台)为支撑。因此, 在服务层面, 相对于传统的服务平台(如家政服务平台等), 智慧养老服务平台具有服务人群需求较为特殊、服务范围较为固定、服务资源较为有限等特点。在匹配层面, 相对于滴滴打车平台中司机与乘客之间的匹配, 智慧养老服务平台中老年人与照护方的匹配过程较长、匹配对象具有一定的稳定性。近年来国内出现的很多诸如“家政无忧”、“阿姨帮”

*基金项目: 2019年教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目(智慧化养老服务研究)、国家自然科学基金资助项目(71771210)、北京市自然科学基金资助项目(9182008)。

通信作者: 左美云, 中国人民大学信息学院, 教授, E-mail: zuomy@ruc.edu.cn.

等线上家政服务平台, 服务资源大都和传统的家政公司完全隔离, 这对后者的运营造成了一定阻碍和冲击。如何帮助传统线下家政服务公司寻求新发展和新机遇, 也成了一个亟待解决的问题。

事实上, 针对上述问题有些地区已经在进行探索, 比如以北京市某区的智慧养老服务平台为例, 该平台整合其辖区内传统线下规模较小的家政服务公司, 共同为辖区内有需求的老年人提供照护服务。但是由于目前平台由于服务数量规模较小, 其匹配更多靠平台中介人员自身的直觉和经验。考虑到这类平台的发展潜力及现有匹配方法的不完善, 有必要更加深入探讨智慧养老服务平台双边匹配的规则与算法问题。

因此, 本文聚焦智慧养老服务平台, 将服务匹配双方的需求均纳入考虑, 以稳定性和公平性为匹配目标, 提出两阶段模型, 探究如何设计规则和算法, 才能实现双方更精准、快速、有效地匹配?

2 相关研究

最早提出“双边匹配”思想的是美国学者 Gale 和经济学家 Shapley, 他们二人于 1962 年合作发表的文章关注了大学录取和婚姻匹配等问题 (Gale & Shapley, 1962), 并且在其中提出了经典的 G-S 算法。双边匹配简而言之就是需要对双边市场的两类主体进行合理匹配的问题。

在方法层面上, 已有的研究大多数都是基于偏好序问题给出的: 樊治平等 (2014) 发表了关于给出偏好序值信息的双边匹配问题; Klaus 等 (2007), 林杨等 (2015) 针对偏好序情况提出双边匹配方法; Fan 等 (2017) 基于失望理论, 张涛等 (2019) 基于后悔理论, 提出考虑偏好序的双边匹配方法; Lazarova 等 (2016) 用货币奖励函数, Yazici 等 (2017) 用纳什均衡情况下的基数单调表示偏好序的双边匹配问题。

对于多属性决策问题, 李玉花 (2009) 研究了多指标评价信息的双边匹配模型在风险投资中的应用; 段歆玮 (2016) 建立了基于婚配基数满意值的多属性评价模型; Korkmaz 等 (2008) 研究军事人员与岗位的双边匹配问题; Joshi 和 Kumar (2012) 提出了网络环境下的婚姻匹配方法并在过程中考虑多指标因素。

双边匹配在很多的研究领域起到了重要的作用, 比如人力资源领域、服务领域以及电子商务领域等。

在人力资源领域, 薛承梦 (2014) 对设计人员与组织匹配的关键技术进行了深入研究; 李华等 (2016) 提出了实现技术供需主体双边匹配的决策方法; 袁铎宁等 (2019) 考虑了存在已有岗位仍想谋求新岗位的岗位申请者的情况下不同稳定匹配方案; Korkmaz 等 (2008) 针对军事人员与岗位的匹配问题进行了研究; Zoer 等 (2012) 研究残疾员工的工作匹配问题; AYTEK 等 (2017) 设计了快速算法从而进行工人与公司间的匹配。

在服务领域, 纪楠等 (2015) 进行了针对家政服务人员与雇主的双边匹配决策方法研究; 路应金 (2018) 研究了互评机制下医疗服务供应链资源匹配的关键因素; 张笛等 (2018) 考虑了在动态情况下关于复杂产品供需双方的双边匹配问题; Chen 等 (2013) 研究了贷款市场中银行与企业之间的匹配。在电子商务领域也存在双边匹配研究, 盛莹 (2011) 等研究了具有模糊信息的多属性商品交易优化方法; Jiang 等 (2011) 对电子中介中的双边匹配问题进行了研究。

以往的研究在方法层面给了本文很好的参考和启示。但是前面的研究存在以下几个方面的不足: (1) 在某些细分市场领域 (如养老服务领域) 缺乏深入的研究; (2) 缺少类似于“用户——公司”、“用户——公司人员”这样符合实际情况的两阶段双边匹配研究; (3) 更多注重匹配决策方法层面, 缺乏对匹配时主体需求特征更为细致的刻画。因此, 本文拟提出一个针对老年人和照护方的两阶段双边匹配模型, 并在模型中提出针对照护人员的多期望方案。

3 研究框架

本节主要阐述我们提出的两阶段匹配的流程以及相关匹配指标描述。

3.1 两阶段匹配

智慧养老服务平台中存在的双边匹配问题是一个两阶段匹配问题（参见图 1，其中，实现表示双边进行的组合，实线表示双边的形成的匹配）。考虑到实际情况的复杂性，本文在研究中对主体匹配情况作了简化处理。本文考虑情况为：针对某一有服务需求的老年人，第一阶段是众多服务商与该老年人的多对一匹配，第二阶段是第一阶段匹配成功的服务商旗下的照护人员与该老年人的多对一匹配。

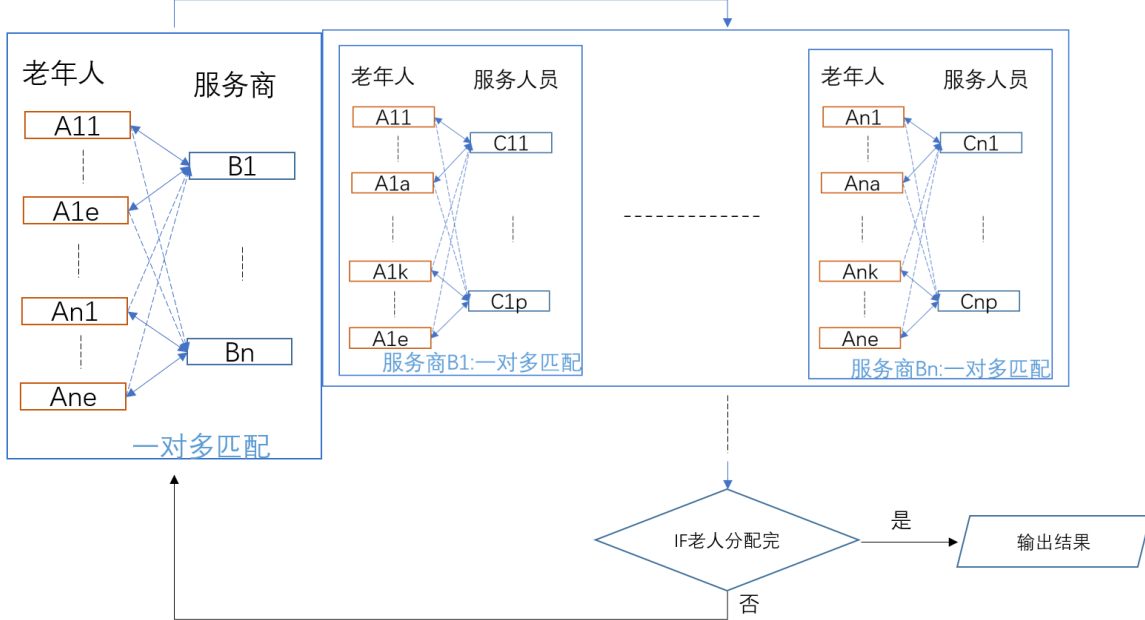


图 1 双边匹配流程图

3.2 匹配指标描述

因为文章篇幅限制，此处仅对指标数量和种类较多的第二阶段指标进行详细阐释，第一阶段匹配指标描述和处理方式与第二阶段同理。但是这里需要注意的是，第一阶段的指标如公司服务老人次数，整体好评率等是依赖第二阶段的历史数据的，因此本文探讨的两阶段匹配指标互相之间具有一定关联。

对于本文的双边匹配，最基本的约束性条件——也就是必须满足的条件是服务内容和时间的匹配。使用集合 F 表示照护人员的服务技能分类， $F = \{F^1, F^2, \dots, F^l\}$ ，为 0-1 变量，表示照护人员或老年人是否具备或需要此项服务。以一周七天为单位，老年人需要照护人员进行工作的时间必须与照护人员的空闲时间相匹配，定义时间集合为 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_7\}$ ，为 0-1 变量，表示照护人员或老年人在某天是否有空闲或需要服务。

除了服务技能和服务时间这两个约束性指标，还有一系列服务满意性指标需要考虑。我们参考了网上一些正在运行的照护平台的指标（如爱依，阿姨帮等）和相关文献研究中提及的指标，在进行适当处理（选取各平台共同关注的指标以及文献中重点提及的指标）后形成本文的指标体系。表 1 列举的是匹配过程中照护人员会考虑的指标。

表 1 照护人员考虑指标

指标名称	指标含义	抽象化表示方法
服务时薪 Y1	照护人员服务单位时间（1 小时）的期望薪资	区间数
是否食宿 Y2	照护人员是否需要在老人家里用餐和留宿	0-1 变量
老人年龄 Y3	老年人的年龄	区间数
自理情况 Y4	老年人的自理程度，分为自理、半自理和无自理	语言变量
服务技能 Y5	照护人员所拥有的服务技能种类，分为助餐、助浴、助洁、助急、助医、助行六种	0-1 变量

服务时间 Y_6

照料人员可提供服务的时间

0-1 变量

设照料人员需要考虑的指标集合为 $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_6\}$ ，且需要给出相应指标的期望值及权重，而平台会要求老年人给出这些指标的实际值。设老年人需要考虑的指标集合为 $L = \{L_1, L_2, \dots, L_7\}$ ，包括服务内容、照料级别、照料人员年龄、学历、性别、口碑和地区等，且需要给出相应指标下自己的期望值及权重（对于老年人来说，权重是选填，本文会设计默认权重集合进行相应指标权重分配），相应地，平台会将照料人员在这些指标下的实际值给出。

考虑到老年人所需要的服务内容（技能）数较多，且会按照自身的自理能力对服务内容和数量有不同要求，本文我们考虑照料人员具有多种技能的情况，如果仅让照料人员提出一种预期方案的话，拥有较多技能的照料人员所提出的预期薪酬区间较大，这种情况下进行匹配可能会影响公平性，比如护理能力较强的照料人员既可以为无自理能力又可以为半自理能力的老年人服务，但是由于提供的服务技能数量和服务对象类型的差异，相应的预期价格可能会存在差异。本文提出这样一种解决方案，即照料人员可以根据对自己能力的判断，制定两个（或多个）可以提供服务的方案，其中可以依据老年人的自理能力、需求服务技能个数或者老年人年龄段的不同，相应调整自己的预期薪资区间，使得匹配结果更加公平精确。

4 研究方法

本节参考李玉花（2009）和段歆玮（2016）等相关研究中的方法，提出本文的两阶段双边匹配算法。具体内容包括满意度计算、模型构建等部分。

4.1 满意度计算

本文考虑根据双方对相应指标的实际值和期望值之间的差异来代表满意度。满意度越高，匹配概率越大。本文考虑使用双方具有不同指标体系的多属性决策法进行满意值计算，不同指标信息有不同的属性形式，需要根据不同属性的性质分别进行满意度计算。而本文涉及到的指标属性形式分为 0-1 变量（组），区间数和语言变量三类。

(1) 0-1 变量（组）：如本文的性别、地区和食宿等变量。对于 0-1 向量（组）而言，我们将期望向量用权重向量 \vec{e} 来表示，每一向量的权重之和为 1，表示主体指标偏好；实际向量用 \vec{a} 来表示，为 0-1 向量（组）。

(2) 区间数：区间数分为区间型和效益型两种类型。在区间型的区间数中，如学历、年龄等，考察的满意值取决于期望区间和实际区间的覆盖程度，覆盖程度越大，满意度越大。在效益型的区间数中，如工资等，计算满意度依据是根据实际值和期望值的边界距离决定的。

(3) 语言变量：在一些属性指标中，有时无法使用具体的数值表达自身的期望或者实际情况，比如个人好评程度等，其往往需要一个对应的短语集合来代表相应分量，比如个人好评程度按照程度由低到高形成语言术语集合： $\{\text{低, 一般, 良, 好, 优秀}\}$ ，这样的短语集合叫做语言术语集。语言术语集中的任一分量叫做语言变量，术语集的个数叫做粒度。我们可以根据粒度和对应语言变量的顺序数把该语言变量转换成相应的三角模糊数，再代入相应公式求得满意度。

4.2 两阶段多目标匹配构建

(1) 第一阶段：考虑老年人与照料公司的双边匹配问题，其中 A 代表老人集合， B 代表公司集合， K 代表属性集合， N 代表公司资源限制数即最大服务老年人数， m_{ij}^k 代表老人 A_i 对公司 B_j 在属性 k 下的满意度，其中决策变量为 x_{ij} ，为 0-1 决策变量。具体的模型如下：

$$\text{Max} Z_1 = \sum_{k \in K} \sum_{i \in A} \sum_{j \in B} w_k m_{ij}^k x_{ij} \text{ --- (1)}$$

$$\begin{aligned} \text{St:} \\ \sum_{i \in A} x_{ij} \leq N_j \quad \forall j \in B \quad \text{----- (2)} \\ \sum_{j \in B} x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in A \quad \text{----- (3)} \\ \sum_{k \in K} w_k = 1, w_k \geq 0, \forall k \in K \quad \text{----- (4)} \\ x_{ij} = 1 \text{ or } 0, \quad \forall i \in A, \forall j \in B \quad \text{----- (5)} \end{aligned}$$

其中，式（1）为目标函数，使得老年人总体对公司满意度最大化；式（2）表示分配到 j 公司的老年人数量不能超过其资源限制数；式（3）表示一个老年人最多匹配到一家照护公司；式（4）表示老年人所有属性指标权重之和为 1；式（5）表示决策变量 x_{ij} 为 0-1 变量。

（2）第二阶段：在将老年人分配到具体的某一家公司之后，需要将老年人与该公司的照护人员进行相应的双边匹配，因为本文考虑的是双边具有不同评价指标体系的双边匹配问题，因此其中 A 代表老年人集合，C 代表照护人员集合，P 代表老年人属性集合，Q 代表照护人员属性集合，S 代表照护人员期望方案集合， w_q 为老年人的期望属性权重， w_p 为照护人员的期望属性权重， α_{ijs}^t 代表老年人 A_i 对人员 C_j 的期望方案 s 在属性 t 下的满意度， β_{ijs}^t 代表照护人员 C_j 的期望方案 s 对老年人 A_i 在属性 t 下的满意度，其中决策变量为 x_{ijs} ，为 0-1 决策变量。

$$\begin{aligned} \text{Max}Z_2 &= \sum_{s \in S} \sum_{i \in A} \sum_{j \in C} \sum_{q \in Q} w_q \alpha_{ijs}^q x_{ijs} \quad \text{----- (1)} \\ \text{Max}Z_3 &= \sum_{s \in S} \sum_{i \in A} \sum_{j \in C} \sum_{p \in P} w_p \beta_{ijs}^p x_{ijs} \quad \text{----- (2)} \\ \text{Min}Z_3 &= \sum_{s \in S} \sum_{i \in A} \sum_{j \in C} \sum_{p \in P} \sum_{q \in Q} (w_q \alpha_{ijs}^q - w_p \beta_{ijs}^p) x_{ijs} \quad \text{----- (3)} \\ \text{St:} \\ \sum_{i \in A} \sum_{s \in S} x_{ijs} &\leq 7 \quad \forall j \in C \quad \text{----- (4)} \\ \sum_{j \in C} \sum_{s \in S} x_{ijs} &\leq 1 \quad \forall i \in A \quad \text{----- (5)} \\ \sum_{p \in P} w_p &= 1, w_p \geq 0, \forall p \in P \quad \text{----- (6)} \\ \sum_{q \in Q} w_q &= 1, w_q \geq 0, \forall q \in Q \quad \text{----- (7)} \\ x_{ijs} &= 1 \text{ or } 0, \quad \forall i \in A, \forall j \in C, \forall s \in S \quad \text{----- (8)} \end{aligned}$$

其中，式（1）-（3）为目标函数，式（1）与式（2）表示为达到匹配稳定性，双方匹配满意度最大化，式（3）表示为达到公平性，双方匹配满意度差值最小；式（4）表示每个照护人员在一周内的服务时间天数不能超过 7 天；式（5）表示一个老年人最多匹配到一名照护人员；式（6）（7）表示双方各自所有属性指标权重之和为 1；式（8）表示决策变量 x_{ijs} 为 0-1 变量。

5 贡献、局限与未来工作

本文的研究问题为照护公司/人员与老年人之间的匹配，具有如下学术贡献：首先，与以前只有一个阶段的双边匹配问题不同，本文考虑的是老年人和照护方之间两阶段的双边匹配。其次，由于照护人员是稀缺资源，也是匹配的一大主体，也需要重视其匹配体验，本文从照护人员角度提出基于多种期望方案的匹

配模型。

但是，本文也存在着一定的局限性：首先，没有在实际平台上应用我们的算法，还未验证其可行性与匹配的效果，未来会考虑与智慧养老服务平台进行合作，将我们的算法嵌入到平台中。其次，考虑的指标数和指标范围有限，未来随着智慧养老服务平台的进一步发展，进一步优化我们的指标；最后，因为本文研究对实际匹配情况作了简化，未来还应该实现符合实际情况的多对多匹配。

本文为进展中的研究，后续我们还会进行如下工作：第一，除了老年人能够自身进行指标自定义权重分配外，也需要一套默认的符合大多数老年人需求的指标权重分配；第二，算例因为篇幅限制，没有放入本文，后续还将使用智能算法（如遗传算法）对模型进行求解，得出匹配结果。

参 考 文 献

- [1] Erdil A, Ergin H. Two-Sided Matching with Indifferences[J]. *Journal of Economic Theory*, 2017, 171: 268-292
- [2] Chen J, Song K. Two-sided matching in the loan market[J]. *International Journal of Industrial Organization*, 2013, 31(2):145-152.
- [3] Fan Z P, Li M Y, Zhang X. Satisfied two-sided matching: a method considering elation and disappointment of agents[J]. *Soft Computing*, 2017.
- [4] Gale D, Shapley L. College admissions and the stability of marriage[J]. *American Mathematical Monthly*, 1962, 69 (1): 9-15.
- [5] Joshi K, Kumar S. Matchmaking using Fuzzy Analytical Hierarchy Process, Compatibility Measure and Stable Matching for Online Matrimony in India[J]. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 2012, 19(1-2):57-66.
- [6] Klaus B, Klijn F. Paths to stability for matching markets with couples[J]. *Games & Economic Behavior*, 2007, 58(1):154-171.
- [7] Korkmaz, İbrahim, Gökçen, Hadi, Çetinyokuş, Tahsin. An analytic hierarchy process and two-sided matching based decision support system for military personnel assignment[J]. *Information Sciences*, 2008, 178(14):2915-2927.
- [8] Lazarova E, Borm P, Arantza Estévez-Fernández. Transfers and exchange-stability in two-sided matching problems[J]. *Theory and Decision*, 2016, 81.
- [9] Yazici, Ayse. Probabilistic stable rules and Nash equilibrium in two-sided matching problems[J]. *International Journal of Game Theory*, 2017, 46(1):103-124.
- [10] Zoer I, De G L, Kuijer P P, et al. Matching work capacities and demands at job placement in employees with disabilities.[J]. *Work*, 2012, 42(2):205.
- [11] 段歆玮,詹文杰,杨洁.多属性双边匹配模型及其应用研究[J]. *管理学报*, 2016,第 13 卷(6):899-905.
- [12] 樊治平,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.
- [13] 蒋忠中,盛莹,樊治平, et al. 属性权重信息不完全的双边匹配多目标决策模型的研究[J]. *运筹与管理*, 2008, 17(4):138-142.
- [14] 李玉花.基于多指标评价信息的双边匹配模型研究[D]. 东北大学, 2009.
- [15] 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): 2212-2218.
- [16] 盛莹,蒋忠中,樊治平.电子中介中具有模糊信息的多属性商品交易匹配方法研究[J]. *运筹与管理*, 2011(6).
- [17] 薛承梦.产品创新设计人员与组织匹配研究及系统开发[D]. 重庆大学, 2014.
- [18] 袁铎宁,姜艳萍.岗位存在占有申请者条件下人岗双边匹配模型[J].*控制与决策*,2019,34(05):1069-1076.
- [19] 张笛,孙涛,高明美等.多重偏好序下的复杂产品主制造商—供应商多阶段双边匹配方法[J]. *计算机集成制造系统*, 2018, 第 24 卷(3):804-812.

作者简介:

李芳菲 (1995-), 女, 中国人民大学信息学院, 中国人民大学智慧养老研究所, 研究生, 研究方向为: 智慧医养, 管理优化

邵红琳 (1996-), 女, 中国人民大学信息学院, 中国人民大学智慧养老研究所, 软件工程硕士研究生, 研究方向为: 智慧医养, 数据标准

左美云 (1971-), 男, 中国人民大学信息学院教授, 中国人民大学智慧养老研究所, 所长, 博士生导师, 研究方向为: 智慧医养, 信息系统采纳, 管理优化, Email: zuomy@ruc.edu.cn