

# 控制与决策

Control and Decision

## 混合决策下考虑第三方偏好的远程医疗服务匹配方法

路薇, 赵杰, 翟运开

引用本文:

路薇, 赵杰, 翟运开. 混合决策下考虑第三方偏好的远程医疗服务匹配方法[J]. *控制与决策*, 2021, 36(11): 2803–2811.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0447>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 基于犹豫度和相似度的专家权重确定方法及其应用

Expert weights determination method and application based on hesitancy degree and similarity measure

*控制与决策*. 2021, 36(6): 1482–1488 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1382>

### 考虑主体心理行为的三边单向非循环稳定匹配

Three-sided stable matching with one-way acyclic preference considering agent's psychological behavior

*控制与决策*. 2021, 36(3): 741–746 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1047>

### 基于鲁棒优化的云医疗资源配置问题

Robust optimization based medical resource allocation problem in cloud healthcare system

*控制与决策*. 2021, 36(2): 469–474 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0455>

### 现货市场补充作用下基于总量折扣的运输服务采购问题研究

Transportation service procurement based on total discount under complementary effect of spot market

*控制与决策*. 2021, 36(11): 2794–2802 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0274>

### 考虑时间序列的动态大群体应急决策方法

Dynamic large group emergency decision-making method considering time series

*控制与决策*. 2020, 35(11): 2609–2618 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0088>

# 混合决策下考虑第三方偏好的远程医疗服务匹配方法

路薇<sup>1</sup>, 赵杰<sup>2,3</sup>, 翟运开<sup>1,2,3†</sup>

(1. 郑州大学 管理工程学院, 郑州 450001; 2. 郑州大学第一附属医院, 郑州 450052;  
3. 互联网医疗系统与应用国家工程实验室, 郑州 450052)

**摘要:** 为优化远程医疗的服务匹配、合理配置医疗资源以及满足不同主体的个性化需求, 针对基层医生干预下的远程医疗服务匹配问题提出一种在混合决策背景下考虑第三方偏好的远程医疗服务匹配方法. 首先, 对研究问题进行描述, 定义匹配方案; 其次, 考虑决策者偏好信息的不确定性和模糊性, 根据不同形式的评价信息计算评价信息与期望信息之间的差异度; 再次, 在基层医生偏好的基础上得到供、需方满意度矩阵, 进而考虑匹配方案的理性、稳定和满意匹配约束建立一个多目标优化模型, 以供、需双方满意度最大化以及专家、患者差异度最小化为目标得到最优匹配对; 最后, 通过算例分析证实所提出方法的可行性, 为远程医疗的多主体有效合作提供一个新的优化方向.

**关键词:** 远程医疗; 服务匹配; 第三方偏好; 个性化需求; 混合决策; 双边匹配; 匹配决策

中图分类号: C934; R197.32

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2020.0447

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 路薇, 赵杰, 翟运开. 混合决策下考虑第三方偏好的远程医疗服务匹配方法 [J]. 控制与决策, 2021, 36(11): 2803-2811.

## Matching method for telemedicine service considering third-party preferences in context of mixed decision-making

LU Wei<sup>1</sup>, ZHAO Jie<sup>2,3</sup>, ZHAI Yun-kai<sup>1,2,3†</sup>

(1. School of Management Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China; 3. National Engineering Laboratory for Internet Medical Systems and Applications, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** To optimize the service matching, rationally allocate medical resources and meet the personalized needs of different subjects in telemedicine, this paper proposes a telemedicine service matching method that considers the third-party preferences in the context of mixed decision-making, aiming at the problem of telemedicine service matching under the intervention of regional doctors. Firstly, the research problem is described and matching schemes are defined. Secondly, considering the uncertainty and fuzziness of decision makers' preference information, the degree of difference between evaluation and expectation information is calculated according to different forms of evaluation information. Moreover, two-sided satisfaction matrices are obtained based on the preference of regional doctors. After that, considering the rational, stable and satisfactory matching constraints of the matching scheme, a multi-objective optimization model is established to maximize the satisfaction of the supplier and the demander, and to minimize the difference between experts and patients. Finally, the feasibility of this method is demonstrated by an illustrative example, which provides a new optimization direction for the effective multi-agent cooperation in telemedicine.

**Keywords:** telemedicine; service matching; third-party preferences; personalized demand; mixed decision-making; two-sided matching; matching decision

## 0 引言

近年来, 远程医疗因其能够克服时间和地域限制, 实现医患间的远距离问诊, 有效节约医疗资源

和成本, 促进优质医疗资源下沉<sup>[1]</sup>, 缓解医患纠纷等问题受到了广泛关注. 区别于传统的 D2P(doctor to patient) 医疗服务模式, 远程医疗形成了一种由

收稿日期: 2020-04-20; 修回日期: 2020-06-24.

基金项目: 河南省高校科技创新团队支持计划项目(20IRTSTHN028); 国家自然科学基金项目(71972012); 河南省重大科技专项项目(151100310800).

责任编辑: 李勇建.

†通讯作者. E-mail: zhayunkai@zzu.edu.cn.

基层医生发起申请,经匹配后基层医生和专家在约定时间对患者病例进行讨论进而得出一致方案的D2D2P(doctor to doctor to patient)服务模式.随着人们生活水平的提高和生活方式的转变,人民群众对医疗服务的个性化需求逐渐增加,但在远程医疗的实践过程中,大多采取基层医生推荐的方式为患者选择会诊专家,专家的诊疗对象也由远程医疗工作人员为其分配,并不能满足医患的个性化需求.因此,在多主体的参与下,如何优化远程医疗服务匹配,合理配置远程医疗资源以满足不同主体的个性化需求是远程医疗领域亟待解决的问题.

双边匹配问题是指双边个体的相互匹配过程.医疗资源的匹配是为患者选择适合的专家、为专家分配合适的患者,可以看作是一个典型的双边匹配问题.双边匹配理论可以追溯到Gale等<sup>[2]</sup>对于大学招生和男女婚姻问题的匹配.至今,该理论已得到了大量研究,如智能环保<sup>[3]</sup>、人岗匹配<sup>[4]</sup>、技术知识供需匹配<sup>[5]</sup>、贷款市场中银行与企业之间的匹配<sup>[6]</sup>、企业联盟中的伙伴选择<sup>[7]</sup>和教师分配<sup>[8]</sup>等领域.双边匹配理论在医疗资源的匹配方面也有了丰富的研究成果.Kojima等<sup>[9]</sup>考虑医院偏好和分配约束条件,研究了医院和医生的双边匹配问题.Schinkel等<sup>[10]</sup>调查了患者偏好和参与感知之间的匹配与医患满意度间的关系.王娟等<sup>[11]</sup>根据患者期望将需求者进行合理分组,并以分组后的需求者满意度最大化为目标建立了一种两阶段医患匹配方法.也有学者在智能平台背景下考虑了主体的心理行为,构建了医疗服务供需匹配模型<sup>[12-13]</sup>,其中文献[12]根据患者的个性化需求类型计算对医生的满意度矩阵,构建了满意稳定的匹配决策模型,文献[13]考虑了医疗主体的犹豫和不确定性心理特征,通过集结运算获得双方满意度.姚玲玲等<sup>[14]</sup>由患者状况与医生所提供服务的偏离程度测算医生的偏好排序,构建了双边匹配的双向转诊模型.陈希等<sup>[15]</sup>在患者的差异化需求下提出了一种考虑患者预约行为的医患双方匹配决策方法,将预约患者与普通患者分类讨论.袁铎宁等<sup>[16]</sup>基于患者期望水平,针对择期手术患者和医生的匹配问题提出了一种新的匹配决策方法.

以上成果在不同情境中研究了医患匹配问题,扩展了双边匹配理论在医疗服务领域的应用,但上述研究只研究了D2P模式下的匹配问题,缺乏远程医疗背景下D2D2P模式的供需匹配问题研究.区别于传统D2P医疗服务中的服务供给医生和服务需求患者的匹配,远程医疗情境中出现了第三方,即为患者提供首诊服务、连接患者和专家的基层医生.在远程医疗

情境中,基层医生作为参与主体发挥着重要作用,其在专家-患者匹配过程中的个体需求和指引作用不能忽视.另一方面,上述研究在对主体个性化需求的考虑中将主体的犹豫性和确定性隔离开来,较少考虑决策主体的混合偏好,即犹豫性和确定性同时出现的情况.鉴于此,本文在远程医疗背景下,考虑不同主体的个性化需求和混合性决策,为最大化参与主体的满意度以及最小化专家、患者的差异度,提出一种在混合决策背景下考虑第三方偏好的远程医疗服务供需双边匹配方法.医患的有效匹配不仅能满足医患的个性化需求,还能实现医疗资源的有效利用,提升供(专家)、需(患者和基层医生)双边的满意度,进而提升远程医疗的行业竞争力.

## 1 双边匹配问题描述

为解决远程医疗情境下第三方参与的医患匹配问题,本文将双边匹配理论引入远程医疗专家、基层医生、患者的有效匹配问题中,在考虑各主体的个性化需求和混合决策的前提下,为患者挑选适合的专家,为专家分配合适的患者,为基层医生选择满意的专家,进而实现供需双边的最优化匹配.

远程医疗是一种基于远程医疗平台的多主体参与服务.当基层医生遇到疑难杂症时,经患者同意后向上级医院发出会诊申请,以得到专家的远程指导.专家是服务供给方,为患者提供优质的医疗服务,也为基层医生提供专业指导.患者是服务需求方,享受优质的医疗资源.基层医生是中介方,连接专家和患者,以使患者能够享受更为便捷和优质的医疗服务;基层医生也是需求方,是远程医疗服务真正的发起者和使用者,对维护远程医疗的可持续发展起着不容忽视的作用.因此,在远程医疗的医患匹配过程中,基层医生的个体意愿和偏好不容忽视.远程医疗平台集结三方主体的个性化信息,以供(专家)、需(患者和基层医生)双边满意度最大化和医患差异度最小化为目标,通过集结运算推荐出最优匹配对,支撑服务的运行.为了更直观地阐释上述过程,绘制图1描述远程医疗服务的交互选择模式,通过一系列的选择机制或策略,为远程医疗服务的供需双方推荐最优匹配对,实现供需合理匹配和资源优化调度.

### 1.1 符号说明

下面给出该问题涉及变量的符号描述:假设患者集合为 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ ,  $P_i$ 为第 $i$ 个患者,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;专家集合为 $E = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$ ,  $E_j$ 为第 $j$ 个专家,  $j = 1, 2, \dots, m$ ;基层医生集合为 $R = \{R_1, R_2, \dots, R_l\}$ ,  $R_k$ 为第 $k$ 个基层医生,  $k = 1, 2, \dots, l$ .

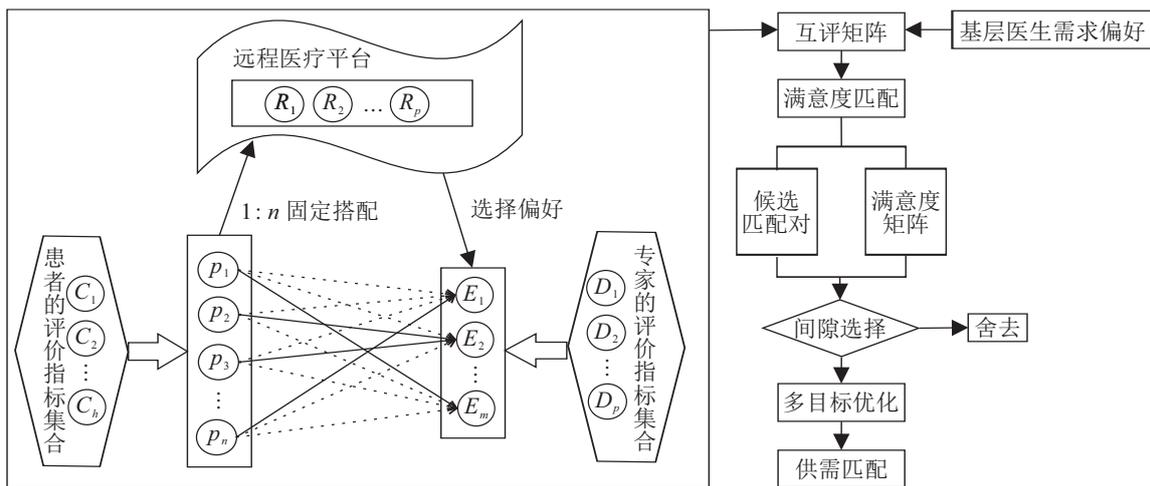


图 1 远程医疗服务交互选择模式

在实践中,患者可能会对专家的职称、态度、技术水平或者等待时间等方面提出不同的要求,专家会对期望会诊的患者有一定的预期,基层医生也会对会诊专家有一定的偏好.基于此,远程医疗平台需要在专家、基层医生和患者的个性化需求下对服务的供、需方进行匹配.假设患者对专家的评价指标集合为  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_h\}$ ,  $C_g$  为患者对专家的第  $g$  个评价指标,  $g = 1, 2, \dots, h$ , 其相应的权重向量为  $W = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_h)^T$ ,  $\omega_g$  为专家第  $g$  个评价指标的权重,  $0 \leq \omega_g \leq 1, \sum_{g=1}^h \omega_g = 1$ . 专家对患者提出的指标评价集合为  $D = \{D_1, D_2, \dots, D_p\}$ ,  $D_q$  为患者的第  $q$  个评价指标,  $q = 1, 2, \dots, p$ , 其权重向量为  $V = (\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_p)^T$ ,  $\nu_q$  为专家评价指标  $D_q$  的权重,  $0 \leq \nu_q \leq 1, \sum_{q=1}^p \nu_q = 1$ .

远程医疗平台需根据专家现实状况给出对专家的评价矩阵, 设为  $A = [A_{jg}]_{m \times h}$ ,  $A_{jg}$  为平台对第  $j$  个专家的第  $g$  个指标的评价值; 由基层医生给出患者的评价矩阵  $B = [B_{iq}]_{n \times p}$ ,  $B_{iq}$  为基层医生对患者  $P_i$  的  $D_q$  指标的评价值; 患者对专家的期望矩阵为  $H = [H_{ig}]_{n \times h}$ ,  $H_{ig}$  为患者  $P_i$  对专家的第  $g$  个指标的期望值; 专家对患者的期望矩阵为  $I = [I_{jq}]_{m \times p}$ ,  $I_{jq}$  为专家  $E_j$  对患者的第  $q$  个评价指标的期望值; 基层医生的偏好矩阵为  $\eta = [\eta_{kj}]_{l \times m}$ ,  $\eta_{kj}$  为基层医生  $R_k$  对专家  $E_j$  的偏好度.

1.2 匹配方案

远程医疗服务的供需匹配是在基层医生干预下专家和患者的一对多匹配问题, 即一次申请中, 一名患者只能接受一名专家提供的医疗服务, 而一名专家能对多名患者提供诊疗服务, 且由于时间和精力限

制, 专家的服务数量有限. 设专家  $E_j$  的最大接诊数量为  $y_j$ , 则远程医疗服务的一对多匹配问题可以定义如下.

定义 1 远程医疗服务专家和患者的一对多映射为  $\mu : P \cup \rightarrow P \cup E$ , 对于  $\forall P_i \in P, \forall E_j \in E, \mu$  满足以下条件:

- 1)  $\mu(E_j) \subseteq P \cup \{E_j\}$ , 若  $\mu(E_j) = E_j$ , 则表明专家  $E_j$  没有可接诊的患者;
- 2)  $\mu(P_i) \subseteq \{P_i\} \cup E$ , 对于  $\forall P_i \in P, \mu(P_i) \neq P_i$ , 表示患者一定存在可匹配的专家;
- 3) 若  $\mu(E_j) = P_i, \mu(P_i) = E_j$ , 则表明患者  $P_i$  与专家  $E_j$  一一对应, 即患者  $P_i$  被专家  $E_j$  提供服务,  $(P_i, E_j)$  为一个匹配对;
- 4)  $\mu(E_j) = \{P_a, \dots, P_b\}$ , 假设  $\{P_a, \dots, P_b\}$  有  $l$  个元素, 若  $l = y_j$ , 则  $\forall P_i, i \neq a, \dots, b, \mu(E_j) \neq P_i$ , 即专家  $E_j$  最多能够接诊  $y_j$  个患者, 若  $l < y_j$ , 则  $\exists P_i, i \neq a, \dots, b$ , 使得  $\mu(E_j) = P_i$ .

需要指出的是, 在远程医疗服务中, 患者必将得到专家的服务, 不存在有患者没有匹配到专家的情况. 对于患者而言, 当使患者最满意的专家接诊人数达到上限时, 患者可与其他可接受的专家进行匹配, 以得到优质的医疗服务, 这种现象称为患者个体理性. 对基层医生而言, 若存在患者和专家的匹配对使得基层医生满意度未达到最大, 则基层医生可接受该匹配方案, 以使患者可以得到医疗服务, 这种现象称为基层医生个体理性. 由于本文中患者和专家的匹配是在考虑基层医生偏好的前提下形成的, 本文将患者个体理性和基层医生个体理性统称为需求方 (P-R) 个体理性. 设  $\alpha_{ij}, \beta_{ji}$  和  $\gamma_{ij}$  分别为患者  $P_i$  对专家  $E_j$  的满意度、专家  $E_j$  对患者  $P_i$  的满意度和基层医生  $R_k$  对专家  $E_j$  的满意度. 下面给出需求方个体理性的具

体定义.

**定义2** 对于 $\forall P_i \in P, \forall R_k \in R, \forall E_j \in E, \exists h \neq i, h = 1, 2, \dots, n$ , 若满足任一条件, 则满足需求方个体理性:

1)  $\mu(P_i) = E_j$ , 满足 $\alpha_{ij} + \gamma_{kj} > \alpha_{ih} + \gamma_{kh}, \beta_{ji} > \beta_{hi}$ , 且 $|\mu(E_j)| < y_j$ ;

2)  $\mu(P_i) = E_h$ , 满足 $\alpha_{ij} + \gamma_{kj} > \alpha_{ih} + \gamma_{kh} > 0, 0 < \beta_{ji} < \beta_{hi}$ , 且 $|\mu(E_j)| = y_j$ .

这些专家和患者的匹配对集合称为供需匹配方案. 本文在文献[12]的基础上将远程医疗服务匹配方案分为满意匹配方案、不满意匹配方案、个体理性方案、稳定匹配方案.

**定义3** 对于 $\mu$ 确定的方案集,  $\forall P_i \in P, \forall R_k \in R, \forall E_j \in E$ , 若 $\mu(P_i) = E_j$ , 且 $\forall h \neq i, h = 1, 2, \dots, n$ , 满足 $\alpha_{ij} + \gamma_{kj} > \alpha_{ih} + \gamma_{kh}, \beta_{ji} > \beta_{hi}$ , 则该方案为满意稳定匹配方案.

满意稳定匹配方案是指: 在该方案中, 供需双方都达到最大的满意度, 供需双方在该方案下的满意度均比与其他主体匹配的满意度高.

**定义4** 对于 $\mu$ 确定的方案集,  $\forall P_i \in P, \forall R_k \in R, \forall E_j \in E$ , 若 $\mu(P_i) = E_j$ , 且 $\exists h \neq i, h = 1, 2, \dots, n$ , 使得 $\alpha_{ij} + \gamma_{kj} < \alpha_{ih} + \gamma_{kh}, \beta_{ji} < \beta_{hi}$ , 且 $|\mu(E_h)| < y_h$ , 则该方案称为不满意匹配方案.

不满意匹配方案是指: 在当前匹配状态下, 存在能够使双边主体更满意的匹配对, 且双方能完成匹配, 使得双边主体的满意度更高.

**定义5** 对于 $\mu$ 确定的方案集,  $\forall P_i \in P, \forall R_k \in R, \forall E_j \in E$ , 若 $\mu(P_i) = E_j$ , 需求方是个体理性的, 且 $\beta_{ij} > 0$ , 则该方案称为个体理性方案.

个体理性匹配方案是指: 在需求方个体理性的前提下, 专家能够接受该患者的需求.

**定义6** 对于 $\mu$ 确定的方案集,  $\exists P_i, P_l \in P, \forall R_k \in R, \exists E_j, E_h \in E$  满足以下任一条件, 则该方案为稳定匹配方案:

1)  $\mu(P_i) = E_j, \mu(P_l) = E_h$ , 满足 $\alpha_{ij} + \gamma_{kj} > \alpha_{lh} + \gamma_{kh}$ , 且 $\beta_{ji} > \beta_{hl}$ ;

2)  $\mu(P_i) = E_j$ , 满足 $|\mu(E_h)| < y_h, \alpha_{ij} + \gamma_{kj} > \alpha_{lh} + \gamma_{kh}$ ;

3)  $\mu(P_i) = E_j, \mu(P_l) = E_h$ , 满足 $|\mu(E_h)| = y_h, \alpha_{ij} + \gamma_{kj} > \alpha_{lh} + \gamma_{kh}$ .

稳定匹配方案是指: 在当前匹配方案下, 患者均有满足期望的专家与其匹配, 不存在专家和患者同时放弃当前匹配对而匹配的情况.

**定理1** 对于 $\mu$ 确定的方案集, 若 $\mu$ 为稳定匹配方案, 则 $\mu$ 为个体理性匹配方案.

**证明** 利用反证法, 假设 $\mu$ 为一稳定匹配方案, 且 $\mu$ 不是个体理性匹配方案, 那么一定存在某一主体

不能接受其当前的匹配对象, 该主体会放弃当前匹配对象, 这与稳定匹配方案的定义矛盾.  $\square$

**定理2** 对于 $\mu$ 确定的方案集, 若 $\mu$ 为满意匹配方案, 则 $\mu$ 为稳定匹配方案.

**证明** 利用反证法, 假设 $\mu$ 为一满意匹配方案, 且 $\mu$ 不是稳定匹配方案, 那么一定存在某一主体不能接受其匹配对象, 这与满意匹配方案定义矛盾.  $\square$

综上, 在本研究中, 若存在满意匹配方案, 则其也是最优方案, 即满意稳定方案.

## 2 匹配决策方法

根据前景理论, 针对各主体间的心理依赖行为特征, 需找出参照点, 并以此为目标衡量实际值与目标值之间的差距以综合评价其满意度<sup>[17]</sup>. 因此, 在对供需双边进行匹配决策前, 本文以专家和患者对指标的期望值为目标, 计算实际评价与期望值之间的差异度, 再根据差异度计算双方的满意度.

随着现实决策环境的日益复杂以及信息的不对称性, 现实生活中的不确定性普遍存在, 决策者往往很难给出确切的评价值, 给出的偏好信息通常是模糊和不确定的<sup>[18]</sup>, 甚至可能会在几个评价术语中表现出犹豫性. 鉴于评价者的此种特性, 本文考虑了评价者混合决策的4种评价类型: 确切评价值、区间评价值、语言信息评价值和犹豫模糊语言评价值, 且假定每个指标的评价术语是一致的. 设 $d_{ij}^c$ 和 $d_{ji}^d$ 分别为患者 $P_i$ 对专家 $E_j$ 关于指标 $C$ 的差异度和专家 $E_j$ 对患者 $P_i$ 关于指标 $D$ 的差异度, 且 $A_{g \max} = \max_{1 \leq j \leq m} \{A_{jg}\}, A_{g \min} = \min_{1 \leq j \leq m} \{A_{jg}\}$ .

$$\max_{1 \leq j \leq m} \{A_{jg}\}, A_{g \min} = \min_{1 \leq j \leq m} \{A_{jg}\}.$$

### 2.1 供需双方满意度

以需求方满意度求解过程为例.

**情况1** 远程医疗平台对专家的评价为确切评价值 $A_{jg}$ , 患者也给出对专家的确切期望值 $H_{ig}$ .

当平台给出的专家评价值小于患者对专家的期望值时, 其差异度为负; 相反, 差异度为正; 当评价值等于期望值时, 差异度为0. 具体表示为

$$d_{ij}^c = \begin{cases} -\frac{H_{ig} - A_{jg}}{H_{ig} - A_{g \min}}, & A_{g \min} \leq A_{jg} < H_{ig}; \\ 0, & A_{jg} = H_{ig}; \\ \frac{A_{jg} - H_{ig}}{A_{g \max} - H_{ig}}, & H_{ig} < A_{jg} \leq A_{g \max}. \end{cases} \quad (1)$$

**情况2** 远程医疗平台给出对专家的区间评价值 $[A_{jg}^L, A_{jg}^R]$ , 患者也给出区间期望值 $[H_{ig}^L, H_{ig}^R]$ .

评价值与期望值之间存在6种情况:

1) 当 $A_{g \min}^L \leq A_{jg}^L < A_{jg}^R \leq H_{ig}^L < H_{ig}^R$ , 即评价区间小于期望区间时, 存在负差异;

2) 当  $A_{g\min}^L \leq A_{jg}^L \leq H_{ig}^L < A_{jg}^R \leq H_{ig}^R$ , 即评价区间与期望区间有交叉, 且期望区间大于评价区间时, 既存在正差异又存在负差异;

3) 当  $A_{g\min}^L \leq A_{jg}^L \leq H_{ig}^L < H_{ig}^R \leq A_{jg}^R$ , 即评价区间包含期望区间时, 存在正负差异;

4) 当  $H_{ig}^L \leq A_{jg}^L < H_{ig}^R \leq A_{jg}^R \leq A_{g\max}^L$ , 即评价区间与期望区间有交叉, 且评价区间部分大于期望区间时, 存在正差异;

5) 当  $H_{ig}^L \leq A_{jg}^L < A_{jg}^R \leq H_{ig}^R$ , 期望区间包含评价区间时, 存在正差异;

6) 当  $H_{ig}^L < H_{ig}^R \leq A_{jg}^L < A_{jg}^R \leq A_{g\max}^R$ , 评价区间大于期望区间时, 存在正差异.

令

$$F = A_{jg}^R - A_{jg}^L, F_1 = \frac{H_{ig}^L - A_{jg}^L}{H_{ig}^L - A_{g\min}^L},$$

$$F_2 = \frac{A_{jg}^L - H_{ig}^L}{H_{ig}^R - H_{ig}^L},$$

有

$$d_{ij}^c = \left\{ \begin{array}{l} -\frac{1}{F} \int_{A_{jg}^L}^{A_{jg}^R} F_1 d(A_{jg}), \\ \quad A_{g\min}^L \leq A_{jg}^L < A_{jg}^R \leq H_{ig}^L < H_{ig}^R; \\ \frac{1}{F} \left( \int_{H_{ig}^L}^{A_{jg}^R} F_2 d(A_{jg}) - \int_{A_{jg}^L}^{H_{ig}^L} F_1 d(A_{jg}) \right), \\ \quad A_{g\min}^L \leq A_{jg}^L \leq H_{ig}^L < A_{jg}^R \leq H_{ig}^R; \\ \frac{1}{F} \left( \int_{H_{ig}^L}^{H_{ig}^R} F_2 d(A_{jg}) + \int_{H_{ig}^R}^{A_{jg}^R} d(A_{jg}) - \int_{A_{jg}^L}^{H_{ig}^L} F_1 d(A_{jg}) \right), \\ \quad A_{g\min}^L \leq A_{jg}^L \leq H_{ig}^L < H_{ig}^R \leq A_{jg}^R; \\ \frac{1}{F} \left( \int_{A_{jg}^L}^{H_{ig}^R} F_2 d(A_{jg}) + \int_{H_{ig}^R}^{A_{jg}^R} d(A_{jg}) \right), \\ \quad H_{ig}^L \leq A_{jg}^L < H_{ig}^R \leq A_{jg}^R \leq A_{g\max}^R; \\ \frac{1}{F} \int_{A_{jg}^L}^{A_{jg}^R} F_2 d(A_{jg}), \\ \quad H_{ig}^L \leq A_{jg}^L < A_{jg}^R \leq H_{ig}^R; \\ \frac{1}{F} \int_{A_{jg}^L}^{A_{jg}^R} d(A_{jg}), \\ \quad H_{ig}^L < H_{ig}^R \leq A_{jg}^L < A_{jg}^R \leq A_{g\max}^R. \end{array} \right. \quad (2)$$

**情况 3** 远程医疗平台给出对专家的确切评价价值  $A_{jg}$ , 患者给出对专家的区间期望值  $[H_{ig}^L, H_{ig}^R]$ .

当平台给出的专家评价价值  $A_{jg}$  小于患者对专家的期望区间下限  $H_{ig}^L$  时, 差异度为负; 当评价价值  $A_{jg}$  介于期望区间  $[H_{ig}^L, H_{ig}^R]$  时, 存在正差异; 当评价价值  $A_{jg}$

大于期望区间上限  $H_{ig}^R$  时, 差异度为 1. 具体表示为

$$d_{ij}^c = \begin{cases} -\frac{H_{ig}^L - A_{jg}}{H_{ig}^L - A_{g\min}^L}, & A_{g\min}^L \leq A_{jg} < H_{ig}^L; \\ \frac{A_{jg} - H_{ig}^L}{H_{ig}^R - H_{ig}^L}, & H_{ig}^L \leq A_{jg} < H_{ig}^R; \\ 1, & H_{ig}^R \leq A_{jg} \leq A_{g\max}^L. \end{cases} \quad (3)$$

同理可得专家评价为区间、患者期望值为确切值情形下的差异度, 即

$$d_{ij}^c = \begin{cases} -\frac{H_{ig} - A_{jg}^R}{H_{g\max} - A_{jg}^R}, & A_{jg}^R \leq H_{ig} < H_{g\max}; \\ \frac{H_{ig} - A_{jg}^L}{A_{jg}^R - A_{jg}^L}, & A_{jg}^L \leq H_{ig} < A_{jg}^R; \\ 1, & H_{g\min} \leq H_{ig} < A_{jg}^L. \end{cases} \quad (4)$$

**情况 4** 远程医疗平台给出对专家的语言评价价值  $A_{jg}$ , 患者也给出语言期望值  $H_{jg}$ .

设  $\xi_{jg}$  是语言评价价值  $A_{jg}$  的下标值,  $\psi_{ig}$  是语言评价价值  $H_{ig}$  的下标值, 具体表示为

$$d_{ij}^c = \begin{cases} -\frac{\psi_{ig} - \xi_{jg}}{\psi_{ig} - \xi_{g\min}}, & \xi_{g\min} \leq \xi_{jg} < \psi_{ig}; \\ 0, & \xi_{jg} = \psi_{ig}; \\ \frac{\xi_{jg} - \psi_{ig}}{\xi_{g\max} - \psi_{ig}}, & \psi_{ig} < \xi_{jg} \leq \xi_{g\max}. \end{cases} \quad (5)$$

其中:  $\xi_{g\max} = \max_{1 \leq j \leq m} \{\xi_{jg}\}$ ,  $\xi_{g\min} = \min_{1 \leq j \leq m} \{\xi_{jg}\}$ .

**情况 5** 远程医疗平台给出对专家的犹豫模糊语言评价价值  $A_{jg}$ , 患者也给出犹豫模糊语言期望值  $H_{jg}$ .

设  $l_a$  和  $l_h$  分别是评价价值和期望值集合中元素的个数. 在现实情况中, 各个决策者的犹豫度可能是不同的, 不可能全部给出元素数量相同的评价结果, 即可能存在  $l_a \neq l_h$ . 通常情况下, 在对犹豫模糊语言距离测度时, 均需犹豫模糊语言信息集中元素个数相等, 为计算方便, 会对两个集合进行标准化处理, 其常用方法是根据决策者风险偏好在个数少的集合中补充数值<sup>[19]</sup>, 直至  $l_a = l_h$ , 如选择集合中的最大值或最小值术语进行补充. 但这种方法主观性太强, 会改变原始信息, 引起决策信息的扭曲<sup>[20]</sup>, 且选取标准不同, 会造成评价结果的偏差. 因此, 学者们不断探索避免标准化过程的测量方法, 符号距离的出现有效地解决了这个问题<sup>[21]</sup>.

目前已提出了不同的方法测量符号距离, 如考虑决策分歧<sup>[21]</sup>、考虑元素个数<sup>[22]</sup>和考虑元素个数处理<sup>[23]</sup>的测量方法. 本文基于文献<sup>[23]</sup>提出的新型符号距离犹豫模糊语言集的处理方法对犹豫模糊语言评价价值和期望值的距离进行测量, 在计算之前需要将

评价信息进行处理,使其映射到[0,1]上.

**定义7**<sup>[23]</sup> 设  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  是一个多粒度语言术语集,  $H_s = \{s_L, s_{L+1}, \dots, s_U\}$  是  $S$  上的一个犹豫模糊语言信息集,  $l_h$  是  $H_s$  的元素个数,  $\hat{1}$  是理想点犹豫模糊元, 新型符号距离公式为

$$d_{\bar{s}}(H_s, \hat{1}) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{l_h} \sum_{L=1}^U (1 - s_L) + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{l_h} \sum_{L=1}^U (s_L - \frac{1}{l_h} \sum_{L=1}^U s_L)^2 + \sqrt{1 - \frac{1}{1 + \ln l_h}} \right) \right). \quad (6)$$

式(6)满足以下规则:

1)  $0 \leq d_{\bar{s}}(H_s, \hat{1}) \leq 1$ .

2) 当且仅当  $d_{\bar{s}}(H_s, \hat{1}) = 1$  时,  $s_L = \hat{1}$ .

3) 若  $d_{\bar{s}}(H_1, \hat{1}) > d_{\bar{s}}(H_2, \hat{1})$ , 则  $H_1 < H_2$ ; 若  $d_{\bar{s}}(H_1, \hat{1}) < d_{\bar{s}}(H_2, \hat{1})$ , 则  $H_1 > H_2$ ; 若  $d_{\bar{s}}(H_1, \hat{1}) = d_{\bar{s}}(H_2, \hat{1})$ , 则  $H_1 = H_2$ .

设  $d(A_{jg}, \hat{1})_{\max} = \max_{1 \leq j \leq m} \{d(A_{jg}, \hat{1})\}$ ,  $d(A_{jg}, \hat{1})_{\min} = \min_{1 \leq j \leq m} \{d(A_{jg}, \hat{1})\}$ , 当决策者给出的信息为犹豫模糊语言评价术语时, 其差异度为

$$d_{ij}^c = \begin{cases} \frac{d(A_{jg}, \hat{1}) - d(H_{ig}, \hat{1})}{d(A_{jg}, \hat{1})_{\max} - d(H_{ig}, \hat{1})}, & A_{g \min} \leq A_{jg} < H_{ig}; \\ 0, & A_{jg} = H_{ig}; \\ \frac{d(H_{ig}, \hat{1}) - d(A_{jg}, \hat{1})}{d(H_{ig}, \hat{1}) - d(A_{jg}, \hat{1})_{\min}}, & H_{ig} < A_{jg} \leq A_{g \max}. \end{cases} \quad (7)$$

同理可得一方给出语言评价, 另一方给出犹豫模糊语言评价情景下的差异度.

根据上文所述, 求出差异度  $d_{ij}^c$  后可计算需求方的满意度  $S_{ij}$ , 由于患者的选择受到基层医生的偏好影响, 且遵循以患者为中心的宗旨, 需求方的满意度为

$$S_{ij} = (1 + \eta_{kj}) \sum_{g=1}^h \omega_g d_{ij}^c, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\ j = 1, 2, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, l. \quad (8)$$

同理, 供给方满意度为

$$\bar{S}_{ij} = \sum_{q=1}^p \nu_q d_{ji}^d, \\ i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (9)$$

### 2.2 匹配决策模型

根据前文需求方和供给方的差异度和满意度, 引入0-1变量  $x_{ij}$ , 建立多目标优化模型, 以获得满意稳定的最佳匹配方案, 确保供、需双边匹配满意度最大化以及专家和患者的差异度最小化. 多目标优化模

型公式为

$$\max Z_1 = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n S_{ij} \times x_{ij}, \quad (10a)$$

$$\max Z_2 = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \bar{S}_{ij} \times x_{ij}, \quad (10b)$$

$$\min Z_3 = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n |d_{ij}^c - d_{ji}^d| \times x_{ij}. \quad (10c)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (10d)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq y_j, \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad (10e)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (10f)$$

式(10a)~(10f)为本文的多目标优化模型. 式(10a)和(10b)为满足供给方和需求方满意度最大化的目标函数; 式(10c)为满足专家和患者的差异度最小化目标函数; 式(10d)为稳定匹配约束条件, 表示需求方必与一个供给方匹配; 式(10e)表示供给方提供自己限额范围内的服务, 即专家  $E_j$  至多接诊  $y_j$  个患者; 式(10f)为引入的0-1变量, 若  $x_{ij} = 1$  则表示患者  $P_i$  与专家  $E_j$  相匹配, 否则  $x_{ij} = 0$ .

要解决多目标优化模型需要一个附加函数, 为了简化多目标优化模型的求解, 采用线性加权法将多目标函数转化为单目标函数实现. 设目标函数的权重系数分别为  $\mu_1$ 、 $\mu_2$  和  $\mu_3$ , 其中  $\mu_3 = 1 - \mu_1 - \mu_2$ . 新的线性目标规划公式如下, 然后采用LINGO软件求解:

$$\max Z = \mu_1 \times Z_1 + \mu_2 \times Z_2 - (1 - \mu_1 - \mu_2) \times Z_3. \quad (11a)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (11b)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq y_j, \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad (11c)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (11d)$$

远程医疗服务双边匹配的步骤如下.

**step 1:** 根据给出信息得到患者和专家的偏好信息, 进而构建互评矩阵.

**step 2:** 在考虑基层医生偏好的基础上, 由式(1)~(9)得到患者和专家的差异度矩阵以及供需满意度矩阵.

**step 3:** 以供、需双边满意度最大化以及专家和患者之间的差异度最小化为目标, 通过考虑稳定匹配约

束条件,构建多目标双边匹配优化函数.

step 4:将多目标优化模型转换为单目标优化模型,求解并获得最优匹配对.

### 3 算例分析

在某一远程医疗平台中有10位基层医生  $R_k$  ( $k = 1, 2, \dots, 10$ ) 需要寻求专家的帮助,每位基层医生对应一名患者  $P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 10$ ),该平台下有4名该领域专家可以接受会诊  $E_j$  ( $j = 1, 2, 3, 4$ ),每位医生的最大接诊数为3. 远程医疗平台对专家的评价以及患者对专家的期望指标主要包括专家声誉  $C_1$ 、收费情况  $C_2$ 、等待时间  $C_3$ 、专业水平  $C_4$ 、治疗效果  $C_5$ , 给出各指标权重为  $(0.18, 0.2, 0.14, 0.22, 0.26)$ . 基层医生对患者的评价以及专家对患者的期望指标为专长相似度  $D_1$ 、严重程度  $D_2$ 、沟通能力  $D_3$ , 患者各指标权重为  $(0.43, 0.32, 0.15)$ . 远程医疗平台和患者对

专家的评价以及期望信息见表1. 其中:  $C_2$  和  $C_3$  的指标类型为成本型,其余指标为效益型;指标  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  和  $D_1$  的评价信息为数值型;  $C_4$ 、 $C_5$ 、 $D_2$  和  $D_3$  的评价用语言评价信息表示,采用7粒度语言术语集  $S = \{S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\} = \{\text{非常差, 很差, 差, 中等, 好, 很好, 非常好}\}$ . 基层医生和专家给出的患者评价和期望信息见表2.

基层医生对专家的偏好矩阵为

$$\eta = \begin{bmatrix} 0.98 & 0 & 0.64 & 0.33 \\ 0.65 & 0 & 0.72 & 0.57 \\ 0.75 & 0.89 & 0.46 & 0 \\ 0.36 & 0.61 & 0 & 0.76 \\ 0.82 & 0.93 & 0.77 & 0 \\ 0.39 & 0.63 & 0.87 & 0.94 \\ 0.34 & 0.56 & 0 & 0.85 \\ 0.94 & 0 & 0.55 & 0.86 \\ 0 & 0.49 & 0.79 & 0.83 \\ 0.34 & 0.68 & 0.99 & 0.72 \end{bmatrix}$$

表1 远程医疗平台和患者对专家的评价和期望信息

| $A_{jg}$ | $C_1$  | $C_2$      | $C_3$    | $C_4$               | $C_5$ |
|----------|--------|------------|----------|---------------------|-------|
| $E_1$    | 4      | [0.8, 2]   | [3, 20]  | $\{S_3, S_4, S_5\}$ | $S_5$ |
| $E_2$    | 5      | [0.5, 2]   | [9, 13]  | $\{S_3, S_4\}$      | $S_6$ |
| $E_3$    | 4      | [0.5, 2]   | [10, 14] | $\{S_3, S_4, S_5\}$ | $S_4$ |
| $E_4$    | 3      | [0.3, 2]   | [8, 15]  | $\{S_4, S_5\}$      | $S_6$ |
| $H_{ig}$ | $C_1$  | $C_2$      | $C_3$    | $C_4$               | $C_5$ |
| $P_1$    | [3, 4] | [0.5, 0.8] | [3, 8]   | $\{S_5, S_6\}$      | $S_4$ |
| $P_2$    | 4      | [1, 3]     | [8, 10]  | $\{S_3, S_4, S_5\}$ | $S_4$ |
| $P_3$    | 3      | [0.5, 1]   | [6, 12]  | $\{S_3, S_4\}$      | $S_4$ |
| $P_4$    | [4, 5] | [0.3, 0.5] | [12, 15] | $\{S_3, S_4\}$      | $S_5$ |
| $P_5$    | 2      | [0.5, 1.5] | [4, 9]   | $\{S_4, S_5\}$      | $S_4$ |
| $P_6$    | 3      | [0.5, 1]   | [3, 12]  | $\{S_4, S_5\}$      | $S_5$ |
| $P_7$    | 4      | [0.3, 1]   | [5, 10]  | $\{S_3, S_4\}$      | $S_5$ |
| $P_8$    | 5      | [0.5, 2]   | [10, 20] | $\{S_3, S_4, S_5\}$ | $S_4$ |
| $P_9$    | 3      | [1, 2]     | [8, 15]  | $\{S_4, S_5\}$      | $S_4$ |
| $P_{10}$ | [2, 3] | [0.8, 1.5] | [5, 12]  | $\{S_5, S_6\}$      | $S_5$ |

表2 基层医生和专家对患者的评价和期望信息

| $B_{iq}$ | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ | $B_{iq}$ | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ |
|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| $P_1$    | 85    | $S_5$ | $S_5$ | $P_6$    | 65    | $S_4$ | $S_3$ |
| $P_2$    | 70    | $S_6$ | $S_4$ | $P_7$    | 70    | $S_3$ | $S_4$ |
| $P_3$    | 80    | $S_5$ | $S_5$ | $P_8$    | 90    | $S_5$ | $S_4$ |
| $P_4$    | 90    | $S_4$ | $S_4$ | $P_9$    | 85    | $S_4$ | $S_5$ |
| $P_5$    | 60    | $S_4$ | $S_4$ | $P_{10}$ | 85    | $S_6$ | $S_5$ |
| $I_{jg}$ | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ | $I_{jg}$ | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ |
| $E_1$    | 80    | $S_4$ | $S_4$ | $E_3$    | 75    | $S_4$ | $S_4$ |
| $E_2$    | 75    | $S_5$ | $S_4$ | $E_4$    | 65    | $S_4$ | $S_5$ |

为确定远程医疗平台中专家和患者的匹配方案,由式(1)~(7)得到患者和专家的差异度,进而由式(8)和(9)获得供需方满意度矩阵,见表3.

表3 供需方满意度矩阵

| $S_{ij}$       | $E_1$  | $E_2$  | $E_3$  | $E_4$  |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
| $(P-R)_1$      | 0.114  | 0.220  | -0.016 | 0.150  |
| $(P-R)_2$      | 0.141  | 0.222  | 0.000  | 0.304  |
| $(P-R)_3$      | 0.268  | 0.441  | 0.138  | 0.482  |
| $(P-R)_4$      | -0.042 | 0.260  | -0.302 | 0.302  |
| $(P-R)_5$      | 0.079  | 0.220  | -0.052 | 0.320  |
| $(P-R)_6$      | -0.082 | 0.221  | -0.342 | 0.261  |
| $(P-R)_7$      | 0.048  | 0.440  | -0.212 | 0.300  |
| $(P-R)_8$      | 0.050  | 0.053  | -0.079 | 0.315  |
| $(P-R)_9$      | 0.059  | 0.233  | -0.073 | 0.273  |
| $(P-R)_{10}$   | -0.073 | 0.222  | -0.335 | 0.213  |
| $\bar{S}_{ij}$ | $E_1$  | $E_2$  | $E_3$  | $E_4$  |
| $P_1$          | 0.525  | 0.437  | 0.597  | 0.504  |
| $P_2$          | 0.105  | 0.177  | 0.177  | 0.331  |
| $P_3$          | 0.310  | 0.293  | 0.453  | 0.418  |
| $P_4$          | 0.430  | 0.270  | 0.430  | 0.355  |
| $P_5$          | -0.430 | -0.590 | -0.430 | -0.505 |
| $P_6$          | -0.473 | -0.597 | -0.437 | -0.150 |
| $P_7$          | -0.535 | -0.463 | -0.463 | -0.309 |
| $P_8$          | 0.590  | 0.430  | 0.590  | 0.515  |
| $P_9$          | 0.365  | 0.277  | 0.437  | 0.344  |
| $P_{10}$       | 0.685  | 0.757  | 0.757  | 0.664  |

借助式(10)构建多目标优化模型,并根据式(11)将其转换为单目标优化模型,考虑到各指标的公平性,此处取 $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ,进而求得最优解:(1,1)、(2,1)、(3,2)、(4,2)、(5,1)、(6,4)、(7,3)、(8,4)、(9,2)、(10,4),即专家 $E_1$ 与患者 $P_1$ 、 $P_2$ 和 $P_5$ 匹配, $E_2$ 与 $P_3$ 、 $P_4$ 和 $P_9$ 匹配, $E_3$ 与 $P_7$ 匹配, $E_4$ 与 $P_6$ 、 $P_8$ 和 $P_{10}$ 匹配。

虽然本文对远程医疗情景下医患匹配问题进行了决策分析,计算结果较为客观,但是需要决策者事先选定合适的权重系数.当权重系数发生变化时,可能会影响匹配结果.为了观察不同权重系数取值对匹配结果的影响,下面选取8种情况进行灵敏度分析,结果如表4所示。

表4 不同权重系数取值及相应的最优匹配结果

| $\mu_1, \mu_2, \mu_3$ | 最优匹配结果  |
|-----------------------|---|
| 0.1, 0.5, 0.4         | (1, 1)(2, 4)(3, 1)(4, 2)(5, 3)(6, 4)(7, 3)(8, 4)(9, 2)(10, 2) |
| 0.2, 0.3, 0.5         | (1, 2)(2, 1)(3, 1)(4, 2)(5, 3)(6, 4)(7, 3)(8, 4)(9, 2)(10, 4) |
| 0.3, 0.2, 0.5         | (1, 2)(2, 1)(3, 1)(4, 2)(5, 1)(6, 4)(7, 3)(8, 4)(9, 2)(10, 4) |
| 0.4, 0.3, 0.3         | (1, 1)(2, 1)(3, 2)(4, 2)(5, 1)(6, 4)(7, 3)(8, 4)(9, 2)(10, 4) |
| 0.5, 0.4, 0.1         | (1, 1)(2, 1)(3, 2)(4, 2)(5, 1)(6, 4)(7, 2)(8, 4)(9, 3)(10, 4) |
| 0.6, 0.3, 0.1         | (1, 1)(2, 1)(3, 2)(4, 2)(5, 1)(6, 4)(7, 2)(8, 4)(9, 3)(10, 4) |
| 0.7, 0.2, 0.1         | (1, 1)(2, 1)(3, 2)(4, 4)(5, 1)(6, 4)(7, 2)(8, 4)(9, 3)(10, 4) |
| 0.8, 0.1, 0.1         | (1, 1)(2, 1)(3, 2)(4, 4)(5, 1)(6, 4)(7, 2)(8, 4)(9, 3)(10, 4) |

## 4 结论

本文针对基层医生干预下的远程医疗服务匹配问题提出了一种考虑第三方偏好的供需双边匹配决策方法.首先,充分考虑远程医疗服务中专家和患者的个性化需求,得到医患互评矩阵;然后,考虑决策者评价的模糊性和犹豫性,计算不同形式下评价信息与期望信息之间的差异度,在考虑第三方需求偏好的基础上得到供需双边满意度矩阵;最后以供需双边满意度最大化和专家、患者差异度最小化为目标构建多目标优化模型,得到理性、稳定且满意的供需匹配方案.所提出方法不仅能满足医患的个性化需求,而且有助于实现医疗资源的合理配置和有效利用,为远程医疗的多主体有效合作提供一个新的优化方向.但本文仅考虑远程医疗过程中的供需匹配问题,在进一步的研究中会扩大研究范畴,研究整个就医流程中的匹配问题,充分分析评价者的复杂心理特性,以期研究更为科学合理。

## 参考文献(References)

- [1] 翟运开. 协同视角下的远程医疗系统建设项目组织架构设计研究——以河南省远程医疗系统建设为例[J]. 中国软科学, 2016(9): 125-134.
- [2] Gale D, Shapley L S. College admissions and the stability of marriage[J]. The American Mathematical Monthly, 1962, 69(1): 9-15.
- [3] Yue Q, Zhang L L, Yu B W, et al. Two-sided matching for triangular intuitionistic fuzzy numbers in smart environmental protection[J]. IEEE Access, 2019, 7: 42426-42435.
- [4] Yue Q, Zhang L, Peng Y S, et al. Decision method for two-sided matching with interval-valued intuitionistic fuzzy sets considering matching aspirations[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2016, 31(6): 2903-2910.
- [5] Han J, Li B, Liang H M, et al. A novel two-sided matching decision method for technological knowledge supplier and demander considering the network collaboration effect[J]. Soft Computing, 2018, 22(16): 5439-5451.
- [6] Chen J W, Song K J. Two-sided matching in the loan market[J]. International Journal of Industrial Organization, 2013, 31(2): 145-152.
- [7] Mindruta D, Moeen M, Agarwal R. A two-sided matching approach for partner selection and assessing complementarities in partners' attributes in inter-firm alliances[J]. Strategic Management Journal, 2016, 37(1): 206-231.
- [8] Boyd D, Lankford H, Loeb S, et al. Analyzing the determinants of the matching of public school teachers to jobs: Disentangling the preferences of teachers and employers[J]. Journal of Labor Economics, 2013, 31(1): 83-117.
- [9] Kojima F, Tamura A, Yokoo M. Designing matching mechanisms under constraints: An approach from discrete convex analysis[J]. Journal of Economic Theory, 2018, 176: 803-833.
- [10] Schinkel S, Schouten B C, Street R L, et al. Enhancing health communication outcomes among ethnic minority patients: The effects of the match between participation preferences and perceptions and doctor-patient concordance[J]. Journal of Health Communication, 2016, 21(12): 1251-1259.
- [11] 王娟, 陈希, 赵柳. 考虑需求者期望的两阶段医疗服务供需匹配方法[J]. 中国管理科学, 2015, 23(S1): 132-136.

(Wang J, Chen X, Zhao L. Two-stage supply and demand matching method for medical service considering the expectations of demanders[J]. Chinese Journal of Management Science, 2015, 23(S1): 132-136.)

- [12] 高宇璇, 杜跃平, 孙秉珍, 等. 考虑患者个性化需求的医疗服务匹配决策方法[J]. 运筹与管理, 2019, 28(4): 17-25.  
(Gao Y X, Du Y P, Sun B Z, et al. Matching method for medical service considering the personalized demand of patients[J]. Operations Research and Management Science, 2019, 28(4): 17-25.)
- [13] 陈希, 王娟. 智能平台下考虑主体心理行为的医疗服务供需匹配方法[J]. 运筹与管理, 2018, 27(10): 125-132.  
(Chen X, Wang J. Matching method for medical service supply and demand considering bodies' psychological behavior based on intelligent platform[J]. Operations Research and Management Science, 2018, 27(10): 125-132.)
- [14] 姚玲玲, 程薇, 满晓玮. 双边匹配理论在双向转诊中的应用研究[J]. 中国全科医学, 2016, 19(31): 3773-3775.  
(Yao L L, Cheng W, Man X W. Application of two-sided matching theory in dual referral[J]. Chinese General Practice, 2016, 19(31): 3773-3775.)
- [15] 陈希, 孙欢, 梁海明. 差异化需求下考虑患者预约行为的医疗服务供需匹配方法[J]. 运筹与管理, 2019, 28(2): 90-97.  
(Chen X, Sun H, Liang H M. A Matching method for healthcare service supply and demand considering patients' appointment behavior with diversified demand[J]. Operations Research and Management Science, 2019, 28(2): 90-97.)
- [16] 袁铎宁, 姜艳萍. 择期手术患者与手术医生的稳定双边匹配模型[J]. 系统工程理论与实践, 2019, 39(7): 1752-1762.  
(Yuan D N, Jiang Y P. Stable Two-sided matching model between selective operation patients and surgeons[J]. System Engineering — Theory & Practice, 2019, 39(7): 1752-1762.)
- [17] 陈希, 韩菁, 张晓. 考虑心理期望与感知的多属性匹配决策方法[J]. 控制与决策, 2014, 29(11): 2027-2033.  
(Chen X, Han J, Zhang X. Method for multiple attribute matching decision making considering matching body's psychological aspiration and perception[J]. Control and Decision, 2014, 29(11): 2027-2033.)
- [18] Li B D, Yang Y, Su J F, et al. Two-sided matching model for complex product manufacturing tasks based on dual hesitant fuzzy preference information[J]. Knowledge-Based Systems, 2019, 186: 104989.
- [19] Xu Z S, Xia M M. Distance and similarity measures for hesitant fuzzy sets[J]. Information Sciences, 2011, 181(11): 2128-2138.
- [20] 施明华, 肖庆宪. 基于前景理论的犹豫模糊语言绿色供应商优选决策[J]. 统计与决策, 2018, 34(21): 46-50.  
(Shi M H, Xiao Q X. Optimal decision-making for hesitant fuzzy linguistic green supplier based on prospect theory[J]. Statistics & Decision, 2018, 34(21): 46-50.)
- [21] Li D Q, Zeng W Y, Zhao Y B. Note on distance measure of hesitant fuzzy sets[J]. Information Sciences, 2015, 321(11): 103-115.
- [22] Hu J H, Zhang X L, Chen X H, et al. Hesitant fuzzy information measures and their applications in multi-criteria decision making[J]. International Journal of Systems Science, 2016, 47(1): 62-76.
- [23] 阮传扬. 基于新型符号距离的犹豫模糊多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2019, 34(3): 620-627.  
(Ruan C Y. Hesitant fuzzy decision making method based on new type signed distance[J]. Control and Decision, 2019, 34(3): 620-627.)

### 作者简介

路薇(1994—), 女, 博士生, 从事医疗信息系统与管理的研究, E-mail: luwei622@163.com;

赵杰(1969—), 男, 教授, 博士生导师, 从事医疗信息系统与管理、互联网与医疗健康大数据等研究, E-mail: zhaojie@zzu.edu.cn;

翟运开(1980—), 男, 教授, 博士生导师, 从事医疗信息系统与管理、互联网与医疗健康大数据等研究, E-mail: zhaiyunkai@zzu.edu.cn.

(责任编辑: 郑晓蕾)