

基于混合模糊多指标的医疗服务匹配决策方法

龚历菁, 乐琦

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2023年3月9日; 录用日期: 2023年4月12日; 发布日期: 2023年4月21日

摘要

为了合理地配置医疗资源和提高医疗服务的效率, 本文提出了运用混合模糊多指标进行医疗服务匹配的方法。给出三角直觉模糊数和毕达哥拉斯模糊数的定义; 描述多指标双边匹配决策问题; 使用TOPSIS法处理三角直觉模糊数和毕达哥拉斯模糊数, 计算贴近度, 将其线性加权后得到满意度; 考虑双边匹配的稳定性约束条件, 构建多目标优化模型, 求解得到使患者和医生满意度最大化的匹配方案。通过算例分析证明所提方法的实用性和可行性。

关键词

医疗服务匹配, 多指标, 混合模糊, 满意度, 优化模型

Medical-Service Matching Decision Method Based on Hybrid Fuzzy and Multiple Criteria

Lijing Gong, Qi Yue

School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Mar. 9th, 2023; accepted: Apr. 12th, 2023; published: Apr. 21st, 2023

Abstract

In order to rationally allocate medical resources and improve the efficiency of medical services, this paper proposes a medical-service matching decision method based on hybrid fuzzy and multiple criteria. Firstly, the definitions on triangular fuzzy numbers and pythagorean fuzzy numbers are given. Secondly, a multi criteria two-sided matching problem above is described. Then TOPSIS method is applied for dealing with triangular fuzzy numbers and pythagorean fuzzy numbers, and calculating the closeness degrees. The closeness degrees are linearly weighted to obtain satisfaction degrees. Further, considering the stability constraints matching of the two-sided matching scheme, a multi-objective optimization model is constructed to obtain the matching scheme that

can maximum the satisfaction degree of patients and doctors. An example is given to illustrate the practicability and feasibility of the proposed method.

Keywords

Medical-Service Matching, Multiple Criteria, Hybrid Fuzzy, Satisfaction Degree, Optimization Model

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在国民经济快速发展的形势下,我国各项改革力度不断加大,衣食住行等基本的民生问题得到了很好的保障。与此同时人们更加关注自己的健康,它影响着人们的生活水平,影响着国家经济的发展和社会的稳定。在这个大环境下,我国医疗服务行业在高速发展,医疗服务质量不断提高。然而,由于目前我国人口基数大,伴随着人口城镇化、老龄化等社会经济转型过程的推进,居民的健康需求不断增长,医疗服务行业的供给侧结构性问题仍旧突出。为了优化医院管理以及推动和谐医患关系的发展,应用互联网医疗服务平台提供的信息[1],将医生与患者用有效的方法进行双边匹配,可以提高医疗服务效率。

近年来,针对医患的双边匹配问题研究非常广泛。路薇等[2]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。高宇璇等[3]针对考虑患者个性化需求的医疗服务匹配决策问题,运用变步长算法求解构建的匹配决策模型。陈希和王娟[4]在患者和医生匹配时将患者的期望和犹豫不确定的心态纳入考虑范围,并运用集结运算的方法求得了医患双方的满意度。路应金等[5]在医疗的供应链资源供需匹配方面应用 Gale-Shapley 算法模型对医患双向选择进行最优资源配置研究。袁铎宁等[6]根据患者选择的手术时间和医生对手术类型的专业程度将医患进行匹配,构建了满足医患期望水平的多目标优化模型,并设计了求得稳定匹配方案的启发式算法。上述已有文献用不同方法从患者和治疗方案的匹配、患者与医生的匹配等方面研究了医疗服务相关的匹配问题,但考虑到现实双边匹配问题的复杂性、双方主体存在的信息不对称性和模糊性等,许多学者在匹配决策中应用模糊集理论。Chen 等[7]提出一种考虑匹配主体心理行为且使用犹豫模糊集的多指标双边匹配决策方法。Li 等[8]提出了一种基于对偶犹豫模糊集的多属性双边匹配决策方法。Yu 等[9]基于直觉模糊环境下的后悔理论,提出了相应的双边匹配决策方法。Yue 等[10]提出了一种基于三角直觉模糊数的双边匹配决策方法,并将其应用于智能环保。

在已有医疗服务匹配研究中,大多使用一种模糊数对指标进行评价,存在不能很好体现评价双方偏好的局限性,然而在充分了解医患双方的偏好的情况下,才能更好地将医生与患者进行匹配。本文在上述研究的基础上提出了使用混合模糊多指标决策方法来评价和匹配医生与患者。混合模糊多指标决策方法能更好地体现医患双方的主观偏好,因为评价者的判断和偏好通常具有模糊性、不确定性和复杂性,以至于评价者不能用精确的数值来衡量偏好。因此,本文在多指标决策框架下应用三角直觉模糊数和毕达哥拉斯模糊数处理各评价方的个体评价语义信息,运用 TOPSIS 法计算贴近度,将贴近度线性加权后得到满意度,在此基础上构建双方满意度最大化的双边匹配模型,通过求解模型得到最优匹配结果。

2. 模糊集

2.1. 三角直觉模糊集

定义 1.1 [11] 设 X 为论域, x 为给定论域 X 中的一个元素, 称 $A = \{(x, u_A(x), v_A(x)) | x \in X\}$ 为 X 上的一个直觉模糊集, $u_A(x)$ 、 $v_A(x)$ 分别为 x 属于 A 的隶属度与非隶属度。令 $\pi_A(x) = 1 - u_A(x) - v_A(x)$ 为反映 A 的犹豫度的直觉模糊指标, $\pi_A(x)$ 的值越小, 该模糊数越精确。直觉模糊集满足以下两个条件: ① X 为非空集; ② $0 \leq u_A(x) + v_A(x) \leq 1, 0 \leq \pi_A(x) \leq 1, \forall x \in X$ 。

定义 1.2 [12] 令 \tilde{a} 为一个三角直觉模糊数, 则 \tilde{a} 可表示为 $\tilde{a} = ([a, a, \bar{a}]; u_{\tilde{a}}, v_{\tilde{a}})$ 。其中 \underline{a} 和 \bar{a} 分别为模糊数的下限和上限, a 为可能性最大的值, $u_{\tilde{a}}$ 、 $v_{\tilde{a}}$ 分别为其对应的隶属度和非隶属度。

2.2. 毕达哥拉斯模糊集

毕达哥拉斯模糊集[13]是在直觉模糊集基础上拓展而来的, 直觉模糊集其隶属度与非隶属度之和不超过 1, 而毕达哥拉斯模糊集其隶属度与非隶属度平方和不超过 1, 因而在处理模糊性及不确定性等方面具有较大优势。目前该理论已广泛应用于多属性决策[14] [15]、医疗诊断[16] [17] [18]、供应链管理[19] [20] 等领域。

定义 2.1 [13] 设 X 为论域, 称 $A = \{(x, u_A(x), v_A(x)) | x \in X\}$ 为 X 上的一个毕达哥拉斯模糊集, 其中 $u_A, v_A: X \rightarrow [0, 1]$ 为 X 上的模糊集, $u_A(x)$ 、 $v_A(x)$ 分别为 x 属于 A 的隶属度与非隶属度, $\forall x \in X, u_A(x)$ 、 $v_A(x) \in [0, 1]$, 有 $u_A^2(x) + v_A^2(x) \leq 1$ 。称 $\pi_A(x) = \sqrt{1 - u_A^2(x) - v_A^2(x)}$ 为 x 属于 A 的犹豫度。若 $\forall x \in X, \pi_A(x) = 0$, 则 A 退化为传统的模糊集。为方便表述, 称 $\alpha = (u_\alpha(x), v_\alpha(x))$ 为毕达哥拉斯模糊数, $u_\alpha \in [0, 1]$, $v_\alpha \in [0, 1]$, $u_\alpha^2(x) + v_\alpha^2(x) \leq 1$ 。

3. 多指标匹配决策问题

多指标匹配决策问题中, 设患者的主体集合是 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$, 其中第 i 位患者用 P_i 表示, $i = 1, 2, \dots, m$; 医生的主体集合是 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$, 其中第 j 名医生用 D_j 表示, $j = 1, 2, \dots, n$ 。假设主体 P 对主体 D 的评价指标集 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_g\}$, 集合 A 中第 a 个指标用 A_a 表示, $a = 1, 2, \dots, g$; 指标权重 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_g)^T$, ω_a 表示 A_a 的权重, $0 \leq \omega_a \leq 1$ 且 $\sum_{a=1}^g \omega_a = 1$; $F = [F_{ia}^j]_{m \times g}$ 是患者对医生的评价矩阵, 对主体 D_j 指标 A_a 的评价值为 F_{ia}^j 。假设主体 D 对主体 P 的评价指标集 $B = \{B_1, B_2, \dots, B_h\}$, 集合 B 中第 b 个指标用 B_b 表示, $b = 1, 2, \dots, h$; 指标权重 $\eta = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_h)^T$, η_b 表示 B_b 的权重, $0 \leq \eta_b \leq 1$ 且 $\sum_{b=1}^h \eta_b = 1$; $T = [T_{jb}^i]_{n \times h}$ 是医生对患者的评价矩阵, 对主体 P_i 指标 B_b 的评价值为 T_{jb}^i 。本文需要解决的问题是, 依据医患双边主体的评价信息, 采用混合模糊多指标匹配决策方法, 得到双方满意度最大化的匹配方案。

4. 匹配决策方法

4.1. 匹配满意度计算

TOPSIS 法是一种逼近于理想解的排序法, 根据有限个评价对象与理想化目标的接近程度进行排序, 贴近度取值在 0~1 之间, 越接近 1 表明评价越高[21]。

构造患者对医生的评价矩阵 $[F_{ia}^j]_{m \times g}$, P_i 为各患者, A_a 为对医生评价的各指标。

确定正负理想解 S_a^{j+} 、 S_a^{j-} :

$$S_a^{j+} = \begin{cases} \max_{1 \leq i \leq m} \{F_{ia}^j\}, a = 1, \dots, g; \text{越大越优型指标} \\ \min_{1 \leq i \leq m} \{F_{ia}^j\}, a = 1, \dots, g; \text{越小越优型指标} \end{cases}$$

$$S_a^{j-} = \begin{cases} \min_{1 \leq i \leq m} \{F_{ia}^j\}, a = 1, \dots, g; \text{越大越优型指标} \\ \max_{1 \leq i \leq m} \{F_{ia}^j\}, a = 1, \dots, g; \text{越小越优型指标} \end{cases}$$

计算评价对象与正负理想解之间的距离 Sd_i^{j+} 、 Sd_i^{j-} :

$$Sd_i^{j+} = \sqrt{\sum_{a=1}^g (S_a^{j+} - F_{ia}^j)^2}, i = 1, \dots, m$$

$$Sd_i^{j-} = \sqrt{\sum_{a=1}^g (S_a^{j-} - F_{ia}^j)^2}, i = 1, \dots, m$$

计算贴适度 C_{ia}^j :

$$C_{ia}^j = \frac{Sd_i^{j-}}{Sd_i^{j+} + Sd_i^{j-}}$$

依据所得的贴适度 C_{ia}^j 可计算患者 P_i 对医生 D_j 的综合满意度 α_{ij} 为:

$$\alpha_{ij} = \sum_{a=1}^g \omega_a C_{ia}^j, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

同理, 构造医生对患者的评价矩阵 $[T_{jb}^i]_{n \times h}$, D_j 为各医生, B_b 为对患者评价的各指标。

确定正负理想解 S_b^{i+} 、 S_b^{i-} :

$$S_b^{i+} = \begin{cases} \max_{1 \leq j \leq n} \{T_{jb}^i\}, b = 1, \dots, h; \text{越大越优型指标} \\ \min_{1 \leq j \leq n} \{T_{jb}^i\}, b = 1, \dots, h; \text{越小越优型指标} \end{cases}$$

$$S_b^{i-} = \begin{cases} \min_{1 \leq j \leq n} \{T_{jb}^i\}, b = 1, \dots, h; \text{越大越优型指标} \\ \max_{1 \leq j \leq n} \{T_{jb}^i\}, b = 1, \dots, h; \text{越小越优型指标} \end{cases}$$

计算评价对象与正负理想解之间的距离 Sd_j^{i+} 、 Sd_j^{i-} :

$$Sd_j^{i+} = \sqrt{\sum_{b=1}^h (S_b^{i+} - T_{jb}^i)^2}, j = 1, \dots, n$$

$$Sd_j^{i-} = \sqrt{\sum_{b=1}^h (S_b^{i-} - T_{jb}^i)^2}, j = 1, \dots, n$$

计算贴适度 C_{jb}^i :

$$C_{jb}^i = \frac{Sd_j^{i-}}{Sd_j^{i+} + Sd_j^{i-}}$$

依据所得的贴适度 C_{jb}^i 可计算医生 D_j 对患者 P_i 的综合满意度 β_{ij} 为:

$$\beta_{ij} = \sum_{b=1}^h \eta_b C_{jb}^i, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

4.2. 匹配决策模型构建

为了计算上述问题的结果, 引入 0-1 变量 X_{ij} , 若 $X_{ij} = 0$ 表示患者与医生匹配不成功, 若 $X_{ij} = 1$ 表示患者与医生匹配成功。根据患者 P_i 对医生 D_j 诊治情况的综合满意度 α_{ij} 和医生 D_j 对患者 P_i 诊治反应的综

合满意度 β_{ij} , 建立以下多目标优化模型式(1)~(6):

$$\max z_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\max z_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \beta_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1, i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq y_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$x_{ij} + \sum_{k:\alpha_{ik} \geq \alpha_{ij}} x_{ik} + \sum_{l:\beta_{lk} \geq \beta_{ij}} x_{lk} \geq y_j, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

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

其中, 式(1)、(2)为目标函数, 式(1)表示使患者对医生诊治情况的满意度最大化, 式(2)表示使医生对患者诊治反应的满意度最大化。式(3)~(6)为约束条件, 式(3)表示每个患者最多预约一名医生, 式(4)表示一名医生最多诊治 y_j 个患者, 式(5)是为了确保所构建的模型式(1)~(6)计算得出的匹配方案是稳定的稳定性约束条件。

4.3. 匹配决策模型求解

使用基于隶属函数的加权和的方法[22], 求解以上多目标优化模型(M-1)。设单独考虑目标 Z_k 时得到的单目标最优值和最劣值为 Z_k^{\max} 和 Z_k^{\min} , 则该目标隶属函数 μ_{z_k} 可以定义为

$$\mu_{z_k} = \frac{z_k - z_k^{\min}}{z_k^{\max} - z_k^{\min}}, k = 1, 2$$

设 λ_1, λ_2 分别表示目标 μ_{z_1}, μ_{z_2} 的权重, $0 \leq \lambda_1, \lambda_2 \leq 1, \lambda_1 + \lambda_2 = 1$ 通过目标函数线性加权法将多目标优化模型式(1)~(6)转化为单目标线性规划模型式(7)~(11):

$$\max z = \lambda_1 \mu_{z_1} + \lambda_2 \mu_{z_2} \quad (7)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1, i \in 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq y_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$x_{ij} + \sum_{k:\alpha_{ik} \geq \alpha_{ij}} x_{ik} + \sum_{l:\beta_{lk} \geq \beta_{ij}} x_{lk} \geq y_j, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

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

其中, λ_1, λ_2 表示主体 P, D 在双边匹配中的权重。若 $\lambda_1 > \lambda_2$, 表示匹配更偏重 P ; 反之, 表示匹配更偏重 D 。本文考虑到双边主体地位的平等性, 通常取 $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.5$ 。

式(7)为总目标函数, 该目标由患者对医生诊治情况的满意度和医生对患者诊治反应的满意度组成, 表示使医患双边综合满意度最高。式(7)~(11)为单目标线性规划模型, 可以使用 LINGO 等优化软件包求解。

医院方提供的互联网医疗服务平台上医生与患者的双边匹配步骤如下:

步骤 1 医院方根据平台上患者的求医需求信息和医生为患者诊治后反馈的信息, 分别给出患者和医生的评价指标体系。

步骤 2 运用 TOPSIS 方法得到贴近度后计算医患双方的匹配满意度, 由此构建医患双方的满意度矩阵。

步骤 3 以使医生和患者双方的综合满意度最大化为目标, 在稳定匹配的约束条件下建立多目标双边匹配模型式(1)~(6)。

步骤 4 把多目标匹配模型式(1)~(6)转化为单目标线性规划模型式(7)~(11), 对其求解后得到最优匹配方案。

5. 算例分析

某医院 M 的互联网医疗服务平台上收到 4 名患者的外科就医预约, 当日该外科有 4 名医生值班, 每名医生一次最多接诊 1 名患者。医院和患者给出的对医生的评价指标为医生职称(φ_1)、收费情况(φ_2)、等待时间(φ_3)、沟通能力(φ_4), 以及各指标相应权重(0.14, 0.21, 0.34, 0.31)^T。医院和医生给出的对患者的评价指标为资源迫切度(δ_1)、配合程度(δ_2)、耐心程度(δ_3), 以及各指标相应权重(0.2, 0.4, 0.4)^T。患者对医生的评价矩阵见表 1。医生对患者的评价矩阵见表 2。指标 φ_1 、 φ_2 、 δ_2 和 δ_3 的评价是毕达哥拉斯模糊数, 指标 φ_3 、 φ_4 和 δ_1 的评价是三角直觉模糊数。

Table 1. Patients' evaluation matrix of doctors

表 1. 患者对医生的评价矩阵

P_i	D_1				D_2			
	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4
P_1	(0.7, 0.3)	(0.8, 0.5)	([1, 3, 5]; 0.4, 0.2)	([2, 3, 5]; 0.3, 0.15)	(0.8, 0.4)	(0.7, 0.5)	([1, 2, 4]; 0.6, 0.3)	([3, 4, 5]; 0.55, 0.25)
P_2	(0.9, 0.1)	(0.7, 0.4)	([2, 3, 4]; 0.6, 0.15)	([1, 2, 4]; 0.6, 0.1)	(0.8, 0.3)	(0.8, 0.4)	([2, 3, 5]; 0.7, 0.2)	([1, 3, 5]; 0.3, 0.15)
P_3	(0.7, 0.3)	(0.8, 0.3)	([1, 2, 5]; 0.7, 0.1)	([1, 3, 4]; 0.6, 0.3)	(0.7, 0.5)	(0.7, 0.3)	([1, 3, 5]; 0.5, 0.1)	([1, 2, 4]; 0.6, 0.2)
P_4	(0.8, 0.4)	(0.7, 0.4)	([2, 4, 5]; 0.6, 0.2)	([3, 4, 5]; 0.5, 0.1)	(0.7, 0.3)	(0.7, 0.2)	([2, 4, 5]; 0.6, 0.15)	([2, 4, 5]; 0.5, 0.1)
P_i	D_3				D_4			
	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4
P_1	(0.7, 0.1)	(0.8, 0.4)	([1, 2, 5]; 0.5, 0.3)	([1, 2, 5]; 0.6, 0.3)	(0.8, 0.5)	(0.7, 0.1)	([1, 3, 4]; 0.65, 0.15)	([1, 2, 3]; 0.55, 0.25)
P_2	(0.9, 0.3)	(0.7, 0.5)	([2, 3, 5]; 0.6, 0.15)	([3, 4, 5]; 0.55, 0.25)	(0.8, 0.1)	(0.8, 0.5)	([2, 3, 4]; 0.7, 0.2)	([2, 3, 5]; 0.3, 0.15)
P_3	(0.7, 0.3)	(0.8, 0.2)	([1, 4, 5]; 0.7, 0.1)	([1, 2, 4]; 0.3, 0.15)	(0.7, 0.4)	(0.7, 0.3)	([2, 4, 5]; 0.8, 0.1)	([1, 3, 4]; 0.6, 0.1)
P_4	(0.8, 0.2)	(0.7, 0.4)	([2, 3, 4]; 0.65, 0.1)	([2, 3, 5]; 0.6, 0.2)	(0.7, 0.3)	(0.7, 0.5)	([1, 4, 5]; 0.6, 0.2)	([2, 4, 5]; 0.7, 0.2)

Table 2. Doctors' evaluation matrix of patients

表 2. 医生对患者的评价矩阵

D_j	P_1			P_2		
	δ_1	δ_2	δ_3	δ_1	δ_2	δ_3
D_1	([1, 3, 5]; 0.7, 0.1)	(0.7, 0.5)	(0.5, 0.7)	([1, 4, 5]; 0.4, 0.3)	(0.7, 0.5)	(0.6, 0.6)
D_2	([2, 3, 4]; 0.5, 0.2)	(0.8, 0.3)	(0.8, 0.3)	([2, 3, 4]; 0.5, 0.2)	(0.8, 0.4)	(0.7, 0.5)

Continued

D_3	([1, 2, 3]; 0.6, 0.3)	(0.6, 0.5)	(0.7, 0.3)	([1, 3, 4]; 0.6, 0.15)	(0.7, 0.4)	(0.8, 0.4)
D_4	([2, 3, 5]; 0.5, 0.25)	(0.7, 0.4)	(0.8, 0.1)	([2, 4, 5]; 0.7, 0.1)	(0.6, 0.5)	(0.7, 0.6)
		P_3			P_4	
D_j	δ_1	δ_2	δ_3	δ_1	δ_2	δ_3
D_1	([1, 3, 4]; 0.6, 0.1)	(0.8, 0.5)	(0.5, 0.6)	([1, 2, 3]; 0.6, 0.15)	(0.8, 0.5)	(0.7, 0.3)
D_2	([1, 2, 4]; 0.5, 0.15)	(0.8, 0.4)	(0.6, 0.4)	([2, 4, 5]; 0.5, 0.2)	(0.8, 0.3)	(0.8, 0.3)
D_3	([2, 3, 5]; 0.7, 0.2)	(0.7, 0.6)	(0.7, 0.4)	([1, 3, 5]; 0.7, 0.05)	(0.7, 0.5)	(0.6, 0.4)
D_4	([2, 4, 5]; 0.6; 0.2)	(0.8, 0.3)	(0.9, 0.2)	([2, 3, 5]; 0.7, 0.2)	(0.7, 0.4)	(0.8, 0.5)

为了确定医院方的互联网医疗服务平台上患者和医生的双边匹配方案, 根据上述提出的 TOPSIS 法算出患者和医生的满意度, 进而得到医患双方的满意度矩阵见表 3 和表 4。

Table 3. Patients' satisfaction matrix of doctors

表 3. 患者对医生的满意度矩阵

α_{ij}	D_1	D_2	D_3	D_4
P_1	0.23	0.35	0.34	0.32
P_2	0.54	0.52	0.50	0.35
P_3	0.58	0.35	0.56	0.63
P_4	0.61	0.72	0.56	0.44

Table 4. Doctors' satisfaction matrix of patients

表 4. 医生对患者的满意度矩阵

β_{ij}	P_1	P_2	P_3	P_4
D_1	0.30	0.21	0.24	0.50
D_2	0.76	0.66	0.44	0.90
D_3	0.30	0.72	0.34	0.41
D_4	0.69	0.32	0.94	0.61

引入 0-1 变量 X_{ij} , 根据患者 P_i 对医生 D_j 的综合满意度 α_{ij} 和医生 D_j 对患者 P_i 的综合满意度 β_{ij} , 为使双方满意度最大化, 通过式(1)~(6)建立患者与医生的多目标优化模型式(12)~(17), 如下所示:

$$\max z_1 = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \alpha_{ij} x_{ij} \tag{12}$$

$$\max z_2 = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \beta_{ij} x_{ij} \tag{13}$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^4 x_{ij} \leq 1, i = 1, 2, 3, 4 \tag{14}$$

$$\sum_{i=1}^4 x_{ij} \leq 1, j = 1, 2, 3, 4 \tag{15}$$

$$x_{ij} + \sum_{k:\alpha_{ik} \geq \alpha_{ij}} x_{ik} + \sum_{l:\beta_{lk} \geq \beta_{ij}} x_{lk} \geq 1, i=1,2,3,4; j=1,2,3,4 \quad (16)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1, i=1,2,3,4; j=1,2,3,4 \quad (17)$$

并通过式(7)~(11)将其转化为单目标线性规划模型, 进一步求得最优解如下所示:

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

因此匹配结果为 (P_1, D_4) , (P_2, D_1) , (P_3, D_2) , (P_4, D_3) 即患者 P_1 与医生 D_4 匹配, 患者 P_2 与医生 D_1 匹配, 患者 P_3 与医生 D_2 匹配, 患者 P_4 与医生 D_3 匹配。

6. 总结

为提升医疗服务效率, 本文给出一种混合模糊多指标医疗服务匹配决策方法。该方法运用三角直觉模糊数和毕达哥拉斯模糊数表达医患双方不同指标评价信息, 使用 TOPSIS 法处理三角直觉模糊数和毕达哥拉斯模糊数, 计算贴近度, 将其线性加权后得到满意度, 并构建使主体满意度尽可能高的双边匹配优化模型, 求解模型获得匹配方案。与已有决策方法相比, 本文使用混合模糊更好地体现匹配双方的主观偏好, 提高了匹配效率。但本文只是初步探讨了双方主体偏好以两种模糊数信息给出的情况, 对于其他直觉模糊偏好信息形式的双边匹配问题还有待更深入的探究。

参考文献

- [1] 张世翔, 王欣国, 黄天翔. 互联网医院发展对分级诊疗的推动作用及其提升策略: 以上海市为例[J]. 中国医院, 2023, 27(3): 14-18.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 路应金, 邓玉琴, 王静. 基于 Gale-Shapley 的医疗供应链资源双边匹配模型研究[J]. 实验科学与技术, 2019, 17(2): 134-137+141.
- [6] 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.
- [7] Chen, X., Wang, J., Liang, H., et al. (2019) Hesitant Multi-Attribute Two-Sided Matching: A Perspective Based on Prospect Theory. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, **36**, 6343-6358. <https://doi.org/10.3233/JIFS-182627>
- [8] Li, B., Yang, Y., Su, J., et al. (2019) Two-Sided Matching Model for Complex Product Manufacturing Tasks Based on Dual Hesitant Fuzzy Preference Information. *Knowledge-Based Systems*, **186**, Article ID: 104989. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.104989>
- [9] Yu, D. and Xu, Z. (2020) Intuitionistic Fuzzy Two-Sided Matching Model and Its Application to Personnel-Position Matching Problems. *Journal of the Operational Research Society*, **71**, 312-321. <https://doi.org/10.1080/01605682.2018.1546662>
- [10] Yue, Q., Zhang, L., Yu, B., et al. (2019) Two-Sided Matching for Triangular Intuitionistic Fuzzy Numbers in Smart Environmental Protection. *IEEE Access*, **7**, 42426-42435. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906560>
- [11] 乐琦, 朱加贵. 基于三角直觉模糊数信息的双边匹配决策[J]. 运筹与管理, 2021, 30(1): 57-62.
- [12] Wu, Y.N., et al. (2018) An Intuitionistic Fuzzy Multi-Criteria Framework for Large-Scale Rooftop PV Project Portfolio Selection: Case Study in Zhejiang, China. *Energy*, **143**, 295-309. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.105>
- [13] Yager, R.R. (2013) Pythagorean Membership Grades in Multicriteria Decision Making. *IEEE Transactions on Fuzzy*

- Systems*, **22**, 958-965. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.105>
- [14] Hussain, A., Ullah, K., Alshahrani, M.N., *et al.* (2022) Novel Aczel-Alsina Operators for Pythagorean Fuzzy Sets with Application in Multi-Attribute Decision Making. *Symmetry*, **14**, 940. <https://doi.org/10.3390/sym14050940>
- [15] Peng, X. and Ma, X. (2020) Pythagorean Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Method Based on CODAS with New Score Function. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, **38**, 3307-3318. <https://doi.org/10.3233/JIFS-190043>
- [16] Ejegwa, P.A. (2020) Improved Composite Relation for Pythagorean Fuzzy Sets and Its Application to Medical Diagnosis. *Granular Computing*, **5**, 277-286. <https://doi.org/10.1007/s41066-019-00156-8>
- [17] Gohain, B., Chutia, R. and Dutta, P. (2022) Discrete Similarity Measures on Pythagorean Fuzzy Sets and Its Applications to Medical Diagnosis and Clustering Problems. *International Journal of Intelligent Systems*, **37**, 11622-11669. <https://doi.org/10.1002/int.23057>
- [18] Ganie, A.H. (2022) Applicability of a Novel Pythagorean Fuzzy Correlation Coefficient in Medical Diagnosis, Clustering, and Classification Problems. *Computational and Applied Mathematics*, **41**, 410. <https://doi.org/10.1007/s40314-022-02108-6>
- [19] Giri, B.C., Molla, M.U. and Biswas, P. (2022) Pythagorean Fuzzy DEMATEL Method for Supplier Selection in Sustainable Supply Chain Management. *Expert Systems with Applications*, **193**, Article ID: 116396. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116396>
- [20] Zulqarnain, R.M., Xin, X.L., Siddique, I., *et al.* (2021) TOPSIS Method Based on Correlation Coefficient under Pythagorean Fuzzy Soft Environment and Its Application towards Green Supply Chain Management. *Sustainability*, **13**, 1642. <https://doi.org/10.3390/su13041642>
- [21] Yue, Q. and Zhang, L. (2020) TOPSIS Based Two-Sided Matching under Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Environment in Virtual Reality Technology Transfer. *IEEE Access*, **8**, 101024-101034. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2994376>
- [22] Chen, Y.W., Wang, C.H. and Lin, S.J. (2008) A Multi-Objective Geographic Information System for Route Selection of Nuclear Waste Transport. *Omega*, **36**, 363-372. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.04.018>