

控制与决策

Control and Decision

基于云模型的在线协诊三边匹配决策方法

彭娟娟, 凌初阳, 隆清琦

引用本文:

彭娟娟, 凌初阳, 隆清琦. 基于云模型的在线协诊三边匹配决策方法[J]. *控制与决策*, 2026, 41(5): 1370-1380.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2025.0669>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于云模型和多层权重求解的多粒度语言大群体决策方法

Multi-granularity linguistic large group decision-making based on cloud model and multi-layer weight determination

控制与决策. 2021, 36(9): 2257-2266 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0102>

基于正态云模型的状态转移算法求解多目标柔性作业车间调度问题

State transition algorithm based on normal cloud model for solving multiobjective flexible job shop scheduling problem

控制与决策. 2021, 36(5): 1181-1190 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1233>

天临空协同对地观测任务规划模型与并行竞争模因算法

Planning model and parallel competing memetic algorithm for space-near space-air based cooperative earth observation missions

控制与决策. 2021, 36(3): 523-533 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0732>

具有重组学习和混合变异的动态多种群粒子群优化算法

Dynamic multi-population particle swarm optimization algorithm with recombined learning and hybrid mutation

控制与决策. 2021, 36(12): 2871-2880 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0898>

基于自适应正态云模型的灰狼优化算法

Grey wolf optimization algorithm based on adaptive normal cloud model

控制与决策. 2021, 36(10): 2562-2568 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0233>

基于云模型的在线协诊三边匹配决策方法

彭娟娟[†], 凌初阳, 隆清琦

(浙江财经大学 管理学院, 杭州 310018)

摘要: 针对分级诊疗在线协诊三边匹配问题, 提出基于云模型的三边匹配决策方法, 以满足医联体背景下分级诊疗在线协诊匹配的服务需求. 首先, 利用 BERTopic、Stanza 和 Textlob 处理好大夫在线评论信息, 获取患者对基层医生客观的匹配属性, 并结合属性的偏好信息确定相应权重; 然后, 构建多粒度概率语言非对称云模型以及相应的概率语言非对称云 Bonferroin Mean 聚合算子; 接着, 考虑基层医生与专家间的协同性、医生间的工作量均衡性以及医患匹配的稳定性等因素, 构建相应的三边稳定匹配决策优化模型, 并给出求解算法; 最后, 结合实际案例、灵敏度分析和比较分析验证了所提出方法的可行性和稳定性, 为分级诊疗在线医疗的三边匹配决策问题提供了理论支撑.

关键词: 在线协诊; 分级诊疗; 三边匹配决策; BERTopic; 云模型; 多粒度概率语言

中图分类号: C934 文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2025.0669

引用格式: 彭娟娟, 凌初阳, 隆清琦. 基于云模型的在线协诊三边匹配决策方法 [J]. 控制与决策, 2026, 41(5): 1370-1380.

Online collaborative diagnosis three-side matching decision-making method based on cloud model

PENG Juan-juan[†], LING Chu-yang, LONG Qing-qi

(School of Management, Zhejiang University of Finance and Economics, Hangzhou 310018, China)

Abstract: For the hierarchical diagnosis and treatment online collaborative diagnosis matching problem, a three-side matching decision-making method based on a cloud model is proposed to meet the service needs of hierarchical diagnosis and treatment online collaborative diagnosis matching. First, combined with domestic online medical platforms, online reviews are crawled, and BERTopic, Stanza, and Textlob are used to obtain patients' objective matching attributes for grassroots doctors. A corresponding weight is determined by integrating attribute preference information. Second, a multi-granular probabilistic linguistic cloud model is constructed to process multi-granular probabilistic linguistic information, and a corresponding probabilistic linguistic asymmetric cloud Bonferroin Mean (PLANCBM) aggregation operator is developed. Third, considering the synergy between grassroots doctors and experts, the workload balance among doctors, and the stability of doctor-patient matching, a corresponding three-side stable matching decision-making optimization model is constructed. Finally, a practical case, sensitivity analysis and comparison analysis verify the feasibility and stability of the proposed method, providing a new theoretical idea for three-side matching in hierarchical diagnosis and treatment online medical services.

Keywords: online collaborative diagnosis; hierarchical diagnosis and treatment; three-sided matching decision-making; BERTopic; cloud model; multi-granular probabilistic linguistic sets

0 引言

在“十四五”医药卫生体制改革纵深推进的政策背景下(国卫医发[2021]25号), 区域医疗联合体作为实现优质资源梯度下沉和分级诊疗落地的关键

策略, 其战略价值已获得学界和业界的双重认可. 基于医联体背景衍生的“在线协诊”模式, 不仅能够优化医疗服务流程、提升诊疗效率, 还能通过精准调配专家资源缓解医疗资源供需结构性矛盾. 然而, 如何

收稿日期: 2025-06-24; 录用日期: 2025-10-14.

基金项目: 国家社会科学基金一般项目(22BGL249).

责任编委: 徐泽水.

[†]通信作者. E-mail: pengjj81@zufe.edu.cn.

本文附带电子附录文件, 可登录本刊官网该文“资源附件”区自行下载阅览.

在保证医疗服务质量的前提下, 实现患者、基层医生与专家三者间的高效合理匹配, 以提高各方满意度和资源利用率, 成为当前需要解决的重要问题。

自 Gale 等^[1]首次探讨大学招生和男女婚姻双边匹配以来, 相应的匹配理论已成功应用于环境设计^[2]、技术转化^[3]和医患匹配^[4-5]等多个领域; 然而, 随着现实需求复杂度的提升, Knuth^[6]在《Marriage Stables》中首次构建了三边匹配理论框架; Zhang 等^[7]探讨了混合偏好下的三边稳定匹配算法; 袁旭梅等^[8]和杨洋等^[9]通过引入匹配主体的心理行为特征, 提出了三边单向非循环稳定匹配算法。

鉴于决策环境的复杂性, 多粒度模糊语言已成为描述匹配主体偏好不确定性的主流范式。如陈余杰等^[10]提出了多粒度犹豫模糊语言术语集的转换和逆转换方法, 并应用于多属性群决策。同时, 匹配满意度是通过匹配主体的偏好信息来构建其满意度最大化的匹配决策优化模型。考虑到模糊偏好信息在处理过程中会出现信息失真, 学者们尝试将模糊信息与云模型相结合以避免此类问题^[11-14]。如: Peng 等^[13]构建了基于概率语言术语集和概率语言综合云的决策方法, 王磊等^[15]结合累积前景理论提出了基于梯形的双边匹配决策方法。

本文提出基于云模型的在线协诊三边匹配决策方法, 主要内容如下:

1) 利用 BERTopic 等技术获取患者在线医疗影响因素, 从而确定患者对基层医生的匹配属性及其相应权重。同时, 根据文献搜集和分析, 构建主观与客观相结合的医联体在线协诊三边匹配属性体系和权重信息, 以提高匹配方案的客观性。

2) 定义多粒度概率语言非对称云模型以及概率语言非对称云 Bonferroin 均值聚合算子, 有效刻画语言信息的模糊性和随机性, 避免匹配主体偏好信息的失真和扭曲。

3) 构建基于服务主体协同与工作量均衡的优化模型, 提出基于云模型的在线协诊三边匹配决策方法, 并结合案例分析验证所提出方法的有效性和可行性, 为医联体背景下分级诊疗在线协诊匹配优化提供理论支撑。

1 预备知识

本节主要介绍三边匹配的基础知识, 包括三边匹配定义以及阻塞组、概率语言术语集和云模型等理论。

1.1 三边匹配

定义 1^[8] 假定 3 个集合 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{|A|}\}$,

$B = \{b_1, b_2, \dots, b_{|B|}\}$ 和 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{|C|}\}$, 若 $(a, b, c) \in A \times B \times C$, 则称 (a, b, c) 为 $A \times B \times C$ 的三元组。若存在两个不同的三元组 $(a, b, c) \in \mu$ 和 $(a', b', c') \notin \mu$, 满足 $a \neq a', b \neq b', c \neq c'$, 则称 $\mu \subset A \times B \times C$ 为集合 A, B 和 C 的三边匹配, 且:

- 1) $\mu_A = \{a \in A | (a, b, c) \in \mu\}$;
- 2) $\mu_B = \{b \in B | (a, b, c) \in \mu\}$;
- 3) $\mu_C = \{c \in C | (a, b, c) \in \mu\}$ 。

若 $a \in \mu_A$, 则表示 a 被分配给 μ ; 若 $a \notin \mu_A$, 则表示 a 没有分配给 μ 。同理, 还可以定义 b 和 c 是否分配给 μ 。

定义 2^[9] 假定 $\Omega = A \times B \times C$, 对于三边独立非循环匹配 μ , 若存在匹配组 $(a_i, b_j, c_k) \in \Omega - \mu$ 满足以下条件, 则称匹配组 (a_i, b_j, c_k) 为匹配 μ 的一个阻塞组, 其中 $u(\cdot)$ 为其中一方对另一方的满意度:

- 1) $u(a_i, b_j) \geq u(a_i, \mu_{\overline{AB}}(a_i))$;
- 2) $u(a_i, c_k) \geq u(a_i, \mu_{\overline{AC}}(a_i))$;
- 3) $[u(a_i, b_j) - u(a_i, \mu_{\overline{AB}}(a_i))]^2 + [u(a_i, c_k) - u(a_i, \mu_{\overline{AC}}(a_i))]^2 \neq 0$;
- 4) $u(b_j, c_k) \geq u(b_j, \mu_{\overline{BC}}(b_j))$;
- 5) $N(\mu, c_k) = 0$ 。

1.2 概率语言术语集

定义 3^[16] 假定 $\theta_\alpha (\alpha = 0, 1, \dots, 2\tau)$ 为属于 $[0, 1]$ 的数值, 语言量表函数 (LSF) 表示从 s_α 到 θ_α 的映射: $H: s_\alpha \rightarrow \theta_\alpha$ 。其中: $s_\alpha \in S, \theta_0 < \theta_1 < \dots < \theta_{2\tau}, \theta_\alpha$ 反映了决策者在选择语言 s_α 时的偏好。当两个相邻语言术语之间从中间到两端的语义距离逐渐增加时, 风险敏感语义为

$$LSF_1: H(s_\alpha) = \begin{cases} \frac{\gamma^\tau - \gamma^{\tau-\alpha}}{2\gamma^\tau - 2}, & 0 \leq \alpha \leq \tau; \\ \frac{\gamma^\tau + \gamma^{\alpha-\tau} - 2}{2\gamma^\tau - 2}, & \tau < \alpha \leq 2\tau. \end{cases} \quad (1)$$

当两个相邻语言术语之间从中间到两端的语义距离逐渐减少时, 风险敏感语义为

$$LSF_2: H(s_\alpha) = \begin{cases} \frac{\gamma^\alpha - 1}{2\gamma^\tau - 2}, & 0 \leq \alpha \leq \tau; \\ \frac{2\gamma^\tau - \gamma^{2\tau-\alpha} - 1}{2\gamma^\tau - 2}, & \tau < \alpha \leq 2\tau. \end{cases} \quad (2)$$

通常情况下 $\gamma = \sqrt[3]{9} \approx 1.37$ ^[17]。

定义 4^[18] 假定 $S = \{s_\alpha | \alpha = 0, 1, \dots, 2\tau\}$ 是一个语言术语集, 则多粒度概率语言术语集为

$$L(p) = \{L_\alpha(p_\alpha) | L_\alpha \in S, 0 \leq p_\alpha \leq 1,$$

$$\alpha = 0, 1, \dots, \#L_\alpha, \sum_{\alpha=1}^{\#L_\alpha} p_\alpha \leq 1 \}. \quad (3)$$

其中: $L_\alpha(p_\alpha)$ 表示语言项 L_α 对应的概率为 (p_α) , $\#L_\alpha$ 为不同语言术语的个数.

1.3 云模型

定义 5^[19] 假定 U 为定论域, T 为 U 中的定性概念. 若 $x \in U$ 满足 $x \sim N(\text{Ex}, \text{En}^2)$, $\text{En}^2 \sim N(\text{En}, \text{He}^2)$, 则

$$y = e^{-\frac{(x-\text{Ex})^2}{2(\text{En}')^2}}, \quad (4)$$

其中 $y \in [0, 1]$ 表示 x 属于概念 T , 则 x 在定论域 U 中的分布称为正态云, 云滴可表示为 (x, y) . 一般情况下, 概念 T 的整体定量属性可用正态云 C 中的3个数字表示: 期望 Ex 、熵 En 和超熵 He , 即 $C = (\text{Ex}, \text{En}, \text{He})$.

1.4 语言变量与非对称正态云间的转换规则

王洪利等^[11]首次提出了基于黄金分割比生成的5朵云用于定义语言评价信息, 但是, 该方法仅适用于5个语言术语集; 在此基础上, Wang等^[12]将其拓展为奇数语言术语集. 然而, 传统正态云存在大量超出有效域的雨滴, 且相邻正态云存在大量的交叉范围, 导致无法清晰区分正态云. 同时, 一朵正态云的许多云滴在相邻正态云的范围内具有较高的确定度, 这与正态云定义不符. 因此, Peng等^[13]定义了新的语言变量与非对称正态云间的转换规则, 进一步提高了云模型应用的可行性和合理性.

定义 6^[13] 语言变量转化为非对称正态云 $C_\alpha = (\underline{\text{He}}_\alpha, \underline{\text{En}}_\alpha, \text{Ex}_\alpha, \overline{\text{En}}_\alpha, \overline{\text{He}}_\alpha)$ 的步骤如下:

step 1: 由式(1)计算 $\theta_\alpha = H(s_\alpha)$.

step 2: 计算 Ex_α . 通过定论域的范围 $U = [X_{\min}, X_{\max}]$ 得到 $\text{Ex}_\alpha = X_{\min} + \theta_\alpha(X_{\max} - X_{\min})$.

step 3: 计算 $\underline{\text{En}}_\alpha$ 和 $\overline{\text{En}}_\alpha$. 考虑正态云符合正态分布曲线 3σ 原则, 可得到 $3\underline{\text{En}}'_i = \text{Ex}_i - \text{Ex}_{i-1}$ 和 $3\overline{\text{En}}'_i = \text{Ex}_{i+1} - \text{Ex}_i$. 由于 $\text{En}' \sim N(\text{En}, \text{He}^2)$, En_i 可视为 En'_i 的近似值. 由此可得到: 当 $\alpha = 1, 2, \dots, 2\tau$ 且 $\underline{\text{En}}_0 = 0$ 时, $\underline{\text{En}}_\alpha = (\text{Ex}_\alpha - \text{Ex}_{\alpha-1})/3$; 当 $\alpha = 0, 1, \dots, 2\tau - 1$ 且 $\overline{\text{En}}_{2\tau} = 0$ 时, $\overline{\text{En}}_\alpha = (\text{Ex}_{\alpha+1} - \text{Ex}_\alpha)/3$.

step 4: 计算 $\overline{\text{He}}_\alpha$ 和 $\underline{\text{He}}_\alpha$. 同理, He 也遵循正态分布曲线 3σ 原则, 则: 当 $\alpha = 1, 2, \dots, 2\tau$ 且 $\underline{\text{He}}_0 = 0$ 时

$$\begin{aligned} \text{He}_\alpha = & (\max_\alpha \{ \max_\alpha (\text{En}'_\alpha) - \text{En}_\alpha, \text{En}_\alpha - \min_\alpha (\text{En}'_\alpha) \}) / 3; \\ & \text{当 } \alpha = 0, 1, \dots, 2\tau - 1 \text{ 且 } \overline{\text{He}}_{2\tau} = 0 \text{ 时} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{He}_\alpha = & (\max_\alpha \{ \max_\alpha (\overline{\text{En}}'_\alpha) - \text{En}_\alpha, \text{En}_\alpha - \min_\alpha (\overline{\text{En}}'_\alpha) \}) / 3. \end{aligned}$$

定义 7 假定 $L(p) = \{L_\alpha(p_\alpha) | L_\alpha \in S, 0 \leq p_\alpha \leq 1, \alpha = 0, 1, \dots, \#L_\alpha, \sum_{\alpha=1}^{\#L_\alpha} p_\alpha \leq 1\}$ 为一个多粒度概率语言术语集, 则多粒度概率语言非对称正态云为

$$\begin{aligned} Z(\underline{\text{He}}, \underline{\text{En}}, \text{Ex}, \overline{\text{En}}, \overline{\text{He}}) = & \left(\sqrt{\sum_{\alpha=1}^{\#L_\alpha} p_\alpha^2 \underline{\text{He}}_\alpha^2}, \frac{\sum_{\alpha=1}^{\#L_\alpha} p_\alpha \text{Ex}_\alpha \underline{\text{En}}_\alpha}{\sum_{\alpha=1}^{\#L_\alpha} p_\alpha \text{Ex}_\alpha}, \right. \\ & \left. p_\alpha \text{Ex}_\alpha, \frac{\sum_{\alpha=1}^{\#L_\alpha} p_\alpha \text{Ex}_\alpha \overline{\text{En}}_\alpha}{\sum_{\alpha=1}^{\#L_\alpha} p_\alpha \text{Ex}_\alpha}, \sqrt{\sum_{\alpha=1}^{\#L_\alpha} p_\alpha^2 \overline{\text{He}}_\alpha^2} \right). \quad (5) \end{aligned}$$

2 云框架

鉴于传统信息聚合模型多基于对称性假设和单一粒度框架, 难以刻画实际决策中普遍存在的非对称不确定性和多层次语义需求. 然而, 多粒度概率语言非对称云模型突破了对称性限制, 通过非对称隶属函数(如偏态分布)精准捕捉概念外延的非对称特征, 如风险评估中对于“损失”的敏感度高于“收益”的决策偏好. 这种“非对称性”更贴近决策者的非对称偏好, 增强了模型对决策关键特征的捕捉能力. 同时, “多粒度”特性通过多层次语义表达和动态调节, 提升了对复杂系统的建模适应性. 因此, 本文结合概率语言加权幂算术平均(PLWPA)和Bonferroin mean算子来处理多粒度概率语言信息, 提出概率语言非对称云Bonferroin均值(PLANCBM)算子. PLANCBM算子突破了传统聚合算子的对称权重局限, 通过非对称强化关键属性的区分能力, 同时, 支持多粒度信息的层次化聚合与跨粒度交互, 解决了单一粒度聚合的信息丢失问题.

定义 8 假定 $z_u = (\underline{\text{He}}_u, \underline{\text{En}}_u, \text{Ex}_u, \overline{\text{En}}_u, \overline{\text{He}}_u)$ 和 $z_v = (\underline{\text{He}}_v, \underline{\text{En}}_v, \text{Ex}_v, \overline{\text{En}}_v, \overline{\text{He}}_v)$ 为两个多粒度概率语言非对称正态云, 则:

$$\begin{aligned} 1) \quad z_u \oplus z_v = & (\sqrt{\underline{\text{He}}_u^2 + \underline{\text{He}}_v^2}, \sqrt{\underline{\text{En}}_u^2 + \underline{\text{En}}_v^2}, \\ & \sqrt{\overline{\text{He}}_u^2 + \overline{\text{He}}_v^2}); \\ 2) \quad \lambda z_u = & (\sqrt{\lambda} \underline{\text{He}}_u, \sqrt{\lambda} \underline{\text{En}}_u, \lambda \text{Ex}_u, \sqrt{\lambda} \overline{\text{En}}_u, \\ & \sqrt{\lambda} \overline{\text{He}}_u); \\ 3) \quad z_u \otimes z_v = & (\sqrt{(\underline{\text{He}}_u \text{Ex}_v)^2 + (\underline{\text{He}}_v \text{Ex}_u)^2}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sqrt{(\underline{\text{En}}_u \text{Ex}_v)^2 + (\underline{\text{En}}_v \text{Ex}_u)^2}, \text{Ex}_u \text{Ex}_v, \\ & \sqrt{(\overline{\text{En}}_u \text{Ex}_v)^2 + (\overline{\text{En}}_v \text{Ex}_u)^2}, \\ & \sqrt{(\underline{\text{He}}_u \text{Ex}_v)^2 + (\underline{\text{He}}_v \text{Ex}_u)^2}; \end{aligned}$$

$$4) \quad z_u^\lambda = (\sqrt{\lambda} \underline{\text{He}}_u \text{Ex}_u^{\lambda-1}, \sqrt{\lambda} \underline{\text{En}}_u \text{Ex}_u^{\lambda-1}, \text{Ex}_u^\lambda, \sqrt{\lambda} \overline{\text{En}}_u \text{Ex}_u^{\lambda-1}, \sqrt{\lambda} \overline{\text{He}}_u \text{Ex}_u^{\lambda-1}).$$

定义 9 假定 $z_u = (\underline{\text{He}}_u, \underline{\text{En}}_u, \text{Ex}_u, \overline{\text{En}}_u, \overline{\text{He}}_u)$ 和 $z_v = (\underline{\text{He}}_v, \underline{\text{En}}_v, \text{Ex}_v, \overline{\text{En}}_v, \overline{\text{He}}_v)$ 为两个任意的多粒度概率语言非对称正态云, 则 z_u 与 z_v 间的距离为

$$\begin{aligned} d(z_u, z_v) = & \frac{1}{2} \left(\left| \lg \frac{\left(1 - \frac{\underline{\text{En}}_u^2 + \underline{\text{He}}_u^2}{\underline{\text{En}}_u^2 + \underline{\text{He}}_u^2 + \underline{\text{En}}_v^2 + \underline{\text{He}}_v^2}\right) \text{Ex}_u}{\left(1 - \frac{\underline{\text{En}}_v^2 + \underline{\text{He}}_v^2}{\underline{\text{En}}_u^2 + \underline{\text{He}}_u^2 + \underline{\text{En}}_v^2 + \underline{\text{He}}_v^2}\right) \text{Ex}_v} \right| + \right. \\ & \left. \left| \lg \frac{\left(1 - \frac{\overline{\text{En}}_u^2 + \overline{\text{He}}_u^2}{\overline{\text{En}}_u^2 + \overline{\text{He}}_u^2 + \overline{\text{En}}_v^2 + \overline{\text{He}}_v^2}\right) \text{Ex}_u}{\left(1 - \frac{\overline{\text{En}}_v^2 + \overline{\text{He}}_v^2}{\overline{\text{En}}_u^2 + \overline{\text{He}}_u^2 + \overline{\text{En}}_v^2 + \overline{\text{He}}_v^2}\right) \text{Ex}_v} \right| \right). \quad (6) \end{aligned}$$

若 $\underline{\text{En}}_t = \overline{\text{En}}_t = \underline{\text{He}}_t = \overline{\text{He}}_t = 0 (t = u, v)$, 则 $d(z_u, z_v) = \left| \lg \frac{\text{Ex}_u}{\text{Ex}_v} \right|$.

定义 10 假设 $z_u (u = 1, 2, \dots, n)$ 为一个多粒

$$\begin{aligned} \text{PLANCBM}(z_1, z_2, \dots, z_n) = & \left(\sqrt{\left(\frac{K}{f+g}\right)} \left(K \sum_{u=1, v=1, u \neq v}^n w'_u \frac{w'_v}{1-w'_u} \text{Ex}_u^f \text{Ex}_v^g \right)^{\frac{1}{f+g}-1} \times \right. \\ & \sqrt{\sum_{u=1, v=1, u \neq v}^n w'_u \frac{w'_v}{1-w'_u} (f \text{Ex}_u^{2f-2} \text{Ex}_v^{2g} \underline{\text{He}}_u^2 + g \text{Ex}_u^{2f} \text{Ex}_v^{2g-2} \underline{\text{He}}_v^2)}, \\ & \sqrt{\left(\frac{K}{f+g}\right)} \left(K \sum_{u=1, v=1, u \neq v}^n w'_u \frac{w'_v}{1-w'_u} \text{Ex}_u^f \text{Ex}_v^g \right)^{\frac{1}{f+g}-1} \times \\ & \sqrt{\sum_{u=1, v=1, u \neq v}^n w'_u \frac{w'_v}{1-w'_u} (f \text{Ex}_u^{2f-2} \text{Ex}_v^{2g} \underline{\text{En}}_u^2 + g \text{Ex}_u^{2f} \text{Ex}_v^{2g-2} \underline{\text{En}}_v^2)}, \\ & \left(K \sum_{u=1, v=1, u \neq v}^n w'_u \frac{w'_v}{1-w'_u} \text{Ex}_u^f \text{Ex}_v^g \right)^{\frac{1}{f+g}}, \sqrt{\left(\frac{K}{f+g}\right)} \left(K \sum_{u=1, v=1, u \neq v}^n w'_u \frac{w'_v}{1-w'_u} \text{Ex}_u^f \text{Ex}_v^g \right)^{\frac{1}{f+g}-1} \times \\ & \sqrt{\sum_{u=1, v=1, u \neq v}^n w'_u \frac{w'_v}{1-w'_u} (f \text{Ex}_u^{2f-2} \text{Ex}_v^{2g} \overline{\text{En}}_u^2 + g \text{Ex}_u^{2f} \text{Ex}_v^{2g-2} \overline{\text{En}}_v^2)}, \\ & \sqrt{\left(\frac{K}{f+g}\right)} \left(K \sum_{u=1, v=1, u \neq v}^n w'_u \frac{w'_v}{1-w'_u} \text{Ex}_u^f \text{Ex}_v^g \right)^{\frac{1}{f+g}-1} \times \\ & \left. \sqrt{\sum_{u=1, v=1, u \neq v}^n w'_u \frac{w'_v}{1-w'_u} (f \text{Ex}_u^{2f-2} \text{Ex}_v^{2g} \overline{\text{He}}_u^2 + g \text{Ex}_u^{2f} \text{Ex}_v^{2g-2} \overline{\text{He}}_v^2)} \right), \quad (8) \end{aligned}$$

其中 $K = 1 / \sum_{u=1, v=1, u \neq v}^n w'_u \frac{w'_v}{1-w'_u}$.

度概率语言非对称正态云, 对于任意 $f, g \geq 0, w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 为 z_u 的权重向量, PLANCBM 为

$$\text{PLANCBM}(z_1, z_2, \dots, z_n) = \left(\frac{\sum_{u=1, v=1, u \neq v}^n w'_u \frac{w'_v}{1-w'_u} z_u^f z_v^g}{\sum_{u=1, v=1, u \neq v}^n w'_u \frac{w'_v}{1-w'_u}} \right)^{\frac{1}{f+g}}. \quad (7)$$

其中

$$\begin{aligned} w'_u = & \frac{w_u(1+T(z_u))}{\sum_{u=1}^n w_u(1+T(z_u))}, \quad w'_v = \frac{w_v(1+T(z_v))}{\sum_{v=1}^n w_v(1+T(z_v))}, \\ T(z_u) = & \sum_{v=1, u \neq v}^n d(z_u, z_v), \quad T(z_v) = \sum_{u=1, u \neq v}^n d(z_u, z_v), \end{aligned}$$

支持度 T 为不同多粒度概率语言非对称正态云的距离和.

定理 1 假定 $z_u (u = 1, 2, \dots, n)$ 为多粒度概率语言非对称正态云, 对于任意 $f, g \geq 0, w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 为 z_u 的权重向量, 则 z_u 利用 PLANCBM 算子聚合的结果仍然为多粒度概率语言非对称正态云, 且

PLANCBM 算子具有以下性质.

性质 1 (幂等性) 若 $z = (\underline{\text{He}}_u, \underline{\text{En}}_u, \text{Ex}_u, \overline{\text{En}}_u,$

$\overline{He}_u) = z(u = 1, 2, \dots, n)$, 则 $PLANCBM(z_1, z_2, \dots, z_n) = z$.

性质 2 (有界性) 若 $z^+ = \max\{z_u\}$ 和 $z^- = \min\{z_u\}$, 则 $z^- \leq PLANCBM(z_1, z_2, \dots, z_n) \leq z^+$.

3 基于在线评论的患-医匹配属性及其权重

下面利用 BERTopic 挖掘慢性病患者在线问诊评论中的匹配属性, 并结合 Stanza 和 Textlob 计算得到每个属性的情绪得分以及每个属性对应的权重.

3.1 匹配属性确定

在属性提取过程中, 需要对评论信息进行预处理, 包括分词、去除停用词、数据清洗等操作. 同时, 将处理好的数据放入 BERTopic 模型中, 并将属性个数设置为 4 进行聚类, 最终得到患者对医生的匹配属性包括专业水平、声誉、治疗效果和医生态度等 4 个方面.

3.2 属性权重确定

本文属性权重由情绪得分和属性得分两方面组成. 情绪得分主要衡量患者对医生的情感倾向, 可通过情感分析获得. 本文利用 Stanza 将每条在线评论的情绪倾向分为正面、中性和负面 3 类, 并引入 Textlob 工具从每条评论中提取其情感的极性值和主观值. 其中: 极性值介于 -1 到 1 之间, 用于描述评论者情感的正负面程度: 负值表示负面情感, 正值表示正面情感, 而 0 则对应中性情感. 当极性值越接近 -1 或 1 时, 评论者的情感强度越强烈; 当极性值越接近 0 时, 评论者的情感强度越弱. 主观性值范围在 0 至 1 之间, 反映评论内容的客观或主观程度, 数值越接近 0, 内容越客观; 反之, 则越主观. 最后, 结合极性值、主观值和患者的评分可得出患者对基层医生的情绪得分, 具体步骤如下.

step 1: 使用 Stanza 识别情绪倾向.

step 2: 使用 Textlob 提取极性和主观值.

step 3: 计算每条评论的情绪得分. 假设第 η 条评论的极性值和主观值分别为 Pol_η 和 Sub_η , 患者对专家的评分为 Pf_η , 则患者对专家的第 η 条评论情绪得分公式如下所示:

$$Ss_\eta = \cos \frac{\pi}{2} Pol_\eta + (1 - Sub_\eta) \times Pf_\eta. \quad (9)$$

step 4: 计算每个属性的情绪得分. 将每条评论归类到 4 个属性中, 得到相应的情绪得分为 $Score^1 = \{Score_1, Score_2, Score_3, Score_4\}$. 患者对专家的情绪得分样例如表 1 所示.

评论属性得分受到属性的相似性和词频两方面因素影响. 一般情况下, 若某一特定属性在对不同选项进行评价时呈现出高度相似性, 则该属性缺乏区

表1 部分患者对专家的情绪得分样例

| 评论 | 极性值 | 主观值 | 评分 | 情绪得分 |
|-----------|-------|------|----|------|
| 没有帮助、态度很差 | -0.63 | 0.78 | 1 | 0.99 |
| 给了我希望、有帮助 | 0.73 | 0.84 | 5 | 1.21 |
| 回复非常快、有经验 | 0.77 | 0.81 | 5 | 1.30 |

分度, 可能不足以显著影响最终决策结果. 因此, 该属性应获得较低属性得分; 反之, 若在不同选项间展示出明显差异性的属性, 则更具影响力和重要性, 从而应获得更高的属性得分. 此外, 在线评论中出现的高频率属性表示评论者对该属性的关注度越高, 从而应获得越高的属性得分, 反之亦然. 结合情绪得分和属性得分, 相应属性权重的计算步骤如下.

step 1: 由式 (6) 可得到患者 a_i 对基层医生 b_j 在不同属性云之间的距离.

step 2: 将不同属性间的距离按照定义 8 进行聚合, 可得到支持度 $T' = \{T'_1, T'_2, T'_3, T'_4\}$.

step 3: 将不同属性间的支持度和词频进行聚合, 可得到属性得分为

$$Score_o^2 = \frac{1}{2} \frac{T'_o}{\sum_{o=1}^4 T'_o} + \frac{1}{2} \frac{Freq_o}{\sum_{o=1}^4 Freq_o}, \quad (10)$$

其中 $Freq$ 为每个属性对应的词频.

step 4: 根据情绪和属性得分, 可得到属性权重为

$$w_o^{AB} = \frac{1}{2} \frac{Score_o^1}{\sum_{o=1}^4 Score_o^1} + \frac{1}{2} \frac{Score_o^2}{\sum_{o=1}^4 Score_o^2}. \quad (11)$$

通过上述步骤可得到患者对基层医生的属性权重.

4 基于 BERTopic 与云模型的在线协诊三边匹配决策方法

下面探讨多粒度概率语言偏好信息下一对多的三边匹配决策问题, 且匹配三方的元素个数可以不相等. 同时, 匹配主体需要提供匹配属性的偏好信息.

4.1 属性权重

根据第 3.1 节和第 3.2 节可知: 患者对基层医生的匹配属性分别为专业水平 E_1^{AB} 、声誉 E_2^{AB} 、治疗效果 E_3^{AB} 、医生态度 E_4^{AB} , 其属性权重 $w^{AB} = (0.21, 0.25, 0.3, 0.24)^T$. 同时, 考虑到轻症患者一般偏好于基层医生, 中重症患者更偏好于专家, 本文通过文献搜集和归纳总结, 得到患者对专家的匹配属性为专家声誉 E_1^{AC} 、收费情况 E_2^{AC} 、专业水平 E_3^{AC} 、治疗水平 E_4^{AC} , 其属性权重 $w^{AC} = (0.18, 0.27, 0.29, 0.26)^T$ ^[20]; 同理, 基层医生对专家的匹配属性为专业

$$\begin{aligned} x_{ijk} &= 0 \text{ or } 1, \quad i = 1, 2, \dots, |A|, \\ j &= 1, 2, \dots, |B|, \\ k &= 1, 2, \dots, |C| \times \overline{Aw}_k. \end{aligned} \quad (21)$$

其中: ω_1 、 ω_2 和 ω_3 为三边主体的权重系数, 满足 $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$; 式(13)为三边主体的满意度目标函数; 式(14)表示以各专家工作量饱和度的标准差总和最大作为工作量分配均衡性的评价指标; 式(15)表示以基层医生和专家满意度最大作为协同性的评价指标; 式(16)和(17)分别表示A和B双方主体中任一主体在 μ 中至多结成一个匹配组; 式(18)为C方主体在 μ 中与A、B两方的匹配组数量少于接待人数的上限; 式(19)为对匹配数 $|\mu|$ 的约束条件; 式(20)为对匹配稳定性的约束条件.

4.4 问题求解

本文拟采用非支配排序遗传二代算法(NSGA-II)求解第4.3节中的三边匹配决策优化模型, 步骤如下:

- step 1: 随机生成初始种群, 并对目标函数(13)~(15)进行评估;
- step 2: 基于 Pareto 支配关系将种群划分为不同等级的前沿, 首前沿包含全局最优解;
- step 3: 量化前沿内个体的分布稀疏程度, 作为多样性保持的选择依据;
- step 4: 通过交叉和变异生成子代, 并与父代合并形成新种群;
- step 5: 重复非支配排序, 并计算拥挤度, 再通过精英保留策略逐步收敛至 Pareto 前沿, 直至满足终止条件.

止条件.

5 算例分析

在人口老龄化加速和生活方式转型的双重驱动下, 慢性病已成为全球公共卫生系统的核心挑战. 传统慢性病诊疗模式下, 患者高度依赖大型三甲医院的专科资源, 但是, 随之而来的挂号难、候诊久、费用高等问题, 不仅加剧了医疗系统的负荷, 更导致患者治疗依从性下降. 在此背景下, 分级诊疗制度正重塑慢性病管理生态: 基层医疗机构凭借地理可达性强、服务成本低的优势, 逐步承接稳定期患者的日常监测和用药管理. 对于基层医生难以处理的复杂病例, 依托“互联网+医疗健康”政策构建的远程协作网络, 可实现三级医院专家、基层医生与患者的在线协诊实时联动, 为患者提供更加方便、可靠的医疗体验.

假定5位慢性病患者 $a_i(i = 1, 2, \dots, 5)$ 在基层医院就诊, 由于病情的特殊性和不确定性, 现有6位基层医生 $b_j(j = 1, 2, \dots, 6)$ 需要上级医院专家在线协诊的帮助. 此时, 能够满足在线协诊的上级医院专家有3位 $c_k(k = 1, 2, 3)$, 且每位专家能够接待患者人数上限 $Sev = 2$. 为提升患者就诊体验, 进一步提高基层医生专业水平, 患者、基层医生与上级医院专家可同时向分级诊疗在线协诊平台提供自己的匹配偏好信息, 从而获得就诊匹配方案. 此时, 每位基层医生只能匹配一位患者和一位专家. 部分三边匹配偏好信息如表2所示.

表2 患者 a_1 对基层医生的偏好矩阵

| A | B | E_1^{AB} | E_2^{AB} | E_3^{AB} | E_4^{AB} |
|-------|-------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| a_1 | b_1 | $\{s_1(0.5), s_4(0.5)\}$ | $\{s_2(0.3), s_3(0.3), s_6(0.4)\}$ | $\{s_1(0.7), s_6(0.3)\}$ | $\{s_3(0.2), s_4(0.8)\}$ |

5.1 匹配决策过程

匹配决策过程如下.

- step 1: 确定三边匹配属性. 根据第4.1节可知患者对基层医生、患者对专家、基层医生对专家以及专家对基层医生的属性权重.
- step 2: 构建三边匹配评价矩阵. 根据 step 1 构建三边匹配评价矩阵.
- step 3: 确定非对称正态云. 根据第1.4节中的概率语言术语集和非对称正态云的转换规则, 可得到三方偏好信息.
- step 4: 聚合非对称正态云并确定满意度. 由式(6)~(8), 令 $f = 1, g = 1$, 可得到聚合非对称正态云. 结合式(13), 三边满意度为

$$u_{ij} =$$

$$\begin{bmatrix} 0.2331 & 0.2168 & 0.265 & 0.356 & 0.2597 & 0.2857 \\ 0.2169 & 0.2557 & 0.3808 & 0.2919 & 0.296 & 0.2676 \\ 0.2862 & 0.3257 & 0.223 & 0.2235 & 0.1912 & 0.2447 \\ 0.3751 & 0.226 & 0.2362 & 0.8068 & 0.3082 & 0.3367 \\ 0.275 & 0.3009 & 0.2357 & 0.1919 & 0.2323 & 0.3188 \end{bmatrix}.$$

step 5: 获得匹配方案. 由式(13)~(21), 考虑到三方匹配的公平性, 令 $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = 1/3$, 则专家对基层医生的协作意愿为

$$\theta_{kj} = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.5 & 0.8 & 0.7 & 0.9 & 0.6 \\ 0.9 & 0.6 & 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.8 \\ 0.7 & 0.5 & 0.9 & 0.8 & 0.5 & 0.7 \end{bmatrix}.$$

结合 NSGA-II 算法, 可获得考虑工作量均衡和协同性的满意稳定匹配方案为 $\{(1, 3, 1), (2, 6, 2),$

$(3, 1, 2), (4, 2, 1), (5, 4, 3)$ }, 即患者 a_1 与基层医生 b_3 和专家 c_1 匹配, 患者 a_2 与基层医生 b_6 和专家 c_2 匹配, 患者 a_3 与基层医生 b_1 和专家 c_2 匹配, 患者 a_4 与基层医生 b_2 和专家 c_1 匹配, 患者 a_5 与基层医生 b_4 和专家 c_3 匹配.

5.2 灵敏度分析

5.2.1 云系数的灵敏度分析

鉴于上述结果是在参数 $f = g = 1$ 和 LSF_1 下获得的, 且参数的不同取值均会影响最终匹配方案, 下面拟对不同的 LSF 以及参数 f 和 g 进行灵敏度分析.

1) 结合 $f > g$ 、 $f = g$ 和 $f < g$ 共3种情况, 探讨不同参数在不同 LSF 下对于最终满意度和匹配方案的影响.

① 在 LSF_1 下: 当 $f = 2, g = 1$ 时, 目标值为 $Z_1 = 2.4063, Z_2 = 0.2222, Z_3 = 5.009$, 匹配方案为 $(1, 3, 1), (2, 2, 3), (3, 6, 2), (4, 4, 3), (5, 1, 2)$; 当 $f = g = 1$ 时, 目标值为 $Z_1 = 1.9682, Z_2 = 0.2222, Z_3 = 4.7268$, 匹配方案为 $(1, 3, 1), (2, 6, 2), (3, 1, 2), (4, 2, 1), (5, 4, 3)$; 当 $f = g = 2$ 时, 目标值为 $Z_1 = 2.2235, Z_2 = 0.2222, Z_3 = 3.6845$, 匹配方案为 $(1, 3, 1), (2, 2, 3), (3, 5, 1), (4, 4, 2), (5, 6, 2)$; 当 $f = 1, g = 2$ 时, 目标值为 $Z_1 = 2.2247, Z_2 = 0.2222, Z_3 = 4.9096$, 匹配方案为 $(1, 4, 1), (2, 6, 2), (3, 3, 1), (4, 1, 2), (5, 2, 3)$.

② 在 LSF_2 下: 当 $f = 2, g = 1$ 时, 目标值为 $Z_1 = 2.1193, Z_2 = 0.2222, Z_3 = 3.8863$, 匹配方案为 $(1, 4, 1), (2, 3, 2), (3, 6, 2), (4, 1, 3), (5, 2, 1)$; 当 $f = g = 1$ 时, 目标值为 $Z_1 = 2.2062, Z_2 = 0.2222, Z_3 = 4.3511$, 匹配方案为 $(1, 4, 1), (2, 3, 3), (3, 2, 3), (4, 6, 2), (5, 1, 2)$; 当 $f = g = 2$ 时, 目标值为 $Z_1 = 2.0429, Z_2 = 0.2222, Z_3 = 4.3967$, 匹配方案为 $(1, 1, 2), (2, 6, 2), (3, 3, 1), (4, 4, 3), (5, 2, 3)$; 当 $f = 1, g = 2$ 时, 目标值为 $Z_1 = 2.1220, Z_2 = 0.2222, Z_3 = 3.9477$, 匹配方案为 $(1, 4, 1), (2, 2, 3), (3, 6, 2), (4, 1, 2), (5, 3, 1)$.

不同参数下 LSF_1 与 LSF_2 得到的 Z_2 均相同, 表明所提出方法考虑工作量均衡具有非常强的稳定性. 同时, 目标函数值 Z_1 和 Z_3 在 LSF_1 的条件下基本大于 LSF_2 , 表明决策者偏向于保守, 对于风险比较敏感. 再者, 不同参数在不同 LSF 的情况下, 患者 a_4 与基层医生 b_4 构成匹配, 少部分情况与基层医生 b_1 构成匹配, 其他患者与基层医生、专家的匹配均随参数变化而变化. 其主要原因是患者 a_4 对基层医生 b_4 的评价最高, 尤其是对权重最高的 E_2^{AB} 和 E_3^{AB} 两个属性的

评价明显高于其他属性, 而对于基层医生 b_1 的评价则次之. 同时, 在将多粒度概率语言转换为云模型的过程中, 不同的 LSF 会产生显著不同的转换结果, 进而影响到最终的满意度, 从而影响匹配方案.

2) 结合 $f > g$ 、 $f = g$ 与 $f < g$ 共3种情况, 探讨患者对基层医生的满意度变化. 下面以患者 a_1 对基层医生 b_1, b_2, \dots, b_6 为例, 不同参数在不同 LSF_1 下的满意度如表3所示.

表3 不同参数得到的满意度

| 参数 | 满意度 |
|----------------|--|
| $f = 2, g = 1$ | (0.235 5, 0.221 5, 0.269 5, 0.368 3, 0.267 1, 0.304 5) |
| $f = 5, g = 1$ | (0.244 1, 0.235 1, 0.283 2, 0.428 9, 0.287 7, 0.401 7) |
| $f = g = 1$ | (0.233 1, 0.216 8, 0.265, 0.356, 0.259 7, 0.285 7) |
| $f = g = 2$ | (0.235 5, 0.222 3, 0.269 1, 0.371 5, 0.267 3, 0.315 1) |
| $f = g = 5$ | (0.242 6, 0.236 5, 0.281 5, 0.426 6, 0.288 6, 0.411 8) |
| $f = 1, g = 2$ | (0.234 5, 0.220 2, 0.266 9, 0.369 3, 0.263 5, 0.313 1) |
| $f = 1, g = 5$ | (0.242 3, 0.232 3, 0.278 4, 0.429 6, 0.281 5, 0.412 9) |

由表3可见: 满意度随着参数 f 和 g 值变大时, 满意度的值也会随之增大; 反之亦然. 满意度发生改变的原因当两个参数变大时, 得到的聚合云也会变大.

特别地, 当选择 LSF_1 时, 表示决策者对于风险敏感; 当选择 LSF_2 时, 表示决策者对于风险不敏感. 同时, 当参数 f 和 g 较大时, 表示决策者较为乐观; 当参数 f 和 g 较小时, 表示决策者较为悲观. 然而, 当 $f > g$ 时, 表示决策者更看重前一种属性; 当 $f = g$ 时, 表示决策者平等看待每种属性; 当 $f < g$ 时, 表示决策者更看重后一种属性. 综上所述, 决策者可根据自己的偏好以及决策的实际环境选择不同的参数值, 以便于更好地描述决策者心理行为.

5.2.2 线性加权系数 ω 的灵敏度分析

为进一步讨论线性加权系数 ω 对匹配结果的影响, 下面对参数 ω 进行灵敏度分析. 由于 Z_2 为工作量均衡的目标函数, Z_3 是协同性的目标函数, 均不涉及线性加权系数 ω , 只需要讨论 ω 对于目标值 Z_1 的影响. 令 $\omega = 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$, 则不同线性加权系数对于目标值 Z_1 的影响变化如图1所示.

由图1可知, 线性加权系数 ω 的不同取值对于目标值 Z_1 有显著影响, 影响匹配结果, 其主要原因为参数 ω 表示匹配三方满意度的权重. 当参数 ω 发生变化时, 匹配三方满意度的重要程度也会随之改变. 显然, 当 ω_1 最大时, 表示患者的满意度最重要; 当 ω_2 最大时, 表示基层医生的满意度最重要; 当 ω_3 最大时, 表示专家的满意度最重要. 一般情况下, 为有效缓解医

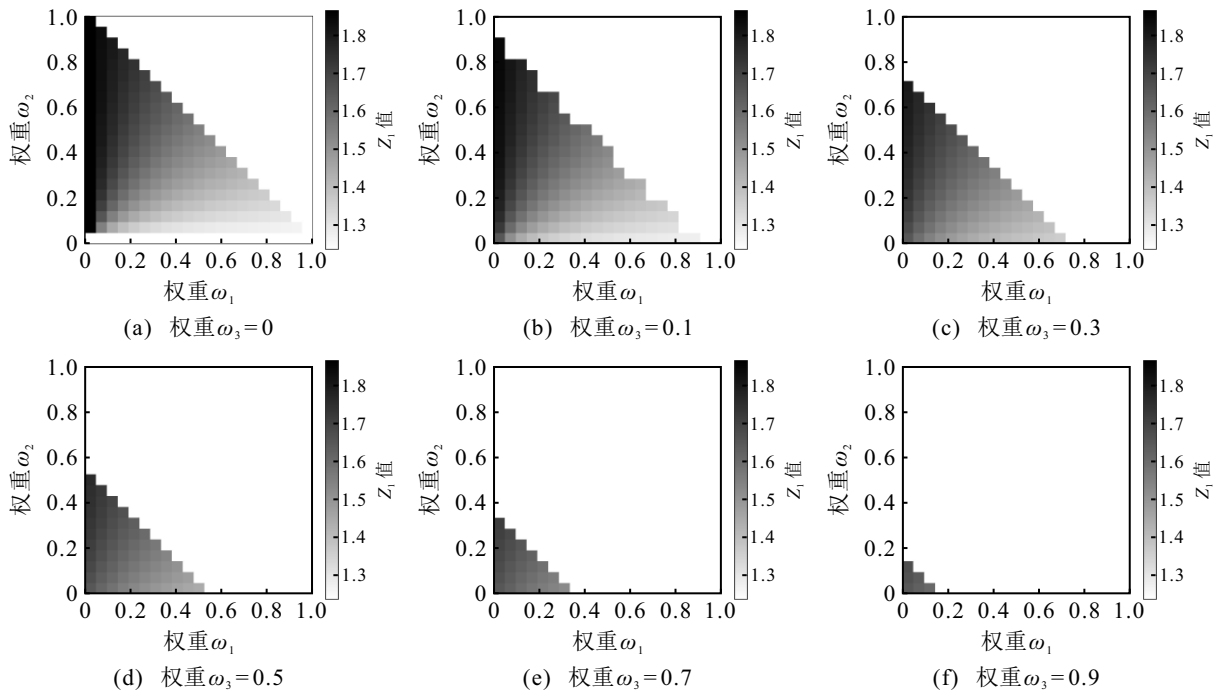


图1 ω 对应的目标值 Z_1 变化

患关系、推动分级诊疗可持续发展,需要在保障患者满意度的基础上,同步兼顾基层医生与专家的职业体验和需求,以实现多方利益的动态平衡。

5.3 比较分析

5.3.1 基于云聚合算子的比较分析

为进一步验证所提出 PLANCBM 算子的合理性和有效性,本文将所定义的聚合算子与其他聚合算子^[14,22-23]进行比较分析,结果如表 4 所示。

表4 基于云模型聚合算子的比较分析

| 匹配方法 | 匹配结果 |
|--------|---|
| 文献[14] | $\{(a_1, b_1, c_2), (a_2, b_6, c_2), (a_3, b_4, c_3), (a_4, b_2, c_3), (a_5, b_3, c_1)\}$ |
| 文献[22] | $\{(a_1, b_1, c_1), (a_2, b_3, c_3), (a_3, b_2, c_2), (a_4, b_5, c_3), (a_5, b_4, c_1)\}$ |
| 文献[23] | $\{(a_1, b_2, c_3), (a_2, b_3, c_1), (a_3, b_1, c_2), (a_4, b_4, c_2), (a_5, b_6, c_1)\}$ |
| 本文 | $\{(a_1, b_3, c_1), (a_2, b_6, c_2), (a_3, b_1, c_2), (a_4, b_2, c_1), (a_5, b_4, c_3)\}$ |

表 4 显示所提出方法获得的匹配结果与文献 [14, 22-23] 的匹配结果不一致。原因有以下几点:

1) 文献 [14] 的方法主要应用于多属性群决策方法,不能直接处理三边匹配决策问题。因此,只能用文献 [14] 定义的云聚合算子替换所提出方法中的聚合算子,不同算子得到的匹配结果不同。同时,所提出 PLANCBM 算子在处理极端偏差的数据时具有更多优势。如:若给定 $L(p) = \{s_2(0.3), s_3(0.7)\}$, 则利用文献 [14] 得到 $z = (0.0573, 0.3683, 5, 0.3683,$

$0.0573)$, 非对称正态云变为正态云。但是,利用所提出方法得到的非对称正态云 $z = (0.0572, 0.7366, 5, 0, 0.0573)$, 并未影响形态变化。

2) 所提出方法与文献 [22] 的算子也具有差异。文献 [22] 的匹配模型由排序值矩阵构建,但是,排序值不能准确反映偏好程度,而本文使用多粒度概率语言能够使得匹配结果更准确。

3) 所提出方法与文献 [23] 在算子模型上具有差异。文献 [23] 使用 Z-混合数来处理语言变量,但是,该方法只能将不同的语言变量进行融合,并不能处理多粒度混合语言变量。因此,所提出方法具有更强的适应性和实用性。

5.3.2 基于匹配模型的比较分析

为进一步验证所提出三边匹配方法的有效性和优越性,本文从应用场景与不同匹配方法^[23-24]进行比较分析: 1) 文献 [23] 为解决海运煤炭交换中供应、运输与需求间的三边匹配问题; 2) 文献 [24] 为解决择期手术患者与医生双边匹配问题。下面将所提出三边匹配模型与文献 [23-24] 进行对比,验证所提出方法在医疗领域中的优势。将本文实验数据分别代入文献 [23] 和文献 [24], 得到匹配结果 $\{(a_1, b_2, c_3), (a_2, b_3, c_1), (a_3, b_1, c_2), (a_4, b_4, c_2), (a_5, b_6, c_1)\}$, $\{(a_1, b_4), (a_2, b_3), (a_3, b_1), (a_4, b_2), (a_5, b_5)\}$ 。

所提出方法与文献 [23]、文献 [24] 的匹配结果不同,其主要原因有以下几点: 1) 所提出方法与文献 [23] 的匹配背景不同,文献 [23] 并不是标准的三边匹配,其模型为双向循环匹配,在应用场景上具有

局限性,并不能很好地拓展至其他领域.2)所提出方法与文献[24]的匹配环境不同,文献[24]使用的评价语言是精确值,不能有效刻画语言信息的模糊性和随机性.如:当将多粒度模糊语言转化为精确值后再利用文献[24]中的方法进行计算时,患者 a_1 和患者 a_5 对基层医生 b_5 的满意度为 $u_{15} = u_{55} = 0.54$,与所提出方法计算得到的满意度 $u_{15} = 0.2597$ 和 $u_{55} = 0.2323$ 存在显著差异.3)所提出方法与文献[24]在考虑匹配稳定性和医生工作量均衡的匹配模型不同.本文考虑了两边服务主体基层医生与专家间的协同和工作量均衡,增加了协同性的目标函数,更符合分级诊疗在线协诊的复杂背景.同时,所提出匹配模型的求解复杂度低于文献[24],且文献[24]需要重新设计多目标粒子群优化算法进行求解,而所提出方法可直接采用NSGA-II求解,降低了计算复杂度.

综上所述,所提出权重方法和聚合云算子提高了匹配满意度,使得匹配结果更合理.同时,本文考虑协同性和工作量均衡模型能够进一步提高匹配的可行性和实用性.

5.4 管理启示

在现有管理实践中,医疗资源匹配常依赖经验判断,导致“资源错配”.然而,所提出方法通过在线评论挖掘捕捉基层医生的真实诉求,结合信息熵-变异系数算法生成动态权重,用客观数据替代主观经验,为管理者提供了数据驱动的精准匹配路径,避免了传统主观赋值的偏差.同时,在线评论数据具有实时动态更新特性,新评论的涌入可能会导致属性权重发生漂移,如何建立动态权重调整机制以应对数据时效性变化,成为实际落地中需要攻克的技术难题.

此外,在线协诊中,评论数据实时更新和接诊量波动易引发“专家过载”与“资源闲置”的双重矛盾,传统静态管理模式难以应对.然而,考虑基层医生与专家的协同性以及工作量均衡的匹配模型,能够为解决医疗资源结构性矛盾提供新工具.管理者可通过平衡专家负荷与基层协作需求,避免上述的双重低效,从而推动分级诊疗体系向柔性化、可持续化方向发展.针对扩展性角度,该方法具备较强的泛化性,其核心的评论挖掘权重确定机制与多目标均衡匹配逻辑,可迁移至企业供应链上下游协作等多边匹配场景.同时,通过替换领域专属属性指标,能够为解决跨领域资源精准对接问题提供通用分析框架.这不仅解决了医联体在线协诊这一特定场景的匹配难

题,更从方法论层面为管理者处理涉及大量主观评价、多方利益冲突、多目标权衡的复杂管理决策问题提供了新思路.

6 结论

本文结合医联体背景下慢性病分级诊疗在线协诊三边匹配问题,提出了基于云模型的在线协诊三边匹配决策方法.首先,基于匹配主体偏好信息的模糊性和不确定性,利用多粒度概率语言偏好信息构建了评估矩阵;然后,鉴于评估矩阵的复杂性和犹豫性,提出了非对称正态云模型和PLANCBM聚合算子;接着,为减少决策者对匹配属性及其权重确定的主观性,文本爬取在线医疗评论并通过BERTopic、Stanza和Textlob来获取客观的匹配属性及其权重,并通过欧几里得相似度得到了满意度;最后,以三边匹配主体满意度最大化和三边匹配稳定性为目标,构建了考虑协同性和工作量均衡的多目标优化模型,并结合实际案例验证了所提出方法的有效性和稳定性.该方法不仅能够满足医患的个性化需求,还可为远程医疗的多主体有效合作提供一个新的优化方向.在将来的研究工作中,将进一步探讨多阶段三边匹配决策模型.

参考文献 (References)

- [1] Gale D, Shapley L S. College admissions and the stability of marriage[J]. *The American Mathematical Monthly*, 1962, 69(1): 9-15.
- [2] Tozlu B, Akgunduz A, Zeng Y. Unbiased criteria identification for two-sided matching: An environment-based design approach[J]. *Expert Systems with Applications*, 2025, 277: 127233.
- [3] Ahemad F, Gupta P, Mehlatat M K, et al. A multi-criteria decision-making approach using bipolar fuzzy numbers for optimizing two-sided matching in technology transfer decisions[J]. *Applied Soft Computing*, 2025, 183: 113633.
- [4] Zhao M, Wang Y J, Zhang X Y, et al. Online doctor-patient dynamic stable matching model based on regret theory under incomplete information[J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2023, 87: 101615.
- [5] Li Z, Guo S S, Huang X T, et al. Elective surgery scheduling with surgeon-patient classification and two-sided matching[J]. *Expert Systems with Applications*, 2026, 296: 129099.
- [6] Knuth D E. *Mariages stables*[M]. Montréal: Les Presses de L'Université de Montréal, 1976.
- [7] Zhang F, Li J, Fan J X, et al. Three-dimensional stable matching with hybrid preferences[J]. *Journal of Combinatorial Optimization*, 2019, 37(1): 330-336.
- [8] 袁旭梅, 徐晨, 侯胜楠, 等. 考虑具有合作情形的三边匹配模型研究[J]. *模糊系统与数学*, 2021, 35(2): 127-

139.
(Yuan X M, Chen C, Hou S N, et al. Research on three-sided matching model with cooperation[J]. *Fuzzy Systems and Mathematics*, 2021, 35(2): 127-139.)
- [9] 杨洋, 赵晓冬. 考虑主体心理行为的三边单向非循环稳定匹配[J]. *控制与决策*, 2021, 36(3): 741-746.
(Yang Y, Zhao X D. Three-sided stable matching with one-way acyclic preference considering agent's psychological behavior[J]. *Control and Decision*, 2021, 36(3): 741-746.)
- [10] 陈余杰, 朱兰萍, 魏翠萍. 多粒度犹豫模糊语言信息融合方法及其在群决策中的应用[J]. *系统科学与数学*, 2022, 42(2): 355-369.
(Chen Y J, Zhu L P, Wei C P. A fusion method of multi-granular hesitant fuzzy linguistic information and its application in group decision making[J]. *Journal of Systems Science and Mathematical Sciences*, 2022, 42(2): 355-369.)
- [11] 王洪利, 冯玉强. 基于云模型具有语言评价信息的多属性群决策研究[J]. *控制与决策*, 2005, 20(6): 679-681.
(Wang H L, Feng Y Q. On multiple attribute group decision making with linguistic assessment information based on cloud model[J]. *Control and Decision*, 2005, 20(6): 679-681.)
- [12] Wang J Q, Peng L, Zhang H Y, et al. Method of multi-criteria group decision-making based on cloud aggregation operators with linguistic information[J]. *Information Sciences*, 2014, 274: 177-191.
- [13] Peng H G, Zhang H Y, Wang J Q. Cloud decision support model for selecting hotels on TripAdvisor.com with probabilistic linguistic information[J]. *International Journal of Hospitality Management*, 2018, 68: 124-138.
- [14] Rao C J, Gao M Y, Wen J H, et al. Multi-attribute group decision making method with dual comprehensive clouds under information environment of dual uncertain Z-numbers[J]. *Information Sciences*, 2022, 602: 106-127.
- [15] 王磊, 李文杰, 王海. 基于累积前景理论的多粒度概率语言双边匹配决策方法[J]. *控制与决策*, 2025, 40(1): 300-307.
(Wang L, Li W J, Wang H. Two-sided matching decision making method with multi-granular probabilistic linguistic set based on cumulative prospect theory[J]. *Control and Decision*, 2025, 40(1): 300-307.)
- [16] Wang J Q, Wu J T, Wang J, et al. Interval-valued hesitant fuzzy linguistic sets and their applications in multi-criteria decision-making problems[J]. *Information Sciences*, 2014, 288: 55-72.
- [17] Liu P D, Shen M J. Failure mode and effects analysis (FMEA) for traffic risk assessment based on unbalanced double hierarchy linguistic term set[J]. *International Journal of Fuzzy Systems*, 2023, 25(2): 423-450.
- [18] Pang Q, Wang H, Xu Z S. Probabilistic linguistic term sets in multi-attribute group decision making[J]. *Information Sciences*, 2016, 369: 128-143.
- [19] Li D Y, Liu C Y, Gan W Y. A new cognitive model: Cloud model[J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2009, 24(3): 357-375.
- [20] 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.
(Lu W, Zhao J, Zhai Y K. Matching method for telemedicine service considering third-party preferences in context of mixed decision-making[J]. *Control and Decision*, 2021, 36(11): 2803-2811.)
- [21] 汪新凡, 周浪, 朱远芳, 等. 基于后悔理论的概率犹豫模糊双边匹配决策方法[J]. *控制与决策*, 2022, 37(9): 2380-2388.
(Wang X F, Zhou L, Zhu Y F, et al. Two-sided matching decision making method with probabilistic hesitant fuzzy information based on regret theory[J]. *Control and Decision*, 2022, 37(9): 2380-2388.)
- [22] Zhang K, Liang X, Wei H, et al. An improved TOPSIS-ANP composite shielding material performance evaluation method based on gray relational projection algorithm[J]. *Frontiers in Energy Research*, 2023, 10: 1102997.
- [23] Teng F, Shen M J, Liu X R, et al. Z-mixture three-sided stable matching in seaborne coal exchange with cooperative partners and heterogeneous relationships among attributes[J]. *Expert Systems with Applications*, 2024, 244: 122444.
- [24] 袁铎宁, 姜艳萍, 梁海明. 考虑属性优先性的择期手术医患双边稳定匹配模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2020, 40(9): 2367-2378.
(Yan D N, Jiang Y P, Liang H M. Two-sided stable matching model between selective operation patients and surgeons considering the priority of attributes[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2020, 40(9): 2367-2378.)

作者简介

彭娟娟 (1981-), 女, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为决策理论与方法、数据分析与挖掘, E-mail: pengjj81@zufe.edu.cn;

凌初阳 (2000-), 男, 硕士生, 主要研究方向为决策理论与方法, E-mail: 230506031010@zufe.edu.cn;

隆清琦 (1984-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为数据分析与挖掘、智能决策方法, E-mail: longqingqi1116@163.com.