

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2026.01.011

医联网环境下的跨域医疗健康数据治理合作机制研究^①

丁帅^{1,2,3}, 王一凡^{1*}, 王浩^{1,2,3}, 朱立峰⁴, 范先群⁵, 杨善林^{1,2,3}

(1. 合肥工业大学管理学院, 合肥 230009; 2. 过程优化与智能决策教育部重点实验室, 合肥 230009; 3. 数据科学与智慧社会治理教育部哲学社会科学实验室, 合肥 230009; 4. 上海交通大学医学院附属瑞金医院, 上海 200025; 5. 上海交通大学医学院, 上海 200025)

摘要: 我国医疗健康业务形式与协作场景日益丰富, 医疗健康数据正在急速扩容且跨域特性愈发显著, 跨域医疗健康数据治理已然成为数据价值挖掘与风险管控的必经之路。然而, 医疗健康协作场景中多方主体受限于发展诉求和技术水平差异等客观因素, 面临跨域医疗健康数据治理难以可持续稳定合作的现实困境。本文聚焦医联网环境下多主体合作的管理情境归纳了医疗健康协作场景, 探索了跨域医疗健康数据治理合作三方策略演化过程及影响因素, 并以“瑞金-卢湾”医联体为典型场景进行了数值仿真分析。在此基础上, 基于行动设计研究理论提出了多场景适配且动态循环的共性合作机制, 为医联网环境下跨域医疗健康数据治理的可持续稳定合作提供理论参考。

关键词: 医联网; 医疗健康协作; 数据治理; 合作机制; 演化博弈

中图分类号: C931.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2026)01-0175-16

0 引言

随着我国医疗健康事业的高质量发展及信息技术迭代跃迁, 院内院际、线上线下融合的医疗健康业务形式与交互场景日益丰富, 多源多模态医疗健康数据正在急剧扩容并驱动着诊疗、运营与管理决策模式革新^[1]。在推进数据要素化、数据基础制度建设的时代进程中, 我国陆续出台系列政策推动医疗健康数据规范应用并强调数据治理对提升行业创新发展的重要作用^[2]。数据治理是数据资源及应用过程中管控活动、绩效和风险管理的集合, 涵盖数据相关的战略、体系、机制等管理问题及质控、集成、追溯等技术问题^[3]。医疗健康领域对于数据的价值挖掘、安全共享等需求愈发迫切, 美国、英国、欧盟等发达国家及地区均已开展了医疗健康数据治理系统、安全隐私保护

策略、联通共享框架等数据治理理论与实践探索, 医疗健康数据治理已然成为了全球关注的前沿科学问题^[4,5]。

医联网是指由分布在各类医疗、健康、保险机构或社区、家庭等空间的, 并与医疗健康相关的人和物及其信息资源所构成的互联网络^[6]。在医联网环境下, 各级医疗机构更为注重业务连续与运营协作, 医疗健康数据的跨时空、跨主体、跨权属域特性愈发显著。例如, 远程会诊、分级诊疗协作等业务产生的电子病历、检查检验报告等数据, 在时间上跨越患者生命周期和诊疗流程, 在空间上分散于跨区域医疗机构^[7,8]; 医疗健康协作场景中医疗护理、医务物资及教学科研的一体化管理与决策, 需要跨组织、角色与资源等主体相关数据支撑^[9]; 在线问诊、互联网医院等平台中包含了海量高敏感且高价值的患者数据, 但数据容他性

① 收稿日期: 2024-06-28; 修订日期: 2025-04-15。

基金项目: 国家自然科学基金资助重大项目(72293581; 72293580); 中国工程院战略研究与咨询重大项目(2024-XBZD-18)。

通讯作者: 王一凡(2000—), 男, 安徽枞阳人, 博士生。Email: 2025010143@mail.hfut.edu.cn

使其采集权、调阅权等权属关系错综复杂、归属不明^[10]。单主体数据治理和多主体数据联通均难以应对医联网环境下全流程连续化的智慧医疗健康协作需求,跨域医疗健康数据治理已成为建立和发展医联网应解决的首要问题。

因此,急需探索多主体合作的跨域医疗健康数据治理机制,促进医联网理论体系的持续完善和医联网环境下智慧医疗健康实践的模式演进。目前,医疗健康数据治理的理论研究与实践探索仍主要聚焦于单主体场景,针对多主体协作场景的研究相对匮乏^[11]。我国医疗健康协作场景复杂多元,参与主体、业务形式及治理需求均存在差异,且主体间数据治理合作机制仍较模糊。同时,现有数据治理相关研究更关注技术创新而忽视管理维度,主流通用型数据治理理论框架(DGI框架等)在医疗健康协作场景难以有效适配。此外,由于数据治理是常态化、持续迭代的战略发展过程,多方主体的跨域医疗健康数据治理合作具有长期性与动态性。受限于发展诉求各异、技术水平差异、激励机制缺乏等因素,较难维持各方参与意愿、保障可持续稳定合作。

在医疗健康协作场景中主体间的合作与竞争关系共存,尤其是资源互补时呈现出在价值创造中合作、在收益分配中竞争的复杂竞合关系^[12]。在跨域医疗健康数据治理合作中主体积极应对需投入必要成本,若未能取得预期收益将制约主体合作意愿^[13]。同时,任意一方合作意愿变化均可能影响其他方的策略选择,导致合作难以持续^[14]。针对医疗健康协作场景合作问题国内外学者运用多类方法从政府、医联体、企业等视角展开探索。如孙树学等^[15]通过归纳式案例研究法探究了竞合动力、外部激励约束等机制对松散型医联体合作的影响;Zhili等^[16]基于博弈论探讨了新药研发合作中的主体间竞合关系以及合作条件;杨曼等^[17]通过构建政企协同防控随机微分博弈模型探讨了应急医疗物资供给的合作模式。

上述相关研究中已有运用博弈方法,但较少考虑合作的长期持续性与主体策略动态性,难以应对跨域医疗健康数据治理合作中各方主体策略变化并且相互影响的实际情况。针对多主体合作的持续性和动态性问题,相关领域学者运用演化博弈理论进行了探索,演化博弈理论作为处理多

方策略选择的定量研究方法,能更为清晰地刻画主体之间的博弈关系、动态演化过程以及复杂因素的影响。如周晓阳等^[18]运用演化博弈理论探究了制造业企业、工业互联网平台以及第三方开发者的协作演化策略;孙国强等^[19]对于政府与供应链网络上下游子群数据共享协作通过演化博弈分析了三方协同机理。上述研究虽然具有借鉴意义,但尚未有针对医疗健康协作场景中的跨域医疗健康数据治理合作机制的研究,仍较少涉及用以指导多方主体可持续稳定合作的理论框架。

因此,本文通过对我国医疗健康协作场景的归纳分析,利用演化博弈理论探索医联网环境下跨域医疗健康数据治理合作主体策略演化及影响因素,并在此基础上设计了跨域医疗健康数据治理的共性合作机制。本文的创新性和研究意义在于:1)鉴于实际合作中主体策略动态变化且相互影响,引入了有限理性假设和演化博弈理论,用以刻画多方长期持续合作情景;2)针对医疗健康协作场景需求与数据治理实践路径,通过模型分析及结合“瑞金-卢湾”医联体案例的数值仿真,探索了收益分配、政府激励与声誉效应等因素对于跨域数据治理合作的影响;3)基于行动设计研究理论和通用数据治理框架,设计了动态循环的共性合作机制,为医联网环境下的跨域医疗健康数据治理合作实践提供理论参考。

1 理论模型构建

1.1 跨域医疗健康数据治理合作的问题描述

我国医疗健康业务协作通常以医联体的形式开展,在组织模式上分为城市医疗集团、县域医共体、跨区域专科联盟和远程医疗协作网四种类型,在运营模式上又分为松散型和紧密型两类^[20]。其中,城市医疗集团和县域医共体的各主体处于同一行政区域内,空间上为区域网格化的布局;跨区域专科联盟和远程医疗协作网的各主体通常较为分散,空间上为跨区域网络化的布局。在运营模式上,紧密型医联体的人、财、物、信息均为一体化管理,主体间权责、资源、业务、机制协同;而松散型医联体主体间则是通过合同或协议达成合作关系,各主体的业务与运营管理相对独立^[21]。依

据上述两个维度, 本文将医联网环境下的医疗健康协作场景归纳为从属型、分治型和指导型场景。

从属型场景以紧密型城市医疗集团和紧密型县域医共体为代表, 通常统一法人或由牵头单位任命成员单位法定代表人, 主体间具有上下级管辖关系, 基于原有管理制度自顶向下执行数据治理措施以综合提高整体收益。而分治型场景如松散型城市医疗集团和松散型县域医共体等, 在保持主体自治性的前提下通过补充协议开展数据治理合作, 以促进业务协作效率、保障各主体收益。跨区域专科联盟、远程医疗协作网等指导型场景, 聚焦单一科室或专科对特定业务实施数据治理, 通过远程指导或教培等方式提升成员单位服务能力。我国从属型场景仍处于试点建设阶段, 其跨域医疗健康数据治理主要面临内部整体优化而非合作问题; 指导型场景的数据治理合作主要针对特定业务, 其数据治理需求与范围均较小。

当前, 分治型场景仍是最为普遍的医疗健康协作场景, 主体间的竞合关系也更为复杂。该场景中牵头单位通常为城市三级综合性医院或县域龙头医院, 成员单位可分为枢纽成员单位(二级医院或乡镇卫生院)和基层成员单位(社区卫生服务中心或村卫生院)。在合作中牵头单位期望通过全面建立医疗健康数据治理体系, 提升诊疗水平、优化运营管理并规避数据风险。而对于成员单位, 则聚焦于提升自身慢病管理、公共卫生与预防等基层服务能力, 并促使其与上级医院的业务协作更为紧密。合作机制不仅涉及内部收益分配方式, 还涵盖外部激励和隐形约束。政府激励是一类典型的外部激励, 通常以专项资金支持、运行经费补贴等形式实施^[22]; 隐形约束则表现为多方合作中的声誉效应, 牵头单位的声誉积累是具有重要价值的无形战略资源, 而成员单位声誉下降则可能导致失去牵头单位的业务协作与技术指导等约束性声誉风险^[23, 24]。

1.2 跨域医疗健康数据治理合作的模型假设

本文针对分治型医疗健康协作场景进行演化博弈模型构建并展开理论分析, 对牵头单位、枢纽成员单位、基层成员单位三方演化博弈过程进行了必要假设, 参数符号及含义如表1所示。

假设1 跨域医疗健康数据治理合作中, 三方均视为有限理性决策人, 均存在“积极合作”、

“消极合作”两种策略选择。牵头单位在合作中具有统筹与指导职责, 选择积极合作策略即投入人员与资金引领场景问题诊断、组织架构建立、规章制度制定等宏观治理工作开展, 并且为成员单位积极提供技术指导与人员培训; 而枢纽成员单位具有推进与协调职责, 选择积极合作策略即积极协调基层成员单位执行数据治理工作安排以推动规划落地; 基层成员单位作为合作中的响应与配合方, 选择积极合作策略即响应牵头单位与枢纽成员单位的工作安排, 同时反馈过程中涌现的实践问题以促进整体规划设计修正优化。三方主体合作意愿, 即选择“积极合作”策略的概率为 α 、 β 、 $\gamma \in [0, 1]$ 。

表1 参数符号及含义

Table 1 Parameter symbols and meanings

参数	含义
$C_l/\Delta C_l$	牵头单位投入的基础成本/其积极合作时投入的额外成本
C_m/C_b	枢纽/基层成员单位积极合作投入的成本
ΔC_b	当基层成员单位积极合作得到牵头单位技术指导时的节约成本
R_1/R_2	三方均积极合作/某一方消极合作时产生的整体收益
$d_l/d_m/d_b$	三方收益的分配比率
$S_l/S_m/S_b$	三方获得的政府激励
ΔS_b	三方均积极合作时基层成员单位获得的政府额外补贴激励
P_l	牵头单位积极合作时外部声誉积累产生的合作声誉收益
f_m/f_b	牵头单位积极合作时, 枢纽成员单位和基层成员单位消极合作产生的声誉风险

假设2 医联网环境下的跨域医疗健康数据治理合作过程中, 牵头单位不论选择何种策略, 均需要承担宏观数据治理工作投入一定基础成本 C_l 。当牵头单位积极合作时还需要在具体执行工作及技术指导上投入额外成本 ΔC_l 。枢纽成员单位与基层成员单位作为推进与协调、响应与配合方, 仅在选择积极合作策略时投入成本分别为 C_m 、 C_b , 且 $C_m > C_b > 0$, 在选择消极合作策略时无需成本投入。同时, 三方主体中的基层成员单位在协作中受限于自身技术水平难以有效实施治理工作, 当其选择积极合作策略时若得到牵头单位技术指导则能节约成本 ΔC_b 。

假设 3 牵头单位、枢纽成员单位和基层成员单位均积极合作时,场景中医疗健康数据的自身价值以及应用潜在价值提升,同时形成数据治理相关新型技术、服务、系统及平台等,将会带来综合性的整体收益为 R_1 . 如果存在某方主体消极合作时则会对整体收益产生影响,此时整体收益为 $R_2, R_1 > 2R_2 > 0$. 如果存在两方及以上主体消极合作时,合作产生的整体收益为 0. 此外,整体收益分配是合作机制中不可或缺的部分,各方主体对于整体收益均有分配权,收益分配比率分别为 $d_l, d_m, d_b \in [0, 1]$, 且 $d_l + d_m + d_b = 1$.

假设 4 鉴于我国医疗健康领域以公立体系为主导,政府政策对主体策略演化的影响不可忽视,本文引入政府作为隐式参与主体以激励作为调控方式. 当基层成员单位与牵头单位积极合作时,将会分别获得政府激励 S_b, S_l ; 当基层成员单位与枢纽成员单位积极合作时,会分别获得政府激励 S_b, S_m . 此外,当三方主体均选择积极合作

时,更为完善的数据标准、隐私保护、安全共享体系在促进协作效率提升的同时,也会使基层成员单位面临上级机构“虹吸效应”带来的患者流损失,此时考虑基层成员单位在三方均积极合作情况下获得的政府额外补贴激励 ΔS_b .

假设 5 医疗健康领域具有显著的声誉效应,在医联网环境下跨域医疗健康数据治理中取得的声誉积累对于牵头单位可视作重要的无形战略资源,通过提升知名度、品牌价值和社会形象从而促进外部协作与患者流量增长,牵头单位选择积极合作时取得的声誉积累将产生合作声誉收益 P_l . 而对于枢纽成员单位和基层成员单位而言,声誉效应主要体现在医疗健康协作场景的内部,内部合作声誉下降将会影响源自牵头单位的业务协作与技术指导,当牵头单位选择积极合作策略时若枢纽成员单位和基层成员单位选择消极合作策略,则两方成员单位会产生合作声誉风险 f_m, f_b .

表 2 跨域医疗健康数据治理合作的三方策略选择收益矩阵

Table 2 The tripartite strategy selection payoff matrix of cross-domain healthcare data governance cooperation

主体策略	牵头单位积极合作 α		牵头单位消极合作 $1 - \alpha$	
	枢纽成员单位 积极合作 β	枢纽成员单位 消极合作 $1 - \beta$	枢纽成员单位 积极合作 β	枢纽成员单位 消极合作 $1 - \beta$
基层成员 单位积极 合作 γ	$d_l R_1 + S_l + P_l - C_l - \Delta C_l$	$d_l R_2 + S_l + P_l - C_l - \Delta C_l$	$d_l R_2 - C_l$	$-C_l$
	$d_m R_1 + S_m - C_m$	$d_m R_2 - f_m$	$d_m R_2 + S_m - C_m$	0
基层成员 单位消极 合作 $1 - \gamma$	$d_b R_1 + S_b + \Delta S_b - C_b + \Delta C_b$	$d_b R_2 + S_b - C_b + \Delta C_b$	$d_b R_2 + S_b - C_b$	$-C_b$
	$d_l R_2 + P_l - C_l - \Delta C_l$	$P_l - C_l - \Delta C_l$	$-C_l$	$-C_l$
	$d_m R_2 - C_m$	$-f_m$	$-C_m$	0
	$d_b R_2 - f_b$	$-f_b$	0	0

1.3 各主体复制动态方程建立

依据上述假设和参数设置,描绘跨域医疗健康数据治理合作的三方主体博弈策略组合及收益如表 2 所示. 由三方策略选择收益矩阵中的策略选择及收益情况可知,牵头单位选择积极合作或消极合作策略时的期望收益函数 $L_\alpha, L_{1-\alpha}$ 及平均收益 \bar{L} 分别为

$$L_\alpha = \beta\gamma(d_l R_1 + S_l + P_l - C_l - \Delta C_l) + \beta(1 - \gamma)(d_l R_2 + P_l - C_l - \Delta C_l) + (1 - \beta)\gamma(d_l R_2 + S_l + P_l - C_l - \Delta C_l) + (1 - \beta)(1 - \gamma)(P_l - C_l - \Delta C_l) \quad (1)$$

$$L_{1-\alpha} = \beta\gamma(d_l R_2 - C_l) + \beta(1 - \gamma)(-C_l) + (1 - \beta)\gamma(-C_l) + (1 - \beta)(1 - \gamma)(-C_l) \quad (2)$$

$$\bar{L} = \alpha L_\alpha + (1 - \alpha)L_{1-\alpha} \quad (3)$$

同理,构建枢纽成员单位积极合作或消极合作的期望收益函数 $M_\beta, M_{1-\beta}$ 及平均收益 \bar{M} , 以及基层成员单位积极合作或消极合作的期望收益函数 $B_\gamma, B_{1-\gamma}$ 及平均收益 \bar{B} . 三方策略选择随时间动态变化,当选择某种策略的收益大于平均收益时,则选择该策略的概率增加,反之则会减少. 基于复制动态方程分析主体决策变化是演化博弈研究的核心思路,跨域医疗健康数据治理的合作状态为各方主体合作动态博弈的结果. 依据牵头单位、枢纽成员单位和基层成员单位的三方策略选择期望函数和平均收益,建立复制动态方程如式(4)所示.

$$\begin{cases} L(\alpha) = \frac{d\alpha}{dt} = \alpha(L_\alpha - \bar{L}) = \alpha(1 - \alpha)[- \Delta C_l + \gamma S_l + P_l + \beta\gamma d_l R_1 + (\beta + \gamma - 3\beta\gamma)d_l R_2] \\ M(\beta) = \frac{d\beta}{dt} = \beta(M_\beta - \bar{M}) = \beta(1 - \beta)[- C_m + \gamma S_m + \alpha f_m + \alpha\gamma d_m R_1 + (\alpha + \gamma - 3\alpha\gamma)d_m R_2] \\ B(\gamma) = \frac{d\gamma}{dt} = \gamma(B_\gamma - \bar{B}) = \gamma(1 - \gamma)[- C_b + \alpha\Delta C_b + (\alpha + \beta - \alpha\beta)S_b + \alpha\beta\Delta S_b + \alpha f_b + \\ \alpha\beta d_b R_1 + (\alpha + \beta - 3\alpha\beta)d_b R_2] \end{cases} \quad (4)$$

2 理论模型分析

2.1 演化稳定策略分析

通过分析医联网环境下跨域医疗健康数据治理合作的复制动态方程,能够更为直观地描述三方策略选择的动态变化过程. 首先,对于牵头单位的演化稳定策略展开分析,由式(4)可得出牵头单位的复制动态方程关于 α 的一阶导数 $L'(\alpha)$ 如式(5)所示,同时,为便于表达,令 $G(\beta)$ 如式(6)所示. 根据微分方程稳定性理论,牵头单位选择积极合作策略的概率趋于稳定状态,需要满足: $L(\alpha) = 0$,且 $L'(\alpha) < 0$. 绘制牵头单位策略演化的复制相位图如图 1 所示,为方便讨论,令枢纽成员单位策略阈值 β_0 如式(7)所示

$$L'(\alpha) = (1 - 2\alpha)[- \Delta C_l + \gamma S_l + P_l + \beta\gamma d_l R_1 + (\beta + \gamma - 3\beta\gamma)d_l R_2] \quad (5)$$

$$G(\beta) = - \Delta C_l + \gamma S_l + P_l + \beta\gamma d_l R_1 + (\beta + \gamma - 3\beta\gamma)d_l R_2 \quad (6)$$

$$\beta_0 = \frac{\Delta C_l - \gamma S_l - P_l - \gamma d_l R_2}{d_l[\gamma R_1 + (1 - 3\gamma)R_2]} \quad (7)$$

命题 1 对于牵头单位而言,即城市三级综合性医院或县域龙头医院,当 $\beta = \beta_0$ 时,不会改变所选策略;当 $\beta > \beta_0$ 时,牵头单位选择积极合作;当 $\beta < \beta_0$ 时,牵头单位选择消极合作.

证明 由于 $\alpha, \beta, \gamma \in [0, 1]$,结合前文假设,可知 $G'(\beta) > 0$,即 $G(\beta)$ 为增函数. 则当 $\beta < \beta_0$ 时, $G(\beta) < 0$,存在 $\alpha = 0$ 使得 $L(\alpha) = 0$ 且,此时 $\alpha = 0$ 为演化稳定策略,如图 1(a)中的箭头所示;当 $\beta > \beta_0$ 时, $G(\beta) > 0$,存在 $\alpha = 1$ 使得 $L(\alpha) = 0$ 且,此时 $\alpha = 1$ 为演化稳定策略,如图 1(b)中的箭头所示;当 $\beta = \beta_0$ 时, $G(\beta) = 0$,此时所有 $\alpha \in [0, 1]$ 均为平衡点但无演化稳定策略,即牵头单位不改变初始所选策略. 证毕.

该命题揭示了医联网环境下牵头单位的策略

选择受其他两方合作策略影响. 结合复制相位图和相关参数进行分析可得, ΔC_l 与 β_0 呈正相关. 当其他参数不变时, ΔC_l 增大则 β_0 增大,截面前移且空间 V_1 增大. 牵头单位积极合作使得投入的额外成本增大,可能诱发牵头单位消极合作意愿提升. 由式(7)易知, γ, S_l, P_l, d_l 与 β_0 呈负相关. 当其他参数不变时, γ 或 S_l 或 P_l 或 d_l 增大则 β_0 减小,截面后移且空间 V_2 增大. 即对于牵头单位而言,当基层成员单位积极合作概率、牵头单位与基层成员单位同时选择积极合作时获得的政府激励、牵头单位选择积极合作时的合作声誉收益以及牵头单位的整体经济收益分配比率增大时,牵头单位更倾向于选择积极合作策略.

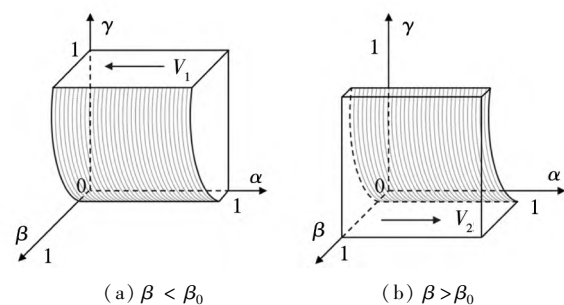


图 1 牵头单位策略演化的复制相位图

Fig. 1 Duplicate phase diagram of evolution of lead unit's strategy

同理分析枢纽成员单位的演化稳定策略,由式(4)可得出其复制动态方程关于 β 的一阶导数 $M'(\beta)$ 如式(8)所示,并令 $G(\gamma)$ 如式(9)所示. 枢纽成员单位积极合作的概率趋于稳定,需要满足 $M(\beta) = 0$ 且 $M'(\beta) < 0$. 绘制枢纽成员单位策略演化的复制相位图如图 2 所示,为方便讨论,令基层成员单位策略阈值 γ_0 如式(10)所示.

$$M'(\beta) = (1 - 2\beta)[- C_m + \gamma S_m + \alpha f_m + \alpha\gamma d_m R_1 + (\alpha + \gamma - 3\alpha\gamma)d_m R_2] \quad (8)$$

$$G(\gamma) = - C_m + \gamma S_m + \alpha f_m + \alpha\gamma d_m R_1 + (\alpha + \gamma - 3\alpha\gamma)d_m R_2 \quad (9)$$

$$\gamma_0 = \frac{C_m - \alpha f_m - \alpha d_m R_2}{S_m + d_m[\alpha R_1 + (1 - 3\alpha)R_2]} \quad (10)$$

命题2 对于枢纽成员单位而言,即二级医院或乡镇卫生院,当 $\gamma = \gamma_0$ 时,不会改变策略选择;当 $\gamma > \gamma_0$ 时,会选择积极合作策略;当 $\gamma < \gamma_0$ 时,会选择消极合作策略.

证明 同命题1,可知 $G(\gamma)$ 为增函数. 则当 $\gamma < \gamma_0$ 时, $G(\gamma) < 0$, 存在 $\beta = 0$ 使得 $M(\beta) = 0$ 且 $M'(\beta) < 0$, 此时 $\beta = 0$ 为演化稳定策略, 如图2(a)中的箭头所示; 当 $\gamma > \gamma_0$ 时, $G(\gamma) > 0$, 存在 $\beta = 1$ 使得 $M(\beta) = 0$ 且 $M'(\beta) < 0$, 此时 $\beta = 1$ 为演化稳定策略, 如图2(b)中的箭头所示; 当 $\gamma = \gamma_0$ 时, 此时所有 $\beta \in [0, 1]$ 均为平衡点但无演化稳定策略, 即枢纽成员单位初始所选策略不变. 证毕.

该命题揭示了医联网环境下枢纽成员单位的策略选择受其他两方合作策略影响. 结合复制相位图和相关参数进行分析可得, C_m 与 γ_0 呈正相关, 当其他参数不变时, 当 C_m 增大则 γ_0 增大, 截面上移且空间 V_3 增大. 当枢纽成员单位积极合作投入的成本增大时, 可能诱发枢纽成员单位趋于消极合作. 由式(10)易知, α 、 S_m 、 f_m 、 d_m 与 γ_0 呈负相关, 当其他参数不变时, α 或 S_m 或 f_m 或 d_m 与 γ_0 增大时, γ_0 减小, 截面下移且空间 V_4 增大. 当牵头单位积极合作概率、枢纽成员单位与基层成员单位同时选择积极合作时获得的政府激励、枢纽成员单位的合作声誉风险以及其收益分配比率增大时, 枢纽成员单位更倾向于积极合作.

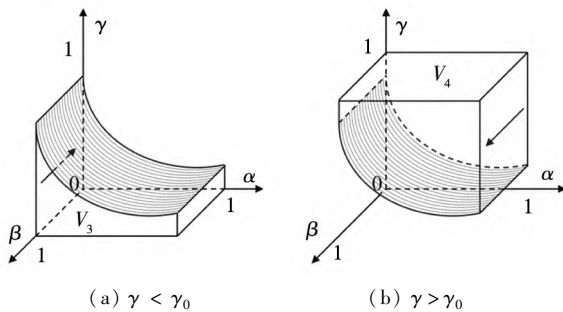


图2 枢纽成员单位策略演化的复制相位图

Fig. 2 Duplicate phase diagram of evolution of middle member unit's strategy

同理分析基层成员单位, 由式(4)可得出其复制动态方程关于 γ 的一阶导数 $B'(\gamma)$ 如式(11)所示, 并令 $G(\alpha)$ 如式(12)所示. 枢纽成员单位选择积极合作策略的概率趋于稳定状态需要

满足: $B(\gamma) = 0$ 且 $B'(\gamma) < 0$. 绘制基层成员单位策略演化的复制相位图如图3所示, 为方便讨论, 令牵头单位策略阈值 α_0 如式(13)所示.

$$B'(\gamma) = (1 - 2\gamma) [-C_b + \alpha\Delta C_b + (\alpha + \beta - \alpha\beta)S_b + \alpha\beta\Delta S_b + \alpha f_b + \alpha\beta d_b R_1 + (\alpha + \beta - 3\alpha\beta)d_b R_2] \quad (11)$$

$$G(\alpha) = -C_b + \alpha\Delta C_b + (\alpha + \beta - \alpha\beta)S_b + \alpha\beta\Delta S_b + \alpha f_b + \alpha\beta d_b R_1 + (\alpha + \beta - 3\alpha\beta)d_b R_2 \quad (12)$$

$$\alpha_0 = \frac{C_b - \beta S_b - \beta d_b R_2}{(1 - \beta)S_b + \Delta C_b + f_b + \beta\Delta S_b + d_b[\beta R_1 + (1 - 3\beta)R_2]} \quad (13)$$

命题3 对于基层成员单位而言,即社区卫生服务中心或村卫生院,当 $\alpha = \alpha_0$ 时,不会改变策略选择;当 $\alpha > \alpha_0$ 时,会选择积极合作策略;当 $\alpha < \alpha_0$ 时,会选择消极合作策略.

证明 同命题1,可知 $G(\alpha)$ 为增函数. 则当 $\alpha < \alpha_0$ 时, $G(\alpha) < 0$, 存在 $\gamma = 0$ 使得 $B(\gamma) = 0$ 且 $B'(\gamma) < 0$, 此时 $\gamma = 0$ 为演化稳定策略, 如图3(a)的箭头所示; 当 $\alpha > \alpha_0$ 时, $G(\alpha) > 0$, 存在 $\gamma = 1$ 使得 $B(\gamma) = 0$ 且 $B'(\gamma) < 0$, 此时 $\gamma = 1$ 为演化稳定策略, 如图3(b)的箭头所示; 当 $\alpha = \alpha_0$ 时, 此时所有 $\gamma \in [0, 1]$ 均为平衡点但无演化稳定策略, 即基层成员单位初始所选策略不变. 证毕.

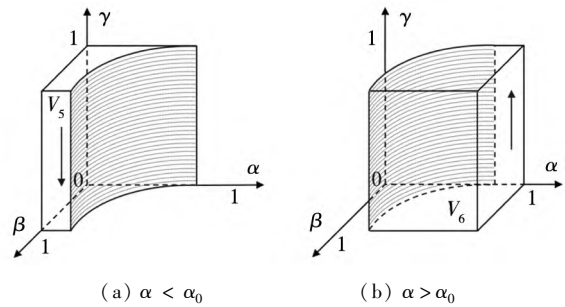


图3 基层成员单位策略演化的复制相位图

Fig. 3 Duplicate phase diagram of evolution of basic member unit's strategy

该命题揭示了医联网环境下基层成员单位的策略选择受其他两方的合作策略影响. 结合复制相位图和相关参数进行分析可得, C_b 与 γ_0 呈正相关, 当其他参数不变时, C_b 增大则 γ_0 增大, 截面右移且空间 V_5 增大. 当基层成员单位积极合作投入成本增大时, 其趋于消极合作. 由式(13)

易知, β 、 S_b 、 f_b 、 d_b 与 γ_0 呈负相关, 当其他参数不变时, β 或 S_b 或 f_b 或 d_b 增大时, γ_0 减小, 截面左移且空间 V_6 增大. 即当枢纽成员单位积极合作的概率、以及基层成员单位所得政府激励、合作声誉风险、收益分配比率增大时, 基层成员单位更倾向于积极合作.

2.2 均衡点稳定性分析

在跨域医疗健康数据治理合作中, 三方主体基于自身的当前收益动态调整策略以促进收益提升, 最终达到动态平衡的演化稳定策略, 在判定演化稳定策略前需求出演化博弈的均衡点. 对于牵头单位、枢纽成员单位和基层成员单位的策略演化可以用三个微分方程描述, 但无法直接判断出动态过程中最终趋于哪个系统均衡点. 因此, 需要进一步展开系统均衡点稳定性的分析, 令 $L(\alpha) = 0$ 、 $M(\beta) = 0$ 、 $B(\gamma) = 0$ 即系统策略选择的变化率为零时, 可以得到该动力系统的均衡点 $E_1(0, 0, 0)$ 、 $E_2(1, 0, 0)$ 、 $E_3(0, 1, 0)$ 、 $E_4(0, 0, 1)$ 、 $E_5(1, 1, 0)$ 、 $E_6(1, 0, 1)$ 、 $E_7(0, 1, 1)$ 、 $E_8(1, 1, 1)$. 通过

$$J = \begin{bmatrix} (1 - 2\alpha)[-\Delta C_l + \gamma S_l + P_l + \beta\gamma d_l R_1 + (\beta + \gamma - 3\beta\gamma)d_l R_2] & \alpha(1 - \alpha)[\gamma d_l R_1 + (1 - 3\gamma)d_l R_2] & \alpha(1 - \alpha)[S_l + \beta d_l R_1 + (1 - 3\beta)d_l R_2] \\ \beta(1 - \beta)[f_m + \gamma d_m R_1 + (1 - 3\gamma)d_m R_2] & (1 - 2\beta)[-C_m + \gamma S_m + \alpha f_m + \alpha\gamma d_m R_1 + (\alpha + \gamma - 3\alpha\gamma)d_m R_2] & \beta(1 - \beta)[S_m + \alpha d_m R_1 + (1 - 3\alpha)d_m R_2] \\ \gamma(1 - \gamma)[\Delta C_b + (1 - \beta)S_b + f_b + \beta d_b R_1 + \beta\Delta S_b + (1 - 3\beta)d_b R_2] & \gamma(1 - \gamma)[(1 - \alpha)S_b + \alpha\Delta S_b + \alpha d_b R_1 + (1 - 3\alpha)d_b R_2] & (1 - 2\gamma)[-C_b + \alpha\Delta C_b + (\alpha + \beta - \alpha\beta)S_b + \alpha\beta\Delta S_b + \alpha f_b + \alpha\beta d_b R_1 + (\alpha + \beta - 3\alpha\beta)d_b R_2] \end{bmatrix} \quad (14)$$

表 3 均衡点特征值及稳定性分析

Table 3 Equilibrium point eigenvalue and stability analysis

均衡点	特征值	演化稳定性
$E_1(0, 0, 0)$	$\lambda_1 = -\Delta C_l + P_l$; $\lambda_2 = -C_m$; $\lambda_3 = -C_b$	当 $P_l < \Delta C_l$ 时为渐进稳定点, 其他情况为鞍点
$E_2(1, 0, 0)$	$\lambda_1 = \Delta C_l - P_l$; $\lambda_2 = -C_m + f_m + d_m R_2$; $\lambda_3 = -C_b + \Delta C_b + f_b + d_b R_2 + S_b$	当 $P_l > \Delta C_l$ 、 $f_m + d_m R_2 < C_m$ 且 $f_b + d_b R_2 + S_b < C_b - \Delta C_b$ 时为渐进稳定点; 其他情况为不稳定状态
$E_3(0, 1, 0)$	$\lambda_1 = -\Delta C_l + P_l + d_l R_2$; $\lambda_2 = C_m > 0$; $\lambda_3 = -C_b + S_b + d_b R_2$	不稳定状态
$E_4(0, 0, 1)$	$\lambda_1 = -\Delta C_l + S_l + P_l + d_l R_2$; $\lambda_2 = -C_m + S_m + d_m R_2$; $\lambda_3 = C_b > 0$	不稳定状态
$E_5(1, 1, 0)$	$\lambda_1 = \Delta C_l - P_l - d_l R_2$; $\lambda_2 = C_m - f_m - d_m R_2$; $\lambda_3 = -C_b + \Delta C_b + \Delta S_b + f_b + S_b + d_b(R_1 - R_2)$	当 $P_l + d_l R_2 > \Delta C_l$ 、 $f_m + d_m R_2 > C_m$ 且 $\Delta S_b + f_b + S_b + d_b(R_1 - R_2) < C_b - \Delta C_b$ 时为渐进稳定点; 其他情况为不稳定状态

求解三维动力系统可得, 当三方策略满足联立方程解 $\alpha = \alpha^*$ 、 $\beta = \beta^*$ 、 $\gamma = \gamma^*$ 时, 系统存在混合策略均衡点 $E_9(\alpha^*, \beta^*, \gamma^*)$. 在非对称博弈模型中, 若博弈均衡解是演化稳定状态, 则该均衡解是严格纳什均衡即纯策略均衡, 混合策略均衡一定不是演化稳定均衡, 因此仅需分析 8 个纯策略均衡点的稳定性^[25].

依据三方演化博弈理论, 可以通过三维动力系统分析三方策略演化情况, 本文依据 Lyapunov 第一法运用 Jacobian 矩阵对局部均衡点进行分析. 当且仅当所有特征值 (λ) 满足 $\lambda < 0$ 时, 均衡点判定为渐进稳定点, 其他情况则为不稳定点. 不稳定状态中同时存在正特征值和负特征值则该均衡点为鞍点. 根据式 (4) 可得系统的 Jacobian 矩阵如式 (14) 所示, 将均衡点带入 Jacobian 矩阵得其特征值, 根据特征值判断各均衡点的稳定性结果如表 3 所示. 以上分析刻画了医联网环境下的多方主体跨域医疗健康数据治理合作策略选择稳定性及参数影响.

续表 3
Table 3 Continues

均衡点	特征值	演化稳定性
$E_6(1,0,1)$	$\lambda_1 = \Delta C_l - S_l - P_l - d_l R_2 ;$ $\lambda_2 = -C_m + S_m + f_m + d_m(R_1 - R_2) ;$ $\lambda_3 = C_b - \Delta C_b - S_b - f_b - d_b R_2$	当 $S_l + P_l + d_l R_2 > \Delta C_l, S_m + f_m + d_m(R_1 - R_2) < C_m$ 且 $S_b + f_b + d_b R_2 > C_b - \Delta C_b$ 时为渐进稳定点; 其他情况为不稳定状态
$E_7(0,1,1)$	$\lambda_1 = -\Delta C_l + S_l + P_l + d_l(R_1 - R_2) ;$ $\lambda_2 = C_m - S_m - d_m R_2 ; \lambda_3 = C_b - S_b - d_b R_2$	当 $S_l + P_l + d_l(R_1 - R_2) < \Delta C_l, S_m + d_m R_2 > C_m$ 且 $S_b + d_b R_2 > C_b$ 时为渐进稳定点;其他情况为不稳定状态
$E_8(1,1,1)$	$\lambda_1 = \Delta C_l - S_l - P_l - d_l(R_1 - R_2) ;$ $\lambda_2 = C_m - S_m - f_m - d_m(R_1 - R_2) ;$ $\lambda_3 = C_b - \Delta C_b - S_b - \Delta S_b - f_b - d_b(R_1 - R_2)$	当 $S_l + P_l + d_l(R_1 - R_2) > \Delta C_l, S_m + f_m + d_m(R_1 - R_2) > C_m$ 且 $S_b + \Delta S_b + f_b + d_b(R_1 - R_2) > C_b - \Delta C_b$ 时为渐进稳定点;其他情况为不稳定状态

3 数值仿真分析

3.1 案例描述与参数赋值

为了更清晰地呈现医联网环境下跨域数据治理的三方主体策略演化稳定过程及相关因素影响,本文以“瑞金-卢湾”医联体作为案例进行数值仿真,以期为进一步实施“瑞金-卢湾”跨域数据治理提供理论参考.该案例中,牵头单位为上海交通大学医学院附属瑞金医院,成员单位包含瑞金医院卢湾分院、瑞金康复医院、香山中医医院 3 家二级医院,以及黄浦区打浦桥街道、五里桥街道、瑞金二路街道、南京东路街道和淮海中路街道的 5 家社区卫生服务中心.

基于文献研究、实际调研、等式平衡等方法对模型中参数进行赋值以确保合理性,选取瑞金医院、瑞金医院卢湾分院及打浦桥街道社区卫生服务中心作为三方主体部分参数取值依据,三家单位近五年(2020 年—2024 年)公开的单位年度总预算平均值为 1 031 456 万元、76 511.4 万元、15 996 万元.依据中国医院协会信息专业委员会发布的医院信息化状况调查报告中指出的三级医院平均信息化投入预算占年度总预算的比例为 1.01%,三级以下医院为 0.72%,可估算牵头单位、枢纽成员单位和基层成员单位的年均信息化投入分别为 10 417.71 万元、550.88 万元、115.17 万元.依据瑞金医院的数据治理现状,假设积极合作所投入的成本约占信息化投入的

10%,即 $C_l = 300, \Delta C_l = 700, C_m = 50, C_b = 10, \Delta C_b = 2$.

三方的初始合作意愿(即选择积极合作策略的概率)均设为中等水平即 $\alpha = \beta = \gamma = 0.5$. 跨域医疗健康数据治理合作初期的整体收益较低,即 $R_1 = 500, R_2 = 300$,依据三方成本投入比例设定收益分配比例 $d_l = 0.94, d_m = 0.05, d_b = 0.01$. 现有的数据治理政策以指导建议性质为主^[26],暂无经济投入的激励措施,设定 $S_l = 0, S_m = 0, S_b = 0, \Delta S_b = 0$. 考虑声誉机制在医疗健康领域普遍存在,相关参数初步设定较低水平即 $P_l = 100, f_m = 5, f_b = 1$. 基于上述参数的初始赋值,本文进一步对跨域医疗健康数据治理合作可能的实际情景调整参数赋值进行仿真与分析.

3.2 策略演化路径数值仿真与分析

3.2.1 系统稳定策略仿真验证

由前文表 3 可以看出三方演化博弈系统具有 6 个演化稳定点,分别是 $E_1(0,0,0), E_2(1,0,0), E_5(1,1,0), E_6(1,0,1), E_7(0,1,1), E_8(1,1,1)$. 其中, $E_2(1,0,0)$ 的条件中包含 $P_l > \Delta C_l$, 即牵头单位积极合作所得合作声誉收益大于其投入的额外成本,该条件在真实世界中通常难以实现;此外,牵头单位消极合作而成员单位积极合作即 $E_7(0,1,1)$ 时,治理合作因缺乏统筹与指导无法长期开展. 因此,考虑演化稳定点的实际意义,仅对 $E_1(0,0,0), E_5(1,1,0), E_6(1,0,1), E_8(1,1,1)$ 展开分析. 在跨域医疗健康数据治理合作的初期情景下,依据上述初始参数赋值,

绘制三方主体的演化趋势和均衡结果,如图 4(a)所示,系统策略稳定于 $E_1(0,0,0)$,即三方均趋于消极合作.随着合作推进数据治理规章制度逐步完善、治理水平持续提升,跨域医疗健康数据治理合作进入发展期,相较于合作初期所产生的整体收益提升,此时可能存在两种合作发展情景:

1) 声誉效应内驱型发展情景.在此情景下,合作声誉效应显著但政府配套激励政策尚未完善.牵头单位持续积累合作声誉实现收益递增,促使其更倾向积极合作策略,成员单位所面临的声誉风险亦同步增大.且由于枢纽成员单位在合作中具有关键的协调推进作用,当其选择消极合作时面临的声誉风险增幅相对更显著.相较于合作初期情景保持其他参数不变,令 $R_1 = 800$ 、 $R_2 = 600$ 、 $P_l = 400$ 、 $f_m = 40$ 、 $f_b = 2$,使满足 $E_5(1,1,0)$ 的演化稳定条件,演化路径如图 4(b)所示.

2) 政府激励外驱型发展情景.在此情景下,政府通过专项资金支持、医疗保险补助、运行经费补贴等系列政策工具实施合作激励,鉴于我国对基层医疗卫生机构的政策倾斜度较高,并考虑“虹吸效应”影响,基层成员单位所得政府激励幅度通常更高.相较于合作初期情景保持其他参数不变,令 $R_1 = 800$ 、 $R_2 = 600$ 、 $S_l = 600$ 、 $S_m = 30$ 、 $S_b = 10$ 、 $\Delta S_b = 2$,使满足 $E_6(1,0,1)$ 的演化稳定条件,演化路径如图 4(c)所示.

医疗健康协作场景中跨域医疗健康数据治理合作最为理想的情景为牵头单位、枢纽成员单位和基层成员单位均趋于选择积极合作策略,从而

形成合作的稳定可持续发展情景,即在声誉效益和政府激励双重影响下,令 $R_1 = 800$ 、 $R_2 = 600$ 、 $P_l = 400$ 、 $f_m = 40$ 、 $f_b = 2$ 、 $S_l = 600$ 、 $S_m = 30$ 、 $S_b = 10$ 、 $\Delta S_b = 2$ 时,使满足 $E_8(1,1,1)$ 的演化稳定条件,演化路径如图 4(d)所示.

此外,初始合作意愿(即积极合作的概率)是博弈动态系统的核心组成元素,任意一方初始合作意愿变化都可能对其他主体的决策行为产生影响.因此,本文进一步探究三方初始合作意愿对策略演化的影响,保持四类情景中其他参数不变,另设定 $\alpha = \beta = \gamma = [0.1 : 0.2 : 0.9]$,即三方主体的 5 种初始合作意愿水平(极低、较低、中等、较高、极高)进行数值仿真,如图 5 所示.

由图 5(a)可以看出,在跨域医疗健康数据治理合作初期情景初始合作意愿水平对演化系统稳定策略无显著影响,均稳定于 $E_1(0,0,0)$.进入合作发展期后初始合作意愿的影响开始显现.在声誉效应内驱型发展情景下,牵头单位和枢纽成员单位意愿均为中等水平及以上,且基层成员单位意愿均为较低水平及以上时,系统策略仍稳定于 $E_5(1,1,0)$,其他情况则稳定于 $E_1(0,0,0)$,如图 5(b)所示.在政府激励外驱型发展情景下,演化博弈系统的稳定策略主要受到基层成员单位的初始合作意愿影响,当其初始合作意愿低于中等水平时系统稳定策略由 $E_6(1,0,1)$ 转变为 $E_1(0,0,0)$,如图 5(c)所示.处于跨域医疗健康数据治理合作稳定可持续发展情景时,仅在牵头单位意愿低于中等水平且枢纽成员单位意愿极低时,系统策略才会稳定于 $E_1(0,0,0)$,其他情况均稳定于最为理想的均衡点 $E_8(1,1,1)$,如图 5(d)所示.

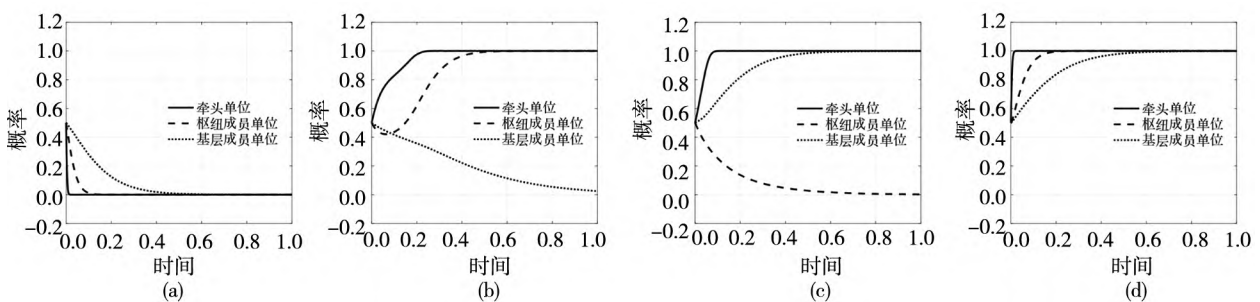


图 4 跨域医疗健康数据治理合作的三方演化博弈系统稳定策略

Fig. 4 Tripartite evolutionary game system stability strategy for cross-domain healthcare data governance cooperation

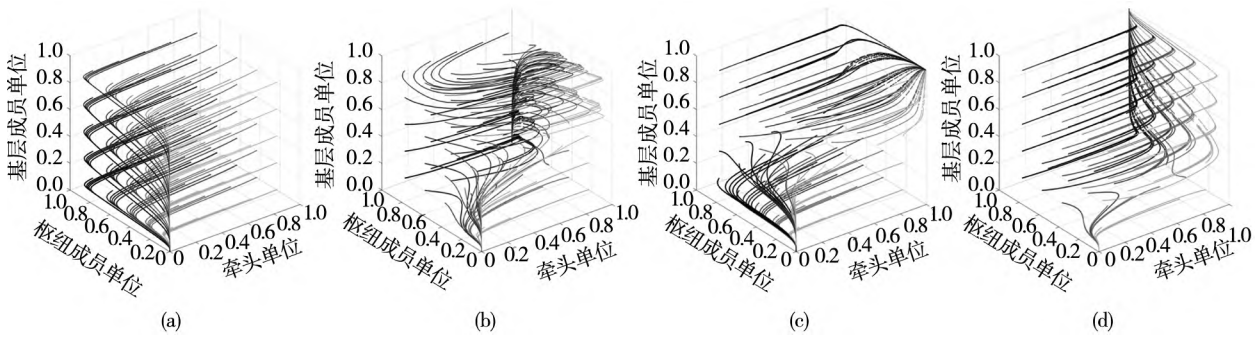


图5 三方初始合作意愿对演化博弈系统稳定策略的影响

Fig. 5 The influence of tripartite initial cooperation willingness on the stability strategy of evolutionary game system

3.2.2 参数灵敏度仿真分析

本文在验证不同边界条件下三方主体策略演化路径与系统稳定策略的基础上,进一步通过参数敏感度仿真分析揭示收益分配比例、声誉效应与政府激励对于医联网环境下跨域医疗健康数据治理合作策略演化的影响。

首先,分析数据治理整体收益分配比例对于博弈系统演化过程的影响,以跨域医疗健康数据治理合作初期情景为基础参数设置,保持其他参数不变,设置三组差异化收益分配比例参数:第一组 $d_l = 0.94$ 、 $d_m = 0.05$ 、 $d_b = 0.01$;第二组 $d_l = 0.88$ 、 $d_m = 0.10$ 、 $d_b = 0.02$;第三组 $d_l = 0.82$ 、 $d_m = 0.15$ 、 $d_b = 0.03$,仿真结果如图6所示。由图6可以看出,虽然在合作初期情景中收益分配比例向两方成员单位倾斜时并未改变最终的系统稳定策略 $E_1(0,0,0)$,但策略演化的收敛速度更为缓慢,这表明适度提高两方成员单位的整体经济收益比例可有效抑制三方主体选择消极合作策略的倾向,从而降低随时间发展跨域医疗健康数据治理合作解体的概率。

同理,基于相同基础参数设置保持其他参数不变,探究声誉效应和政府激励对于跨域医疗健康数据治理合作三方主体策略演化的影响。假设三组阶梯上升的声誉效应参数:第一组 $P_l = 100$ 、 $f_m = 5$ 、 $f_b = 1$;第二组 $P_l = 400$ 、 $f_m = 20$ 、 $f_b = 4$;第三组 $P_l = 700$ 、 $f_m = 35$ 、 $f_b = 7$ 。三组政府激励参数:第一组 $S_l = 300$ 、 $S_m = 15$ 、 $S_b = 5$ 、 $\Delta S_b = 1$;第二组 $S_l = 600$ 、 $S_m = 30$ 、 $S_b = 10$ 、 $\Delta S_b = 2$;第三组 $S_l = 900$ 、 $S_m = 45$ 、 $S_b = 15$ 、 $\Delta S_b = 3$,仿真结果如图7和图8所示。由图7可知,声誉效应强度提升可延缓消极合作策略的演化收敛,且对于牵头单位与基层成员单位影响较为显著,当声誉效益强度较高时牵头单位与基层成员单位策略趋于选择积极合作,系统稳定策略由稳定于 $E_1(0,0,0)$ 转变为稳定于 $E_6(1,0,1)$ 。图8表明,政府激励对于策略选择的影响与声誉效应基本一致,主要区别为政府激励提升至较高水平时枢纽成员单位策略选择呈现出先趋于消极合作而最终转变趋于积极合作的轨迹,系统稳定策略稳定点由 $E_1(0,0,0)$ 转变为 $E_8(1,1,1)$ 。

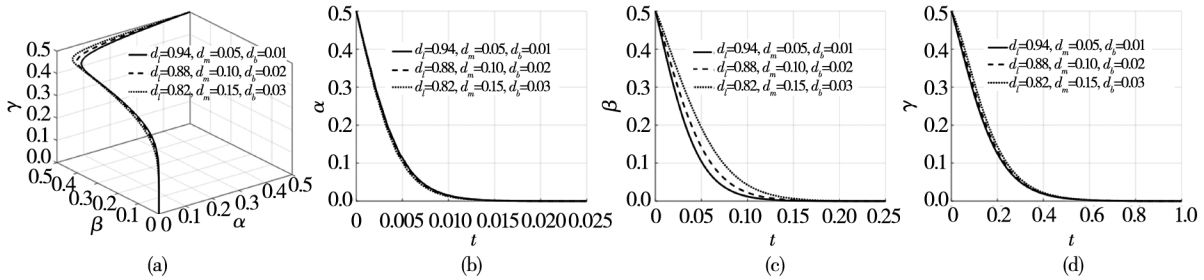


图6 收益分配比例对演化博弈系统稳定策略的影响

Fig. 6 The influence of profit-sharing ratio on the stability strategy of evolutionary game system

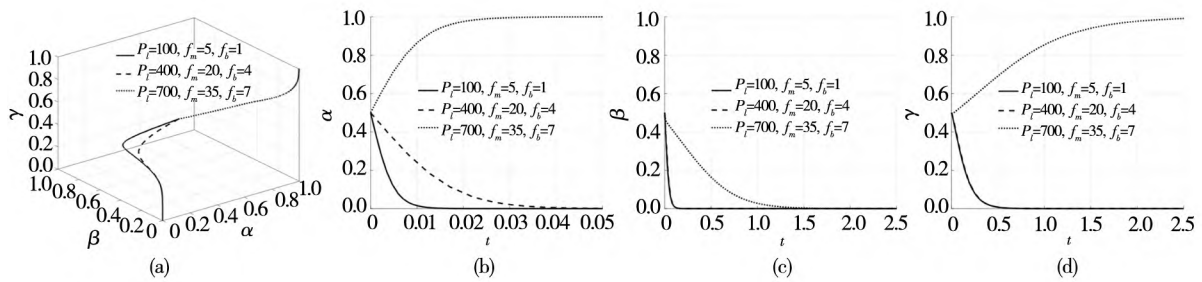


图 7 声誉效益强度对演化博弈系统稳定策略的影响

Fig. 7 The influence of reputation benefit intensity on the stability strategy of evolutionary game system

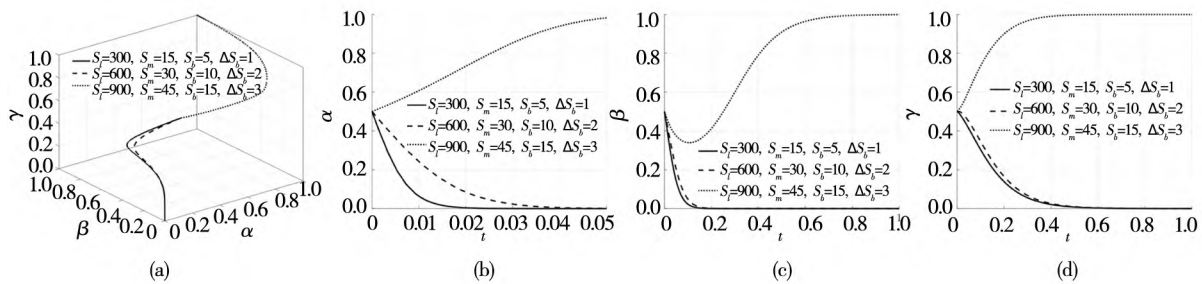


图 8 政府激励力度对演化博弈系统稳定策略的影响

Fig. 8 The influence of government incentive strength on the stability strategy of evolutionary game system

3.3 结论分析

综合以上数值仿真结果,仿真模型符合复制动态方程的稳定分析,由系统稳定策略仿真验证与参数灵敏度仿真分析可得出以下结论: 1) 跨域医疗健康数据治理合作中三方的初始合作意愿对系统稳定策略存在影响,且在合作发展期情景下基层成员单位的初始合作意愿显著影响系统策略演化结果; 2) 合作整体收益分配向成员单位倾斜可提升合作韧性,即使在整体收益水平较低的合作初期,仍能够减缓三方策略选择趋于消极合作的收敛速率; 3) 声誉效益强度同比例提升能促使牵头单位和基层成员单位的策略收敛于积极合作,结合系统稳定策略仿真表明促使枢纽成员单位趋于积极合作需额外增强其声誉风险约束; 4) 政府激励强度达到较高水平时三方策略选择均会趋于积极合作,当设定基层额外激励时即使激励强度较低仍可促使牵头单位和基层成员单位同时趋于积极合作。

因此,结合理论模型分析与数值仿真分析,本文提出如下建议: 1) 强化合作初始机制设计,在医联网建设启动阶段需构建合理的跨域数据治理合作形式与契约框架,确保参与主体具有较高初

始合作意愿水平; 2) 优化动态收益分配体系,牵头单位应引领创新数据治理的效益转化模式,并将收益分配比例向成员单位适度倾斜以保障合作稳定性; 3) 完善声誉效应约束机制,构建数据治理成效评估与监督问责制度,放大积极合作声誉积累与消极合作风险约束的影响效应; 4) 实施精准政府激励政策,各级卫生健康行政部门应持续加大专项资金支持、运行经费补贴等激励政策,并针对基层机构设定定向补贴以破解参与惰性。本文进一步结合上述分析结论与通用数据治理框架,引入行动设计研究(ADR)理论,提出医联网环境下动态循环的跨域医疗健康数据治理共性合作机制,为促进医联网环境下的智慧医疗健康实践模式演进提供理论参考。

4 共性合作机制设计

基于行动设计研究理论的阶段循环框架,将多方主体跨域医疗健康数据治理长期合作过程划分为四个阶段^[27]:“合作场景问题诊断”、“合作机制顶层设计与执行循环”、“反思与学习”、“成果提炼”,如图 9 所示。

在合作场景问题诊断阶段,由牵头单位联合成员单位系统性梳理分析场景及其现存数据治理问题。首先,从组织主体(如公立医院、基层医疗机构、疗养院等)、角色主体(如医护人员、技术人员、管理人员等)和资源主体(如药品、耗材、设备等)等维度对主体及其交互关系展开分析。其次,

重点梳理医疗健康协作业务中的流动数据,针对双向转诊、处方流转、多科会诊、检查检验互认等协作业务流程,厘清各环节涉及的数据类型与流转路径。最后,从认知、制度和技术视角诊断现存问题,例如数据治理措施认知共识不足、协作制度缺乏、技术支撑薄弱等典型问题。

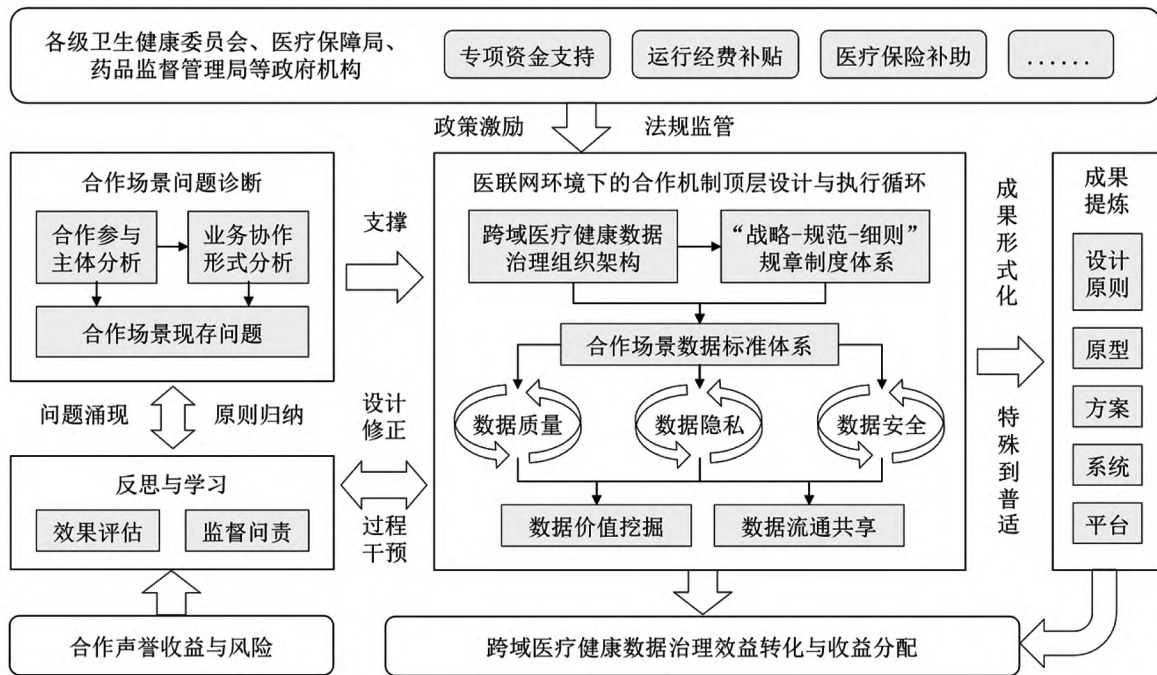


图9 医联网环境下的跨域医疗健康数据治理共性合作机制

Fig. 9 General-purpose cooperation mechanism of cross-domain healthcare data governance in the environment of IHS

跨域医疗健康数据治理合作机制顶层设计与执行循环建立在合作场景问题诊断的基础上。为保障组织主体间合作的高效与规范性,应从组织架构与规章制度体系两个维度进行合作机制顶层设计。组织架构应包含跨域医疗健康数据治理委员会、协调办公室、专项执行组等层级,其中需涵盖各单位主要负责人及业务部门与信息化部门负责人,界定各方在合作中的职能定位与权责。同时,建立“战略-规范-细则”三级规范制度体系,明确治理目标方向、标准流程及操作指引,为跨域医疗健康数据治理的多方可持续稳定合作构建规范化实施框架。

合作场景数据标准体系是后续治理执行循环开展的前提,构建时应考虑数据跨域特性并优先采用国家或行业标准,若无则等效采用国际标准。面向数据“采集、传输、存储、共享、分析、应用、销

毁”全流程构建数据质量、隐私和安全的治理执行循环,依据场景特点和治理环节选用适配技术并结合相应措施^[28]。通常数据隐私治理归于安全治理范畴,本文考虑医联网环境下医疗健康协作场景中数据隐私的重要性,将隐私提升至安全同级并列的独立治理范畴^[29]。

医疗健康数据价值挖掘是开展跨域医疗健康数据治理的核心目标。数据自身价值在于其信息富集性,通过质量治理执行循环改善数据准确性、完整性等多维度指标可提升其自身价值。而潜在价值蕴含于医疗健康数据的广泛应用场景中,应在数据隐私与安全治理前提下依托流通共享机制,推动药物研发、医保控费、运营决策、资源配置等场景的数据潜在价值挖掘^[30]。在此过程中,需要结合相关国家标准(如 GB/T 39725 - 2020 等)与场景特征,明确数据流通过程、开放共享形式、

关键环节风险等,并采取相应管控措施降低数据风险^[31]。此外,收益分配时利用 Shapley 值^[32]等方法确保分配的基本公平性,同时对合作中成员单位进行适度的收益分配倾斜。

跨域医疗健康数据治理共性合作机制是始于设计且在实践中反馈的演进过程,贯彻全周期的反思与学习是修正设计、干预过程以及应对问题涌现必要的环节。反思与学习面向治理效果评估和执行监督问责两方面,前者针对实施过程,运用业务术语表、数据治理 workflow 等工具评估治理效果;后者则聚焦执行人员,运用 RACI 矩阵等方法明确权责映射关系,及时发现问题行为并进行干预。通过呈现各方主体在合作中的贡献度与合规性,提升声誉效应影响幅度实现内部约束。成果提炼是对跨域医疗健康数据治理实践与理论的成果转化。一方面形成具有场景适配性的解决方案、系统、平台等实践成果;另一方面,则针对问题诊断、顶层设计、反思与学习阶段提炼具有领域普适性、可推广性的设计原则、系统原型等理论成果,为同类场景开展跨域医疗健康数据治理提供指导。

参 考 文 献:

- [1] 林徐勋, 王海燕. 在线健康信息服务动态定价与推广策略[J]. 管理科学学报, 2020, 23(11): 23-46.
Liu Xuxun, Wang Haiyan. Dynamic pricing and promotion strategy of online health information service[J]. Journal of Management Sciences in China, 2020, 23(11): 23-46. (in Chinese)
- [2] 余玉刚, 王耀刚, 江志斌, 等. 智慧健康医疗管理研究热点分析[J]. 管理科学学报, 2021, 24(8): 58-66.
Yu Yugang, Wang Yaogang, Jiang Zhibin, et al. Analysis of research hotspots of intelligent health care management[J]. Journal of Management Sciences in China, 2021, 24(8): 58-66. (in Chinese)
- [3] 中国国家标准化管理委员会. 信息技术服务-治理-第5部分: 数据治理规范: GB/T 34960.5-2018[M]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
Standardization Administration of the P. R. C. Information Technology Service; Governance; Part 5: Specification of Data Governance; GB/T 34960.5-2018[M]. Beijing: Standards Press of China, 2018. (in Chinese)
- [4] 陈国青, 任 明, 卫 强, 等. 数智赋能: 信息系统研究的新跃迁[J]. 管理世界, 2022, 38(1): 180-196.
Chen Guoqing, Ren Ming, Wei Qiang, et al. Data-intelligence empowerment: A new leap of information systems research [J]. Management World, 2022, 38(1): 180-196. (in Chinese)
- [5] Torabi F, Squires E, Orton C, et al. A common framework for health data governance standards[J]. Nature Medicine, 2024, (30): 26-29.
- [6] 杨善林, 丁 帅, 顾东晓, 等. 医联网: 新时代医疗健康模式变革与创新[J]. 管理科学学报, 2021, 24(10): 1-11.

5 结 束 语

跨域医疗健康数据治理是建立和发展医联网急需解决的首要问题。针对跨域数据治理多方可持续稳定合作问题,本文运用演化博弈理论对牵头单位、枢纽成员单位与基层成员单位三方策略演化路径及影响因素进行分析,并以“瑞金-卢湾”医联体为案例进行数值分析;结合研究结论与通用数据治理框架,引入行动设计研究理论构建了跨域医疗健康数据治理共性合作机制,为医联网实践提供理论参考。当前,我国正在大力推进国家区域医疗中心建设,未来研究可以重点关注该场景中输出医院、依托医院和当地政府等主体间的数据治理合作机制。此外,生成式人工智能等新兴技术在医疗健康数据治理领域的垂直应用也是重点研究方向,可以结合场景特性对医联网环境下的数据治理方法和技术迭代改进,探索更为智能可靠的数据标化集成、质量管控、隐私保护、安全共享、监管追溯等技术机制。

- Yang Shanlin, Ding Shuai, Gu Dongxiao, et al. Internet of healthcare systems (IHS): Revolution and innovations of healthcare management in the new era[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2021, 24(10): 1–11. (in Chinese)
- [7] Ayabakan S, Bardhan I R, Zheng Z. Impact of telehealth and process virtualization on healthcare utilization[J]. *Information Systems Research*, 2024, 35(1): 45–65.
- [8] 许 晖, 周 琪, 庄伟芬, 等. 服务重塑: 数字化如何弥合服务鸿沟? ——基于“互联网+”医疗健康的探索性案例研究[J]. *管理科学学报*, 2024, 27(7): 34–55.
- Xu Hui, Zhou Qi, Zhuang Weifen, et al. Service reshaping: How does digitalization bridge the service divide?: An exploratory case study based on “Internet +” healthcare[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2024, 27(7): 34–55. (in Chinese)
- [9] 封 进, 吕思诺, 王 贞. 医疗资源共享与患者就医选择——对我国医疗联合体建设的政策评估[J]. *管理世界*, 2022, 38(10): 144–157, 173, 158.
- Feng Jin, Lü Sinuo, Wang Zhen. Medical resource sharing and patients’ choice: Evaluation of the medical consortium construction policy in China[J]. *Management World*, 2022, 38(10): 144–157, 173, 158. (in Chinese)
- [10] 刘涛雄, 李若菲, 戎 珂. 基于生成场景的数据确权理论与分级授权[J]. *管理世界*, 2023, 39(2): 22–39.
- Liu Taoxiong, Li Ruofei, Rong Ke. The theory of data rights and the hierarchical authorization based on data generation scenarios[J]. *Management World*, 2023, 39(2): 22–39. (in Chinese)
- [11] 杨学成, 许紫媛. 从数据治理到数据共治——以英国开放数据研究所为案例的质性研究[J]. *管理评论*, 2020, 32(12): 307–319.
- Yang Xuecheng, Xu Ziyuan. From data governance to data co-governance: A qualitative study on the Open Data Institute[J]. *Management Review*, 2020, 32(12): 307–319. (in Chinese)
- [12] 彭珍珍, 顾 颖, 张 洁. 动态环境下联盟竞合、治理机制与创新绩效的关系研究[J]. *管理世界*, 2020, 36(3): 205–220, 235.
- Peng Zhenzhen, Gu Ying, Zhang Jie. Research on the relationship between alliance cooperation, governance mechanism and innovation performance under dynamic environment[J]. *Management World*, 2020, 36(3): 205–220, 235. (in Chinese)
- [13] Abraham R, Schneider J, vom Brocke J. Data governance: A conceptual framework, structured review, and research agenda[J]. *International Journal of Information Management*, 2019, (49): 424–438.
- [14] Thiebes S, Gao F, Briggs R O, et al. Design concerns for multiorganizational, multistakeholder collaboration: A study in the healthcare industry[J]. *Management Information Systems*, 2023, 40(1): 239–270.
- [15] 孙树学, 蒋晓庆, 李维昊, 等. 松散型医联体赋能基层医疗服务体系——组织竞合、政策激励与动态能力提升[J]. *公共管理学报*, 2021, 18(3): 139–151, 175.
- Sun Shuxue, Jiang Xiaoqing, Li Weihao, et al. Loose medical consortium empowers the primary medical service system: Organization competition and cooperation, policy incentive and promotion of dynamic capability[J]. *Journal of Public Management*, 2021, 18(3): 139–151, 175. (in Chinese)
- [16] Tian Z, Gurnani H, Xu Y. Collaboration in development of new drugs[J]. *Production and Operations Management*, 2021, 30(11): 3943–3966.
- [17] 杨 曼, 刘德海. 政府主导下应急医疗物资多元化供给的随机微分博弈模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2023, 43(5): 1333–1352.
- Yang Man, Liu Dehai. Stochastic differential game model of diversified supply of emergency medical supplies led by government[J]. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2023, 43(5): 1333–1352. (in Chinese)
- [18] 周晓阳, 李长长, 刘 莹, 等. 工业互联网平台、开发商与企业的三方协作演化策略——兼论政府补贴和收益共享的作用[J]. *中国管理科学*, 2024, 32(1): 276–287.

- Zhou Xiaoyang, Li Changchang, Liu Ying, et al. Tripartite cooperation evolutionary strategy of industrial internet platform, developer and enterprise: The role of government subsidies and revenue sharing[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2024, 32(1): 276 – 287. (in Chinese)
- [19] 孙国强, 谢雨菲. 区块链技术、供应链网络与数据共享: 基于演化博弈视角[J]. *中国管理科学*, 2023, 31(12): 149 – 162.
- Sun Guoqiang, Xie Yufei. Blockchain technology, supply chain networks and data sharing: Based on the perspective of evolutionary game[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2023, 31(12): 149 – 162. (in Chinese)
- [20] 王 俊, 王雪瑶. 中国整合型医疗卫生服务体系研究: 政策演变与理论机制[J]. *公共管理学报*, 2021, 18(3): 152 – 167, 176.
- Wang Jun, Wang Xueyao. Research on China's integration of health services: Policy evolution and theoretical mechanism[J]. *Journal of Public Management*, 2021, 18(3): 152 – 167, 176. (in Chinese)
- [21] 周文慧, 甘燕红, 戴睿琦. 紧密型与松散型医联体的下转效率对比研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2023, 43(3): 824 – 840.
- Zhou Wenhui, Gan Yanhong, Dai Ruiqi. Comparison of downstream referral under the subordination and subcontracting[J]. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2023, 43(3): 824 – 840. (in Chinese)
- [22] 朱静敏, 段 晖. 县域医共体何以实现卫生绩效? ——政策企业家、再组织化联盟与激励兼容[J]. *公共管理学报*, 2021, 18(3): 125 – 138, 174 – 175.
- Zhu Jingmin, Duan Hui. How can county medical community achieve health performance?: Policy entrepreneur, policy tools and incentive compatibility[J]. *Journal of Public Management*, 2021, 18(3): 125 – 138, 174 – 175. (in Chinese)
- [23] Honhon D, Hyndman K. Flexibility and reputation in repeated prisoner's dilemma games[J]. *Management Science*, 2020, 66(11): 4998 – 5014.
- [24] Xia C, Wang J, Perc M, et al. Reputation and reciprocity[J]. *Physics of Life Reviews*, 2023, (46): 8 – 45.
- [25] 胡春华, 陈 皖, 周艳菊, 等. 基于演化博弈的直播电商监管机制研究[J]. *管理科学学报*, 2023, 26(6): 126 – 141.
- Hu Chunhua, Chen Wan, Zhou Yanju. Regulation mechanism of live streaming e-commerce based on evolutionary game theory[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2023, 26(6): 126 – 141. (in Chinese)
- [26] 周 毅, 陈必坤, 马江华, 等. 基于文本量化分析的我国公共数据治理政策发展研究[J]. *情报学报*, 2023, 42(4): 436 – 452.
- Zhou Yi, Chen Bikun, Ma Jianghua, et al. Development of China's public data governance policy based on quantitative textual analysis[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2023, 42(4): 436 – 452. (in Chinese)
- [27] Sein M K, Henfridsson O, Purao S, et al. Action design research[J]. *MIS Quarterly*, 2011, 35(1): 37 – 56.
- [28] 安小米, 黄 婕, 许济沧, 等. 全景式大数据质量评估指标框架构建研究[J]. *管理科学学报*, 2023, 26(5): 138 – 153.
- An Xiaomi, Huang Jie, Xu Jicang, et al. Construction of panoramic big data quality evaluation indicator framework[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2023, 26(5): 138 – 153. (in Chinese)
- [29] Price W N, Cohen I G. Privacy in the age of medical big data[J]. *Nature Medicine*, 2019, 25(1): 37 – 43.
- [30] Zhang L, Wattal S, Pang M S. Does sharing make my data more insecure? An empirical study on health information exchange and data breaches[J]. *MIS Quarterly*, 2024, 48(3): 873 – 898.
- [31] 陈 纯, 任 奎, 杨小虎, 等. 区块链与科学数据治理[J]. *科学通报*, 2024, 69(9): 1137 – 1141.
- Chen Chun, Ren Kui, Yang Xiaohu, et al. Blockchain and scientific data governance[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2024, 69(9): 1137 – 1141. (in Chinese)

[32] Leng M, Luo C, Liang L. Multiplayer allocations in the presence of diminishing marginal contributions: Cooperative game analysis and applications in management science[J]. Management Science, 2021, 67(5): 2891–2903.

Cooperation mechanism for cross-domain healthcare data governance in the Internet of Healthcare Systems (IHS) environment

DING Shuai^{1, 2, 3}, *WANG Yi-fan*^{1*}, *WANG Hao*^{1, 2, 3}, *ZHU Li-feng*⁴, *FAN Xian-qun*⁵, *YANG Shan-lin*^{1, 2, 3}

1. School of Management, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
2. Key Laboratory of Process Optimization and Intelligent Decision-making, Ministry of Education, Hefei 230009, China;
3. Philosophy and Social Sciences Laboratory of Data Science and Smart Society Governance, Ministry of Education, Hefei 230009, China;
4. Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China;
5. Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China

Abstract: With the increasingly diversified healthcare service workflows and coalition scenarios in China, healthcare data is undergoing rapid expansion while demonstrating increasingly prominent cross-domain characteristics. Cross-domain healthcare data governance has emerged as an essential approach for maximizing data value and enhancing risk management. However, in the multi-party healthcare coalition scenarios, organizations are limited by factors such as divergent interests and differences in technological capabilities, thus encountering significant challenges in establishing sustainable and stable cooperation in cross-domain healthcare data governance. This paper focuses on the management dynamics of multi-party cooperation in the Internet of Healthcare Systems (IHS) environment, systematically summarizing healthcare coalition scenarios. It investigates the evolutionary processes and influencing factors of tripartite cooperative strategies in cross-domain healthcare data governance, with simulation analysis conducted through a case study of the Ruijin-Luwan healthcare consortium. Building on this foundation, a multi-scenario adaptable and dynamically iterative general-purpose cooperation mechanism is proposed based on Action Design Research (ADR) theory, providing theoretical insights for achieving sustainable and stable cooperation in cross-domain healthcare data governance in the IHS environment.

Key words: Internet of Healthcare Systems; healthcare cooperation; data governance; cooperation mechanism; evolutionary game