DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)08-0138-06

基于改进 RFID 的智慧医院架构研究

李 洺,牛 菁

(上海建工医院,上海 200083)

摘 要:为了解决医院部门之间信息共享存在实时性差等问题,本文基于射频识别技术,并引入改进麻雀搜索算法以及无线传感网络对其进行改进,构建了改进射频识别模型。随后,构建了基于该模型的智慧医院架构。将改进射频识别模型与其他模型进行对比实验,实验结果表明,该模型的覆盖率为100%,且在*S*100*m*10、*S*50*m*5、*W*100*m*10、*W*50*m*5四种实例下,该模型的适应度、干扰值和负载均衡等主要指标均优于对比模型。帕累托前沿对比显示,提出的模型在单位时间内找到的前沿个数最多,显著优于对比模型。智慧医院架构应用效果分析发现,使用后病人平均治疗时间从21.7 h缩短至8.6 h,医生治疗实时率从81.2%提升至92.7%,相较于使用前效率得到显著提升。上述结果表明,本文提出的改进射频识别模型和智慧医院架构能有效提升医院信息共享实时性和医疗服务质量。

关键词:RFID;智慧医院;SSA;WSN;信息共享;负载均衡

中图分类号:TP391.44;TN197 **文献标志码**:A **文章编号**:1003-7241(2026)08-0138-06

Research on smart hospital architecture based on improved RFID

Li Ming, Niu Jing

(Shanghai Construction Engineering Hospital, Shanghai 200083, China)

Abstract: In order to solve the problems of poor real-time performance in information sharing among hospital departments, this paper, based on radio frequency identification technology, introduces the improved sparrow search algorithm and wireless sensor network for improvement, and constructs an improved radio frequency identification model. Subsequently, a smart hospital architecture based on this model is constructed. Comparative experiments are conducted between the improved radio frequency identification model and other models. The experimental results show that the coverage rate of this model is 100%, and in four instances of *S*100*m*10, *S*50*m*5, *W*100*m*10, and *W*50*m*5, the main indicators such as fitness, interference value, and load balancing of this model are all superior to the comparison model. Pareto frontier comparison shows that the proposed model finds the most frontiers in a unit of time, which is significantly superior to the comparison model. The analysis of the application effect of the smart hospital architecture reveals that after its application, the average treatment time for patients has been shortened from 21.7 hours to 8.6 hours, and the real-time rate of doctors′ treatment has increased from 81.2% to 92.7%. Compared with before the application, the application effect is significantly improved. The above results indicate that the improved radio frequency identification model and the smart hospital architecture proposed in this paper can effectively improve the real-time performance of hospital information sharing and the quality of medical services.

Keywords: radio frequency identification; smart hospital; sparrow search algorithm; wireless sensor network; information sharing; load balancing

随着科技的快速发展,物联网(internet of things,IOT)与互联网等领域深度融合,被广泛应用于智慧城市等各个领域[1]。利用IOT构建智慧系统,为工作带来便利的同时也为消费者提供优质服务,已成为社会各个机构的重要手段。医院管理信息系统(hospital information system,HIS)是一种利用IOT建立的新兴技术平台,然而,目前许多医院虽然配备了HIS,但仍存在部门之间信息共享实时性差等问题[2]。寻找一种方法解决该问题对提高医院服务质量和医疗效率有着重要意义[3]。射频识别技术(radio frequency identification,RFID)是一种自动识别技术,其具有识别距离长和通信简单便捷等优势,被广泛应用于智慧医疗等领域[4]。然而,RFID网络往往会受到覆盖、干扰功率等问题影响导致信号传输效果太差[5]。不少国内外专家做了相关研究,但效果欠佳。国内如蒋诚智等[6]为了解决舰船网络安全性较低的问题,提出了一种抗穷举攻击改进RFID双向认证协议的方法,但提升效果太低。同时,胡玲等[7]为了探寻一种污染风险低和回收率高的消毒器械智能化物流系统,提出了一种基于RFID改进机械包的消毒器械智能化物流系统,将该系统与原系统进行对比实验分析,结果表明,该系统在原系统基础上效果有所提升,但提升幅度不高。此外,国外针对实验室货架上的红细胞单位损失率过高的问题,Da等[8]引进RFID技术对库存管

收稿日期:2024-11-16;**录用日期**:2024-12-17

基金项目:上海市科委科技攻关计划项目(03DZ12045)

作者简介:李 洺(1981—),男,副主任医师,研究方向为急危重症信息化。

引用本文:李洺,牛菁.基于改进RFID的智慧医院架构研究[J].自动化技术与应用,2026,45(8):138-143.(Li Ming, Niu Jing. Research on smart hospital architecture based on improved RFID[J]. Techniques of Automation and Applications,2026,45(8):138-143.)

理进行了改进,但效果不佳。另外,Nascimento 等[9]为了探索将 RFID 技术应用到医疗和医院服务中改善的可能性,提出了一种将带有芯片的 RFID 标签模型,将该模型进行了实验验证,结果表明该模型有效,但效率欠佳。以上结果表明目前应用于网络入侵检测的方式虽有一定作用,但仍效果欠佳。

因此,研究将无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)与 RFID 相结合,对 RFID 进行改进,然后引入麻雀搜索算法(sparrow search algorithm, SSA),并引入莱维飞行策略和精英反向策略对 SSA 进行改进后应用于改进 RFID,随后构建改进 RFID 模型。最后将改进 RFID 模型应用于智慧医院架构,构建基于改进 RFID 的智慧医院架构,旨在提高医院服务质量。此次研究的创新之处在于将 WSN 与 RFID 相结合,并将 SSA 进行改进并引入改进 RFID,期望该方法能够为提高 RFID 技术性能提供一定理论依据。

1 基于改进 RFID 的智慧医院研究

1.1 融合 WSN 和 RFID 的改进 RFID 设计

随着人们健康意识的提高,前往医院检查或就医人数激增。医院数据规模急剧扩大,目前医院常用的 HIS 因其存在信息实时性差等问题使得医院医疗效率和质量降低。因此,寻找一种方法提高其实时性具有重要意义。RFID 是一项利用射频信号通过空间耦合实现无接触信息传递并通过所传递的信息达到识别目的的技术[10]。其在智能识别领域受到广泛青睐[11]。RFID 系统的构成主要分为五部分,分别为读卡器、电子标签、中间件、天线和应用终端[12]。其通过将数据信息输入电子标签,并传输给读卡器,再由读卡器将数据传输给中间件。中间件采用算法对数据进行处理后传输给终端,终端进行显示、保存和更新信息。然而,RFID 存在自组网能力较差等缺陷。WSN 是大量静止或移动的传感器以自组织和多跳的方式构成的无线网络,目的是协作地探测、处理和传输网络覆盖区域内感知对象的监测信息,并报告给用户。其具有自组织能力强等优势,能较好地弥补 RFID 的缺陷[13]。因此研究引入 WSN,将其与 RFID 进行融合,对 RFID 进行改进。WSN 融合 RFID 结构如图 1 所示。

从图 1 可以看出,该改进方法的基本思想是将 RFID 的阅读器与 WSN 的路由射频发射器相连接,从而将信息转发给其他阅读器。首先将 RFID 阅读器和 WSN 节点相融合并将其定义为智能节点,该节点分别由 RFID 阅读器、射频收发器、传感器节点和控制器组成。然后,进行网络布置,网络布置是将 RFID 的标签和 WSN 的紫蜂节点相结合,设置合理的紫蜂网络结构,并利用 RFID 阅读器读取传感器采集的信息以及 RFID 电子标签采集的信息。当阅读器获取信息后将信息传输给 RFID 的中间件对信息进行处理。最后,进行终端网络布置,采用终端节点对其射频包括区域的电子标签信息进行读取,并通过路由器节点将信息传输给协调器节点,从而实现多跳网络传输。

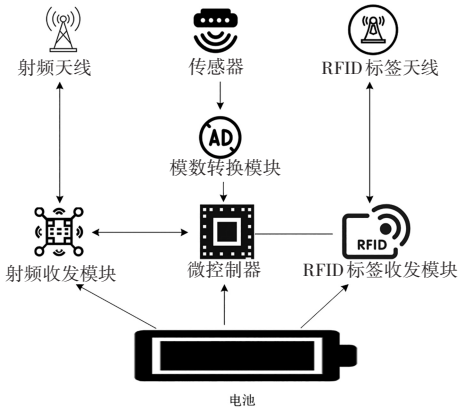


图 1 WSN 融合 RFID

Fig. 1 WSN fusion RFID

1.2 融入改进 SSA 的 RFID 模型构建

由于 RFID 的网络会受到覆盖和干扰功率等影响,存在信号传输效果太差的问题。SSA 是一种模仿麻雀觅食行为和反捕食行为的群体智能优化算法。其具有收敛速度快和精度高等优点,被广泛应用于优化问题上[14]。然而,SSA 算法具有容易过早收敛陷入局部最优解的缺陷[15]。莱维飞行策略是一种随机行为策略,用于模拟随机游走或搜索过程中的步长和方向[16]。其具有能在搜索中跳出局部最优解,提高全局搜索能力的特性,能较好地弥补 SSA 算法的缺陷。莱维飞行策略的函数 Levy(ξ) 计算公式为

$$\mathrm{Levy}(\xi)=0.01\times\frac{r_1\times\sigma}{|r_2|^{\frac{1}{\xi}}} \tag{1}$$

式中,r_1 和 r_2 为随机数,ξ 为参数,σ 为取值参数其计算公式为

$$\sigma=\xi\sqrt{\frac{\Gamma(1+\xi)\cdot\sin(0.5\pi\xi)}{\Gamma(0.5+0.5\xi)\xi\cdot 2^{(0.5\xi-0.5)}}} \tag{2}$$

式中,Γ 为伽马函数。将式(2)引入 SSA 算法的加入者位置更新进行改进,得到改进公式为

$$x_{i,d}^{t+1}=\begin{cases}Q\cdot\exp\left(\dfrac{x_w-x_{i,d}^t}{i^2}\right), i>\dfrac{n}{2}\\ x_{i,d}^t+x_{i,d}^t\cdot\mathrm{Levy}(\xi), i\leqslant\dfrac{n}{2}\end{cases} \tag{3}$$

式中,d 为维度索引,$d=1,2,\cdots,D$,其中 D 为维度总数,Q 为随机数,t 为当前迭代次数;i 为麻雀个体编号,w 为最优个体,n 为种群数量。

由此弥补了 SSA 算法容易陷入局部最优解的缺陷。此外,研究引入精英反向策略来提高算法解的质量。精英反向策略是一种优化算法中的策略,旨在通过利用精英个体的信息来指导搜索过程,以提高算法的搜索效率和收敛精度,被广泛应用于参数优化等问题[17]。精英反向策略共有三个概念,首先是反向点,假定麻雀初始位置 $x=(x_1,x_2,\cdots,x_n)$ 所在位置为空间 d 上的点,且 $x_1,x_2,\cdots,x_n\in R$,$x_i\in[\mathrm{lb},\mathrm{ub}]$,lb 为取值范围中的最小值,ub 为取值范围中的最大值,则对应麻雀初始位置的反向点为 $x'=(x_1',x_2',$

$\cdots, x_D^{'})$，得到反向点的定义，其计算公式为

$$x_i^{'} = \mathrm{ub} + \mathrm{lb} - x_i \tag{4}$$

然后是精英群种，其计算表达式为

$$\{N_1(t), N_2(t), \cdots, N_p(t)\} \in \{x_1(t).x_2(t), \cdots, x_n(t)\} \tag{5}$$

式中，$N_i(t)$ 为精英个体，p 为精英群体，n 为总数。最后是精英反向解，其计算表达式为

$$x_{i,d}^{*}(t) = k(a_d(t) + b_d(t)) - x_{i,d}(t) \tag{6}$$

式中，k 为随机数且 $k \in (0,1)$，$x_{i,d}^{*}(t)$ 为精英反向解，$x_{i,d}$ 为精英个体，$a_d(t)$ 为 $a_d(t) = \min(N_{1,d}(t), \cdots, N_{p,d}(t))$，$b_d(t)$ 为 $b_d(t) = \min(Q_{1,d}(t), \cdots Q_{p,d}(t))$。基于以上内容，完成对 SSA 算法的改进，得到改进 SSA 算法。改进 SSA 算法的流程如图 2 所示。

从图 2 可以看出，该算法流程为首先进行初始化操作，其初始化采用精英反向学习生成反向种群，并从原始种群中和反向种群中选择最佳的一半组成新的种群。然后，发现者位置进行更新，同时对加入者和警戒者位置进行更新。最后，将所有位置更新后计算适应度值并根据适应度值进行排序，判断是否满足条件如果是则输出结果，反之进入上一步。

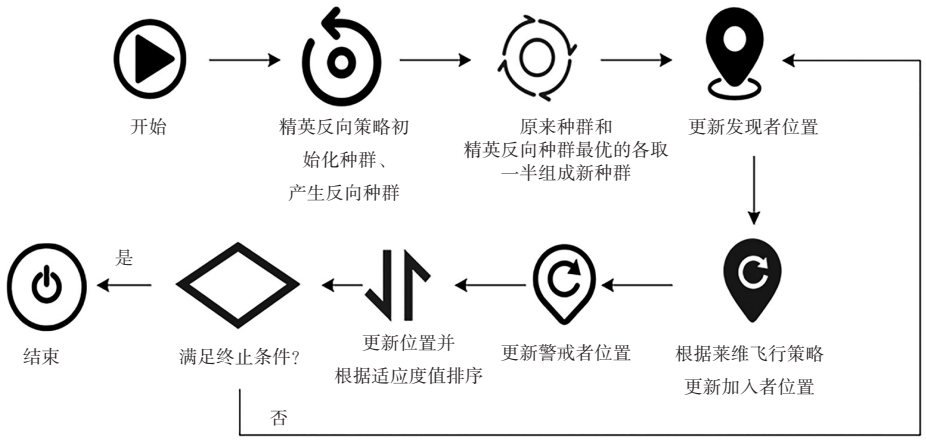


图 2 改进 SSA 算法流程

Fig. 2 Flow of improved SSA algorithm

基于此研究采用改进 SSA 算法对 RFID 网络进行优化。具体步骤首先，将读卡器、标签和天线等设备在使用区域内进行布置。其次，将 SSA 算法的参数和麻雀种群位置等进行初始化，其中麻雀的位置代表阅读器的位置。接着，采用精英反向学习生成反向种群，将其与原来初始化产生的种群的适应度值求出后进行排序。并根据适应度值从原始种群中和反向种群的适应度值，各自选择最佳的一半组成新的种群。紧接着，采用改进 SSA 算法的位置更新公式更新读卡器位置。随后，将新位置的适应度进行计算和排序后选取最优适应度值作为最优解位置，并将读卡器布置在此处，从而通过计算得出每一个优化目标结果，这些结果即为 RFID 的优化布置结果。最后，如果迭代结束或已找到最优解，则停止迭代输出结果。反之重新更新读卡器位置。最终，研究在两次改进 RIFD 模型的基础上，构建基于改进 RFID 的智慧医院架构。该智慧医院的架构如图 3 所示。

由图 3 可以看出该架构由感知层、网络层和应用层构成。其中感知层由接入子层和数据采集层组成，数据采集层通过将 RFID 的电子标签贴在医院医疗人员、病人和物品上，将其作为 WSN 的网络节点。其中病人采用具有其身份和诊疗等信息的就诊卡或者 RFID 手腕标签，从而实现实时监测。设备和建筑内采用互联网节点实现监控。接入子层是根据不同部门情况采用不同网络接入方式进行。网络层由应用平台和网络传输平台构成，其中网络传输平台主要采用局域网、移动通信网络等多种方式融合。应用平台则采用统一的数据库、数据存储方式等，便于病人、医疗人员等通过接口获取。应用层是由医院信息化应用、管理决策和社会化信息服务构成。其中信息化应用包括门诊和设备等管理的信息化。管理决策包括病人基本信息、就诊分析和科室分析等。社会化信息服务通过 RFID 的电子标签和 WSN 网络对病人所有信息进行实时采集和更新，并上传到云数据库，医护人员需要了解病人信息时通过云模型获取。

2 改进 RFID 及智慧医院性能分析

2.1 改进 RFID 的性能分析

为了验证研究提出的改进 RFID 模型(模型 1)的性能优越性，将其与基于 MA 的 RFID 模型(模型 2)、基于 GWO 的 RFID 模型(模型 2)进行对比实验，实验指标以适应度、覆盖率、干扰值、负载均衡和帕累托前沿为指标。各模型覆盖率对比结果如图 4 所示。

从图 4(a)可以看出，模型 1 将所有标签覆盖，覆盖率为 100%，其覆盖效果最好。从图 4(b)可以得知，模型 2 有 12 个标签未被覆盖，其覆盖率为 87.9%。由图 4(c)可得，模型 3 共有 15 个标签未被覆盖，其覆盖率为 84.8%。上述结果表明，研究提出的模型 1 在覆盖效果上显著优于对比模型。将各模型与文献[7]、文献[9]所提模型在 10 个阅读器和 5 个阅读器分别以随机分布 100 个和集群分布 50 个两种方式，进行标签设置的适应度、干扰值和负载均衡对比结果如表 1 所示。

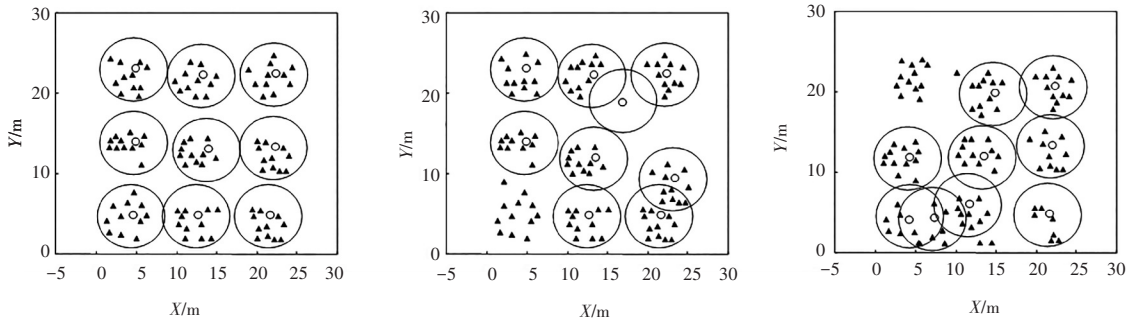


(a) 应用层　　(b) 网络层

(c) 感知层

图 3　智慧医院架构

Fig. 3　Architecture of smart hospital



(a) 模型 1　　(b) 模型 2　　(c) 模型 3

图 4　各模型覆盖率对比结果

Fig. 4　Comparison results of coverage of each model

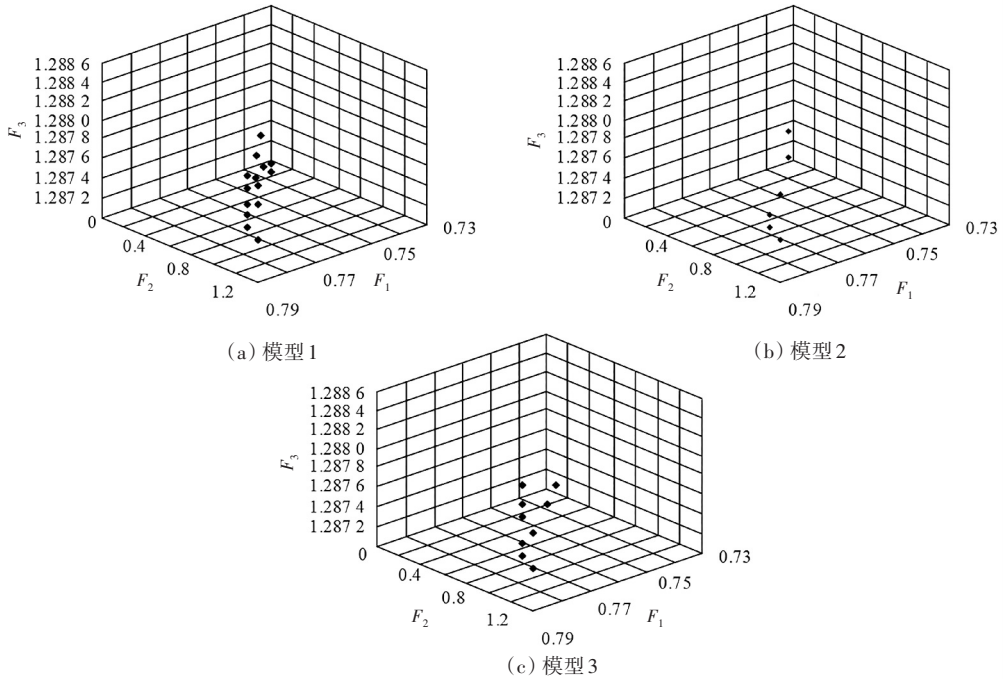
表 1 中 S 表示随机分布，W 表示集群分布，m 为阅读器个数。由表 1 可以看出，研究提出的模型 1 分别在 $S100m10$ 和 $S50m5$ 中，其适应度值分别为 93.1% 和 94.6%，干扰值分别为 98.7% 和 1，负载均衡分别为 3.2×10^{-10} 和 1.2×10^{-6}，均优于对比模型。研究提出的模型 1 在 $W100m10$ 中适应度值为 93.6%，干扰值为 96.9%，负载均衡为 1.1×10^{-10}，均优于模型 2、模型 3、文献[7]、文献[9]。此外，在 $W50m5$ 对比中研究提出的模型 1 的适应度值、干扰值和负载均衡分别为 96.8%，98.7% 和 1.9×10^{-6}，显著优于模型 2、模型 3、文献[7]、文献[9]。其中，模型 1 优于文献[7]、文献[9]的原因在于不仅将 WSN 与 RFID 相结合改进了 WSN 网络，而且引入改进 SSA 算法对 RFID 计算能力进行了改进，不仅解决了 RFID 自组网能力差等缺陷还提高了读卡器位置解的质量。上述结果表明研究提出的模型 1，从适应度、干扰制和负载均衡维度上看显著优于对比模型。设置 50 个标签，各模型的帕累托前沿对比结果如图 5 所示。

图 5 中，F_1、F_2、F_3 分别表示移位旋转弯曲雪茄函数、移位旋转 Zakharov 函数和移位旋转 Rastrigin 函数的归一化目标函数值，用于评估各模型在多目标优化问题中的收敛性能和分布特性。从图 5 可以看出研究提出的模型 1 在单位时间内找到的帕累托前沿个数最多，显著高于模型 2 和模型 3 的帕累托前沿个数。该结果表明研究提出的模型 1 从帕累托前沿维度来看其性能显著优于对比模型，具有较高的鲁棒性。综合上述结果，从适应度、干扰值、负载均衡和覆盖率维度来看，研究提出的模型显著优于对比模型，具有有效性。

表1 各模型的适应度、干扰值和负载均衡对比结果

Tab. 1 Comparison results of fitness、interference values and load balancing for each model

实例	模型	适应度/%	干扰/%	负载均衡
*S*100*m*10	模型1	93.1	98.7	3.2×10^{-10}
	模型2	87.2	93.9	7.5×10^{-10}
	模型3	76.3	92.6	9.4×10^{-10}
	文献[7]	86.7	91.7	9.1×10^{-10}
	文献[9]	90.3	89.2	5.7×10^{-10}
*S*50*m*5	模型1	94.6	1	1.2×10^{-6}
	模型2	79.8	98.1	5.6×10^{-4}
	模型3	88.2	96.2	1.3×10^{-5}
	文献[7]	89.3	99.1	2.6×10^{-5}
	文献[9]	87.6	92.7	4.6×10^{-6}
*W*100*m*10	模型1	97.1	96.9	1.1×10^{-10}
	模型2	93.6	88.2	2.6×10^{-10}
	模型3	92.1	94.6	8.1×10^{-9}
	文献[7]	88.3	93.2	7.3×10^{-9}
	文献[9]	78.9	94.1	6.7×10^{-10}
*W*50*m*5	模型1	96.8	1	1.9×10^{-6}
	模型2	89.9	98.7	8.1×10^{-6}
	模型3	92.6	95	6.3×10^{-5}
	文献[7]	87.2	93.2	4.2×10^{-5}
	文献[9]	91.6	94.7	5.2×10^{-6}



(a) 模型1 (b) 模型2

(c) 模型3

图5 各模型的帕累托前沿对比结果

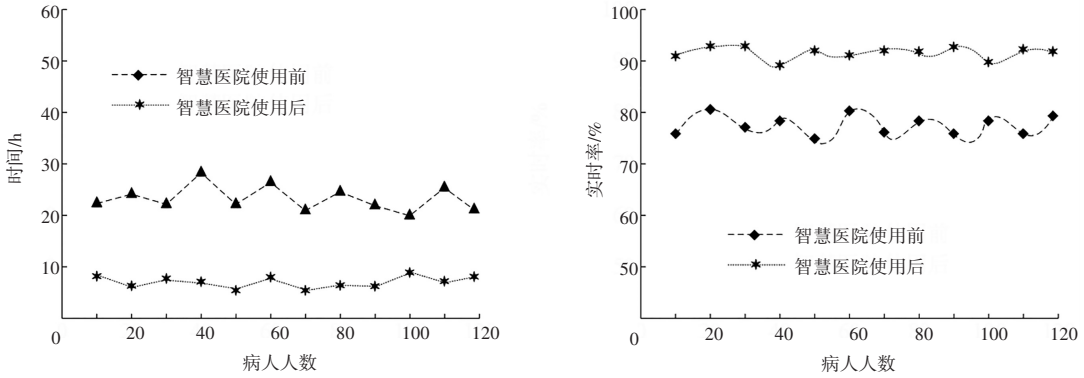
Fig. 5 Comparison results of pareto frontiers for each model

2.2 智慧医院架构应用效果分析

为了验证研究提出的智慧医院架构应用效果,将其在某医院进行试用,选择200个有相同症状的患者分成两组,每组100个人进行应用效果对比分析,对比指标为智慧医院应用前后病人从挂号到诊断结束的医疗时间,以及使用前后医生对病人治疗的实时率。智慧医院使用前后病人治疗时间和实时率结果如图6所示。

从图6(a)可以看出,在智慧医院使用前病人平均治

疗时间为 21.7 h,智慧医院使用后病人平均治疗时间为 8.6 h。由图 6(b)可以看出智慧医院使用前和使用后医生治疗的平均实时率分别为 81.2%和 92.7%。上述结果表明研究提出的智慧医院拥有良好的实用性。



(a) 治疗时间对比结果　　(b) 实时率对比结果

图 6　病人治疗时间和医生治疗实时率对比结果

Fig. 6　Comparison results of patient treatment time and doctor treatment real-time rate

3　结论

针对目前医院存在部门之间信息共享实时性差等问题,研究应用 RFID 技术,为了提高 RFID 的性能,将 WSN 与 RFID 相结合,由此构建了改进 RFID。为了解决 RFID 网络往往会受到覆盖等导致信号传输效果太差的问题,将 SSA 算法改进后引入改进 RFID,构建改进 RFID 模型。随后,基于该模型,构建了基于改进 RFID 的智慧医疗架构。研究将改进 RFID 模型与基于 MA 的 RFID 模型和基于 GWO 的 RFID 模型进行性能对比实验,在覆盖率对比实验中改进 RFID 模型、MA 模型和 GWO 模型的覆盖率分别为 100%、87.9%、84.8%。在适应度、干扰值和负载均衡对比实验中,研究提出的 RFID 模型在 $S100m10$ 和 $S50m5$ 两种布置方式中,其适应度值分别为 93.1%和 94.6%,干扰值分别为 98.7%和 1,负载均衡分别为 3.2×10^{-10} 和 1.2×10^{-6}。上述结果表明,研究提出的 RFID 模型显著优于对比模型,有效性好。此外,将基于改进 RFID 的智慧医疗架构进行应用效果分析,结果表明,架构大大缩短了病人诊疗时间。该结果表明研究提出的智慧医疗架构具有实用性。此次研究的不足之处在于,真实环境中用户的需求更多更复杂,智慧医院的建设应该征询用户需求来制定,此为研究的进一步方向。

参考文献

[1]张迁礼,邓广龙,李喜东,等. 智能多云流量计算机装置平台设计研究[J]. 自动化技术与应用,2024,43(11):213-216.
[2]田鸣,廖万里,傅良华. 基于人工智能视域下的医院后勤信息化管理风险控制[J]. 自动化技术与应用,2025,44(8):120-125.
[3]黄丰. 杭州至海宁城际铁路轨道医院智能运维平台的探索与实践[J]. 城市轨道交通研究,2024,27(1):234-238.
[4]韦进文,谭龙明,郭志俊,等. 基于单天线视轴信号传播模型的 RFID 定位方法[J]. 电子测量技术,2024,47(6):8-13.
[5]李天松,李奕霖,卢相志. 基于改进灰狼优化算法的射频识别室内定位算法[J]. 电子测量技术,2024,46(18):85-91.
[6]蒋诚智,徐浩,黄传峰. 抗穷举攻击改进 RFID 双向认证协议舰船网络安全研究[J]. 舰船科学技术,2023,45(14):172-175.
[7]胡玲,韦洋,涂小峰,等. 基于器械包改进的消毒器械物流系统智能优化研究[J]. 包装工程,2023,44(5):230-237.
[8]Da Souza A T,Flores J,Millendez L,et al. Radiofrequency identification tracking system (RFID) significantly improves blood bank inventory management and decreases staff work effort[J]. Transfusion,2024,64(4):578-584.
[9]Nascimento L C S,Pinheiro A S,Vieira E G S,et al. Modeling and simulation of a radio frequency identification (RFID) tag for hospital applications[J]. Brazilian Journal of Development,2024,10(1):1310-1323.
[10]罗玲玲. RFID 技术在船舶物资储运识别中的应用[J]. 舰船科学技术,2023,45(24):184-187.
[11]刘斐然,徐栋,田云峰,等. 射频识别技术在城市轨道交通车辆检修专业信息化建设中的应用[J]. 城市轨道交通研究,2023,26(10):148-152.
[12]陈海宁,沈洁,马福龙,等. 基于射频识别技术的电能质量计量评估模型[J]. 电子测量与仪器学报,2023,34(6):25-31.
[13]胡宗升,邢凯,许静. 基于超越数论的无线传感器网络时空编码方法[J]. 计算机工程,2023,49(9):172-182.
[14]朱莉,汪小豪,李豪,等. 不平衡样本下基于变异麻雀搜索算法和改进 SMOTE 的变压器故障诊断方法[J]. 高电压技术,2023,49(12):4993-5001.
[15]刘耿耿,张丽媛,刘笛,等. 求解复杂约束优化问题的多策略混合麻雀搜索算法[J]. 控制与决策,2023,38(12):3336-3344.
[16]高昊,张庆科,卜降龙,等. 基于协同变异与莱维飞行策略的教与学优化算法及其应用[J]. 计算机应用,2023,43(5):1355-1364.
[17]王雨虹,王志中,付华,等. 多策略改进麻雀算法与 BiLSTM 的变压器故障诊断研究[J]. 仪器仪表学报,2023,43(3):87-97.