

# 基于 SOA 的医院设备控制系统设计

钱顺鑫, 胡晓峰, 张之晨

(复旦大学附属华山医院 北院装备科, 上海 201907)

**摘要:** SOA 作为一种非常流行的系统架构设计思想, 在各个领域的系统设计中得到了广泛使用; 研究对象是一套基于 SOA 开发的医院设备控制系统; 该设备控制系统具备了医疗设备实时监控功能, 历史设备使用信息、状态信息、维护信息等的可视化展示功能, 以及对医院全部设备的实时监控功能; 该系统采用基于 web service 技术实现 SOA 架构思想, 通过分布式的架构设计方法实现了对系统内部功能模块之间复杂逻辑关系的服务治理; 此外, 为解决医疗设备控制中关键的设备状态感知和故障预警问题, 研究设计了一个基于 actor-critic 强化学习算法的设备状态感知和故障预警算法, 实验表明, 经过多轮迭代, 该算法的预测准确率高达 97.9%, 可以有效实现对医疗设备的状态感知和故障预警; 经过对系统的部署、测试和验证, 证明了该系统可以有效完成项目开始之初设定的功能性和非功能性需求, 可以有效承担医院医疗设备管理的任务。

**关键词:** SOA; web service; 医院设备控制系统; 强化学习; actor-critic 算法

## Design of Hospital Equipment Control System Based on SOA

QIAN Shunxin, HU Xiaofeng, ZHANG Zhichen

(Department of Equipment, Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 201907, China)

**Abstract:** As a very popular system architecture design idea, service oriented architecture (SOA) is widely applied in various system designs. The research object is an SOA-based hospital equipment control system. The equipment control system has the real-time monitoring of medical equipment, visual display of historical equipment use information, status information, maintenance information, and real-time monitoring of all equipment in the hospital. The system uses web service technology to realize the SOA architecture idea, and realizes the service governance of complex logical relationships between internal function modules through the distributed architecture design method. In addition, in order to solve the key equipment state perception and fault early warning in medical equipment control, a device state perception and fault early warning algorithm based on actor-critic reinforcement learning algorithm is researched and designed. Experiments show that after multiple iterations, the prediction accuracy of the algorithm reaches up to 97.9%. The algorithm can effectively realize the state perception and fault warning of medical equipment. After the deployment, testing and verification of the system, it can effectively complete the requirements of set functions and non-functions at the beginning of the project and undertake the tasks of hospital medical equipment management.

**Keywords:** SOA; web service; hospital equipment control system; reinforcement learning; actor-critic algorithms

## 0 引言

SOA (Service Oriented Architecture, 全称面向服务的架构) 是一种非常流行的系统架构设计思想。SOA 架构是伴随着软件工程的高度复杂化而产生的。随着软件逻辑复杂程度逐渐提升, 原有的面向对象技术已不足以支撑软件的架构设计。SOA 作为一种全新的、离散的、松耦合 (Loose Coupling) 的架构逐渐得到推广使用。SOA 架构将原有的复杂模块间关系梳理为一种星形结构, 用一条服务总线将所有被拆分的独立的服务串联在一起, 对外提供服务。作为一种抽象的架构设计思想, 其具体的实现方式有 web service、企业服务总线、服务注册表等等。

目前, 在医院系统设计的实践中, SOA 架构得到了广泛的使用。在总体架构设计方面, 目前主要的 SOA 应用案例有厦门市妇幼保健院<sup>[1]</sup>通过 SOA 接口提供服务和标准化

的数据供第三方调用, 实现了信息共享、业务集成、统一服务; 广东省中山市人民医院<sup>[2]</sup>构建了一个基于 SOA 的云平台, 该平台能够提高各个子功能的集成通信能力, 进一步提高了统交互能力和界面操作友好性; 江苏泰州市人民医院<sup>[3]</sup>近年来在信息系统区域架构设计中逐渐将 SOA 架构引入, 极大程度上推动信息系统应用水平的提高; 江苏省第二中医院<sup>[4]</sup>通过 SOA 架构理念, 对信息数据进行共享, 推动了数据的跨平台建设, 从而推动了医院信息系统一体化发展; 湖南省儿童医院<sup>[5]</sup>设计并实现基于 SOA 架构的医院号源池共享平台, 解决了多渠道挂号预约应用的互联互通、协同服务问题。武汉大学中南医院<sup>[6]</sup>通过 SOA 架构服务管理平台, 实现了临床信息系统的数据交互共享; 广州军区广州总医院<sup>[7]</sup>基于 SOA 架构的医院收费系统实现了不同结算类型的一体化集成。

收稿日期: 2023-01-06; 修回日期: 2023-08-17。

作者简介: 钱顺鑫(1991-), 男, 大学本科, 实习研究员。

通讯作者: 张之晨(1992-), 男, 大学本科。

引用格式: 钱顺鑫, 胡晓峰, 张之晨. 基于 SOA 的医院设备控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(7): 92-97.

此外, 还有一些医疗机构基于 SOA 提出了一些设计思想和模式, 如济宁市第一人民医院<sup>[8]</sup>梳理医院的日常设备管理工作流程, 并对相关角色的逻辑架构进行分析, 研究了医院医疗设备管理的相关数据映射模式, 设计了一种可被医院大数据系统支持的医院医疗设备管理系统架构模型。青岛市第六人民医院<sup>[9]</sup>基于 SOA 架构, 把相互独立的业务管理系统进行整合, 解决了医院信息管理系统之间的“信息孤岛”问题, 实现数据资源共享与信息服务; 马鞍山市市立医疗集团<sup>[10]</sup>采用面向服务的分析和设计 (SOMA) 方法, 制定数据规范和接口规范, 对各业务系统进行服务发现、服务规约和服务实现, 并建立了 SOA 集成服务平台, 实现公共编码、身份认证、病人统一视图等公共服务管理;

除了前述这些工程实践之外, 还有一些地区的医院进行了探索性的创新应用尝试。如山东潍坊市益都中心医院<sup>[11]</sup>提出了大数据机器学习和数据分析算法, 并融入 SOA 架构中, 以此保证系统的非功能性需求; 武汉市中心医院<sup>[12]</sup>将事件驱动机制融入 SOA 架构, 并且证明了此集成平台的应用可在保护原有系统投资的基础上实现敏捷高效集成; 广东清远市人民医院<sup>[13]</sup>设计实现了基于 SOA 架构的医院应用服务总线集成平台。

还有一些机构对这一问题进行了回顾性和理论性的研究, 如安徽省蚌埠医学院第一附属医院<sup>[14]</sup>对基于 SOA 的医院信息管理平台的设计与实现工作进行了细致的分析和研究。

综合目前的研究进展可以看出, 目前基于 SOA 的医院系统架构方案, 主要优点是松耦合的架构使得医疗系统得以灵活扩展, 标准化的对接方式, 使得医疗系统的扩展工作效率较高; 主要缺点是大部分医院设备控制系统只具备基本的信息管理功能, 如管理设备的名称、类型、入库时间、运行状态等, 而对于运行设备的实时状态监控, 日常巡检信息, 运维费用等更加细致的管理控制就显得不够深入。究其原因, 在于目前的医院设备控制系统缺乏更加复杂的功能设计。而为了集成更多功能, 系统的架构必须进一步优化, 系统的功能模块必须进一步升级。

该研究所述的系统是某综合性三甲医院开发的一套基于 SOA 架构的医院设备控制系统, 该系统在架构层面实现了对复杂业务逻辑的有效治理, 在关键的医疗设备管理模块中利用 actor-critic 强化学习算法实现了对医疗设备的状态感知和故障预警功能。随着旧系统逐渐无法适应越来越复杂的应用场景而被下线, 新系统的上线为医院设备控制工作提供了有力的支撑。

## 1 SOA 基本原理

SOA 的设计思想主要包含 5 点。1) 服务接口设计的标准化; 2) 服务间的独立性; 3) 服务的粗粒度; 4) 服务间的松耦合; 5) 具有服务间互操作性和兼容性的声明。

SOA 架构思想的具体实现方式主要有 web service (又称 web 服务)、企业服务总线 ESB (Enterprise Service Bus) 和服务注册表 (Service Registry) 3 种方式。

SOA 架构的重要基础技术包括 UDDI (Universal Description Discovery and Integration, 统一描述、发现和集成)<sup>[15]</sup>、WSDL (Web Service Description Language, Web 服务发现语言)<sup>[16]</sup>、SOAP (Simple Object Access Protocol, 简单对象访问协议)<sup>[17]</sup>和 REST (Representational State Transfer, 表达性状态转移)<sup>[18]</sup>等。而这些技术的基础均为 XML (Extensible Markup Language, 可扩展标记语言)<sup>[19]</sup>技术。

其中, UDDI 提供了一套统一的服务定位、查找和发布的方法。WSDL 是一种基于 xml 语言对服务功能进行描述的编程规范, 描述内容主要包括服务实现定义和服务接口定义。SOAP 是一种服务提供者和使用者之间的信息传输规范, 通过 SOAP 可以实现服务的 RPC (Remote Procedure Call, 远程过程调用)<sup>[20]</sup>功能。REST 是一种 web 服务的设计和开发方式。这种开发方式使用 HTTP 协议、URI (Uniform resource identifier, 统一资源标识)<sup>[21]</sup>协议等方式, 通过 POST、GET、PUT 和 DELETE 4 种方式实现信息的上传和下载。

作为 SOA 的技术基础之一, UDDI 提供了一套统一的服务定位、查找和发布的方法。该技术标准主要包含了数据模型、API 和注册服务 3 个部分。

WSDL 是一种基于 xml 语言对服务功能进行描述的编程规范, 描述内容主要包括服务实现定义和服务接口定义。服务规范机构可以使用 WSDL 对服务的类型进行定义, 服务提供商可以依据服务类型定义来开发具体的服务。

SOAP 是一种服务提供者和使用者之间的信息传输规范。该规范的语法也是 XML。通过 SOAP 可以实现服务的 RPC (Remote Procedure Call, 远程过程调用) 功能。

REST 是一种 web 服务的设计和开发方式。这种开发方式使用 HTTP 协议、URI (Uniform resource identifier, 统一资源标识) 协议等方式, 通过 POST、GET、PUT 和 DELETE 4 种方式实现信息的上传和下载。要求实现操作的无状态, 是 REST 架构的核心设计理念。

web service 是一种支持跨平台和跨编程语言的远程过程调用技术。其信息传输采用标准的 soap 协议, 下面为从测试系统中截取的一段 soap 协议交换医疗设备名称的传输内容:

发起设备名称查询请求:

```
<? xml version="1.0"? >
<soap:Envelope
xmlns:soap="http://localhost:8080/soap-test"
soap:encodingStyle="http://localhost:8080/soap-test">
  <soap:Header>
</soap:Header>
  <soap:Body>
    <m:GetEquipName>
      <m:GetEquipName>00001</m:GetEquipName>
    </m:GetEquipName>
  </soap:Body>
</soap:Envelope>
```

服务器反馈设备名称:

```

<? xml version="1.0"? >
<soap:Envelope
xmlns:soap=" http:// localhost:8080/soap-test"
soap:encodingStyle=" http:// localhost:8080/soap-test">
  <soap:Header>
  </soap:Header>
  <soap:Body>
    <m:EquiName>
      <m: EquiName>CT machine</m: EquiName>
    </m:EquiName>
  </soap:Body>
</soap:Envelope>

```

另外, web service 采用 WSDL 作为服务描述语言。

WSDL 的语法结构如下所示:

WSDL 代码语法结构举例:

```

<definitions>
  <types>
    definition of types. ....
  </types>
  <message>
    definition of a message. ...
  </message>
  <portType>
    definition of a port. ....
  </portType>
  <binding>
    definition of a binding. ...
  </binding>
</definitions>

```

以 web service 架构表示的 SOA 的总体架构思想可以用如图 1 所示。

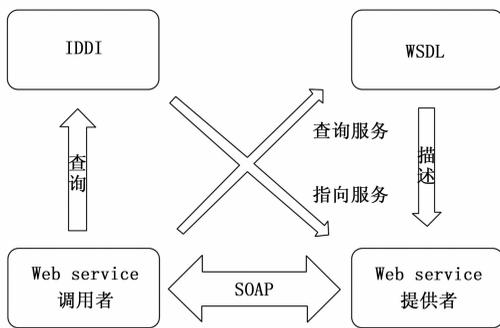


图 1 SOA 架构思想示意图

医院设备控制系统的设计考虑因素非常复杂。在系统底层,需要对接医院各种类型的医疗设备;在系统的上层,需要面对医院各种不同类型的系统使用人员。系统的复杂性导致了只有 SOA 架构这种分布式的具有服务治理能力的系统架构才能承担此任务。系统总体设计架构如图 2 所示。

## 2 医疗设备控制关键功能设计

### 2.1 系统功能模块

医院设备控制系统的核心页面是一个中控界面。在该

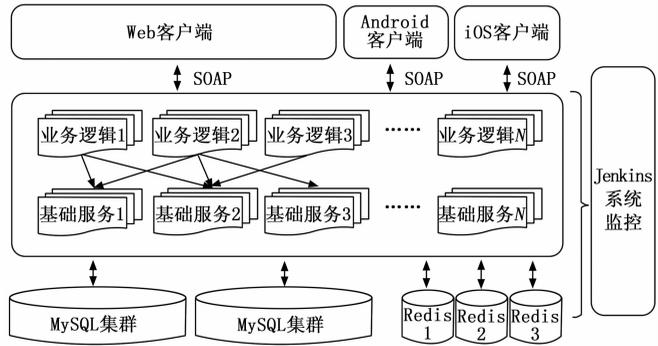


图 2 系统总体架构设计图

界面上可以全面的看到医院医疗设备的总体运行情况、实时运行状态数据、历史设备维护统计信息等等。除此以外,针对每一个设备也设计了一个专门的可视化状态展示页面,用于定向展示某一具体医疗设备的实时运行情况。系统总体功能模块架构如图 3 所示。

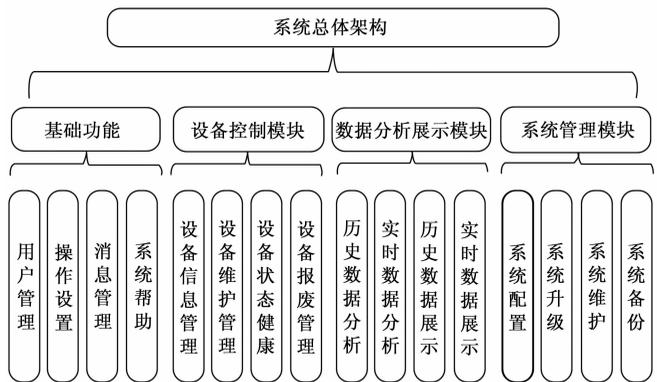


图 3 系统功能模块架构图

### 2.2 基于强化学习的医疗设备状态感知和预警功能

医院设备控制系统的—个关键模块是设备维护管理模块。该模块实现了基于机器学习的医疗设备感知和预警功能。该模块的具体实现逻辑如图 4 所示。

医疗设备控制的主要困难,涉及多维载体设备的运行状态感知、故障风险的分析和预警、高效率的故障识别策略设计等问题。其中,医疗设备的运行状态感知及故障风险的主动预警,作为医疗设备控制模块中最重要的一个前置功能,在保证医疗设备健康稳定运行方面发挥了重要的支撑作用。医疗设备运行工作过程中,设备系统产生的故障数据结构同时包含结构化数据、半结构化数据和非结构化数据,属于典型的多源异构数据源。深度挖掘多源异构数据,采用多种技术构建大数据存储应用,可以为后续的数据挖掘工作提供保障,在医疗设备管理控制系统的构建任务中发挥了关键性和基础性作用,是保障全院医疗工作能够稳定进行的重要的基础性工作。

医疗设备的运行状态感知及故障风险的主动预警模块,采用基于 Actor-critic 强化学习的算法,深度挖掘多源异构大数据池来实现系统模块的任务目标,该算法是结合了 Policy Gradient (Actor) 和 Function Approximation (Critic) 的一种集

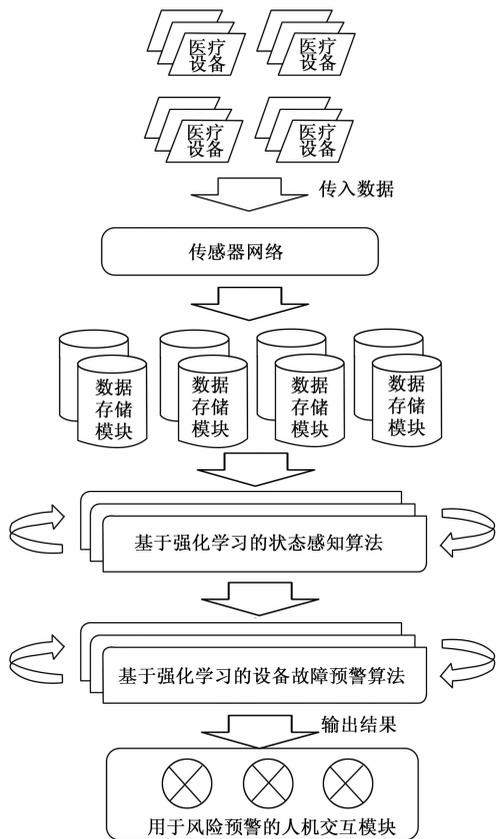


图 4 基于强化学习的医疗设备状态感知和预警功能模块基本逻辑

大成的强化学习方法。算法的决策原理为: Actor 基于概率选择下一步行为; Critic 基于 Actor 的行为评判行为的得分; Actor 根据 Critic 的评分修改选择下一步行为的概率。

基于医疗设备状态数据形式复杂多变且多源异构的特点, 使用策略网络来充当强化学习算法的 Actor 角色, 使用价值网络来拟合该算法的函数, 充当该的 Critic 角色。表征复杂情境下医疗设备多维运行状态自主感知策略的 Loss 函数如下。

基于医疗设备状态数据形式复杂多变且多源异构的特点, 使用策略网络  $\mu$  来充当强化学习算法的 Actor 角色, 使用价值网络来拟合该算法的  $(s, a)$  函数, 充当该的 Critic 角色。表征复杂情境下医疗设备多维运行状态自主感知策略  $\mu$  的 Loss 函数如下:

$$L(\theta) = E_{s,a,r,s'} [(Q^*(s, a | \theta) - y)^2] \quad (1)$$

其中, 因为多重 Q 网络结构采取随机性策略, 所以要想获取当前动作 Action 就需要对最优策略的概率分布进行采样, 而且在迭代过程中每一步都要对整个动作空间进行积分, 在目标 Q 网络的基础上采取了确定性策略, 根据行为和函数  $\mu$  确定感知策略, 公式中的  $\mu$  可以理解为一个最优行为策略  $a_i = \mu_{\theta}(s_i | \theta)$ , 医疗设备运行状态感知的最优函数可以表征如下:

$$J(\mu_{\theta}) = \int_{S_i} \rho^{\mu}(s) r(s, \mu_{\theta}(s)) ds = E_{s \sim \rho} [r(s, \mu_{\theta}(s))] \quad (2)$$

对上式进行求导, 则多重 Q 网络结构下降策略梯度可以表示为:

$$\nabla_{\theta} J(\mu_{\theta}) = \int_{S_i} \rho^{\mu}(s) \nabla_{\theta} \mu_{\theta}(s) Q^{\mu}(s, a) \Big|_{a=\mu_{\theta}} ds = E_{s \sim \rho} [\nabla_{\theta} \mu_{\theta}(s) Q^{\mu}(s, a) \Big|_{a=\mu_{\theta}}] \quad (3)$$

该算法可以通过自我学习实现对医疗设备多源异构故障数据的特征的多维动态感知。使用伪代码的方式对该运行状态感知算法进行描述如下:

Actor-Critic Algorithm for Reinforce Learning

Initialize parameters  $s, \theta, w$  and learning rates  $\alpha_{\theta}, \alpha_w$ ;

sample  $a_i = \mu_{\theta}(s_i | \theta)$ .

fort = 1...T:

Sample reward  $r_t \sim R(s, a)$  and next state  $s' \sim P(s' | s, a)$

Then sample the next action  $a' \sim \mu(a' | s')$

Update the policy parameters:

$$\mu_{\theta} \leftarrow \mu_{\theta} + \alpha_{\theta} Q_w(s, a) \nabla_{\theta} \log? \mu_{\theta}(a | s)$$

Compute the correction (TD error) for action-value at time t:

$$\delta_t = r_t + \gamma Q_w(s', a') - Q_w(s, a)$$

And use it to update the parameters of Q function:

$$w \leftarrow w + \alpha_w \delta_t \nabla_w Q_w(s, a)$$

Move to  $a \leftarrow a'$  and  $s \leftarrow s'$

End for

根据医疗设备多维运维参数复杂多变且多源异构的特点, 也使用策略网络  $\mu$  来充当 Actor, 使用价值网络来拟合  $(s, a)$  函数, 来充当 Critic 的角色, 则下降策略梯度算法的预警目标函数就可以定义为:

$$J(\theta^*) = E_{\theta^*} [r_1 + \gamma r_2 + \gamma^2 r_3 + \dots] \quad (4)$$

此时 Q 函数表示为在采用确定性策略  $\mu$  下选择动作的奖励期望值, 在策略网络  $\mu$  与 Q 网络耦合环节引入经验缓冲因子, 算法迭代收敛速度跨数量级提升, 从经验缓冲因子池中随机采样 Mini-batch 数据, 由于不同子策略将会在不同回合执行, 因此, 针对每一个训练回合, 可以得到一个记忆回放池, 最后针对每一个训练回合的子策略参数求解融合目标函数的梯度, 自主识别故障信息框架并标记, 则主动预警触发函数表征为:

$$\nabla_{\theta} J \approx$$

$$\frac{1}{S} \sum_j \nabla_{\theta} \mu_i o_i^j \nabla_{a_i} Q_i^{\mu}(x^j, a_1^j, \dots, a_i, \dots, a_N^j) \Big|_{a_i = \mu_i(s_i)} \quad (5)$$

基于上式, 多重 Q 网络中的参数  $\theta^*$  具有较好的自主进化性能, 借助  $Q^{\mu}(s, \mu(s))$  利用  $\mu$  策略在  $s$  状态选取动作所获取的回报期望值, 自主构建故障信息的特征框架, 可以较好实现大数据量级多源异构运维数据故障信息自主主动预警。

### 3 系统功能实现与验证

#### 3.1 开发技术选择

该系统分为前后端两个部分, 前端有网页客户端、Android 客户端和 iOS 客户端 3 个部分。其中网页客户端使用 HTML5 + CSS + javascript 技术组合实现, 其前端交互逻辑开发采用了 VUE 框架, 在页面渲染部分使用 D3 javascript 可视化框架。

服务器端, 本系统采用 Java 语言开发, 使用 JDK1.7

+ eclipse 作为 java 开发环境, 并且使用 Apache-CXF 框架<sup>[22]</sup>实现对 web service 的支持。

数据存储方面, 本系统采用 Oracle 数据库软件加上 NAS 存储硬件设备实现。并配合 Redis 缓存加速数据读写操作。

此外, 本系统采用 Nginx 进行负载均衡; 采用 Tomcat 作为服务器中间件; 采用 Jenkins 进行系统监控。

### 3.2 数据库设计

数据库设计主要包括总体的数据字典 (Data Dictionary) 设计和具体的数据模式 (Data Schema) 设计。其中重要的数据字典数据设计项如表 1 举例。

表 1 数据字典重要数据项举例

数据项	数据项含义	数据项类型	缺省值	访问用户
医疗设备名称	描述该设备的名称	字符串	NULL	所有用户
医疗设备类型	描述该设备的类型	字符串	NULL	所有用户
医疗设备上架时间	记录该设备的采购上架时间	时间类型	1990/1/1	装备科工作人员
医疗设备下架时间	记录该设备的报废下架时间	时间类型	1990/1/1	装备科工作人员
医疗设备健康状态	记录该设备此时此刻的健康状态	布尔型	TRUE	所有用户
医疗设备负责人	记录该设备作为固定资产的负责人是谁	数值型	0	所有用户
医疗设备所属科室	记录该设备的主要使用科室	数值型	0	所有用户
医疗设备 ID	标记该设备的 ID 号	数值型	0	所有用户
医疗设备价格	记录该设备的采购价格	数值型	0	装备科工作人员

### 3.3 系统功能模块实现

基于 SOA 服务分层部署, 层层调用的思想, 该系统从下往上总共分为五层。层次化的结构设计使得服务的高效复用得以实现。

第一层, 设备控制 (Equipment Control) 层, 该层主要用于和医疗硬件设备交互。并读取医疗设备的状态信息, 与软件的上层服务进行交互。

第二层, 数据持久化 (Data Persistence) 层, 该层主要用于完成系统数据的持久化存储、读写任务。

第三层, 基础服务 (Basic Service) 层, 该层主要用于实现一些独立的通用基础服务。如数据分析等功能。

第四层, 业务逻辑 (Business Logic) 层, 该层主要用于实现具体的医疗设备控制业务服务。系统绝大部分业务逻辑在该层内的服务中实现。

第五层, 数据接口 (Data Interface) 层。该层将下层的输出数据展示为 XML 格式的接口, 供客户端读写。

### 3.4 系统功能测试与验证

系统开发完毕后, 医院组织人力对系统功能组件进行了逐一测试, 测试结果表明该系统各组件运转良好, 具有良好的工作性能, 不存在任何严重的性能瓶颈。同时, 对系统各个组件的功能验证结果表明, 该系统各功能组件运转正常, 具备良好的工作性能, 可以正常为医院设备管理

工作提供支持。

### 3.5 与其他系统的关系

本系统在开发过程中还与医院中现有的其他系统存在数据交互。具体的交互情况如表 2 所示。

表 2 本系统与医院其他系统交互情况

交互系统	交互数据	交互目的
医院 HIS 系统	设备使用情况	将设备使用情况与病人就诊功能对接, 实现设备病情检测结果到医生工作台的实时对接
医院财务系统	设备采购价格	将设备采购情况导入医院财务系统, 便于医院财务工作人员的数据整理
医院行政审批系统	设备使用情况	将设备的使用情况向医院的审批人员开放查阅权限
医院手术管理系统	设备使用情况	支持手术前的病人检查工作

## 4 医疗设备感知预警算法实验验证

针对前面提到的基于机器学习的医疗设备状态感知和预警功能, 设计了一个实验证明了该功能模块的有效性。实验环境如表 3 所示。

表 3 实验环境及其参数

软件		硬件	
操作系统	Windows 11	主机	联想
数据编辑器	VSCode	CPU	Intel i7
开发语言	Python 3.7	内存	32 G
开发框架	PyTorch	硬盘	固态, 1T

实验数据集为该医院设备科 2019 年 1 月 1 日至 2021 年 12 月 31 日期间收集的全院医疗设备运行状态日志数据, 均为半结构化的文本文档。按照 7:3 的比例将实验数据集拆分为训练数据集和测试数据集。实验用数据集的情况如表 4 所示。

实验基于 PyTorch 开源框架对该故障预警算法的准确性进行仿真验证。首先设定初始损失函数, 然后导入医疗设备运行状态数据, 接着利用 OpenAI 公司开发的 Gym 环境进行图形化仿真验证, 最终的仿真验证结果如图 5 所示。

表 4 实验数据集情况表

数据年份	2019 年	2020 年	2021 年
实验日志数据量	1.43 G	1.73 G	2.19 G
实验涉及设备数量	100	100	100
设备运行状况样本日志数	13 012	19 872	22 189

实验结果表明, 虽然第一轮的计算预测错误率高达 53.9%, 经过 9 轮迭代, 该算法的准确率达到 97.9%。其中, 该算法在第七轮迭代开始, 算法的准确率就开始超过 90%。这就证明了该算法的有效性。

## 5 结束语

本文描述的是采用基于 SOA 的架构思想开发的一套医院设备控制系统。该设备控制系统具备对医疗设备的实时

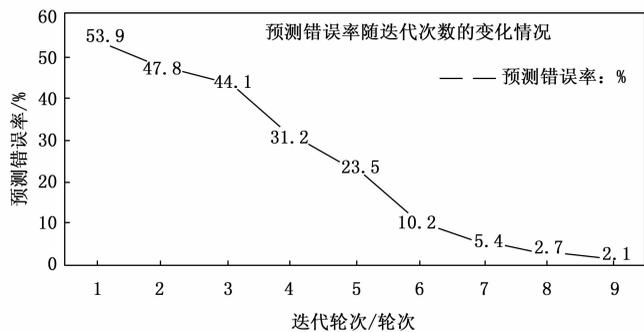


图 5 算法仿真验证结果图

监控功能、历史设备使用信息、状态信息、维护信息等的可视化展示功能, 以及对医疗设备的实时状态感知和故障风险预警功能。该系统在架构设计中采用 web service 技术实现了 SOA 架构思想, 从而实现了系统内部功能模块之间复杂逻辑关系的服务治理。此外, 系统还包含了一个基于 actor-critic 强化学习算法的设备状态感知和故障预警算法, 解决了关键的设备状态感知和故障预警问题。后续的实验表明, 该算法的预测准确率高达到了 97.9%, 实现了对医疗设备的状态感知和故障预警。

#### 参考文献:

[1] 黄雅珍. 基于 SOA 的医院集成平台的设计与建设 [J]. 电子技术与软件工程, 2018, No. 146 (24): 138.

[2] 陈晓毓. 医院信息集成平台架构设计及实现 [J]. 中国卫生标准管理, 2018, 9 (15): 4-6.

[3] 刘志鹏. 基于 SOA 的医院信息系统区域架构设计 [J]. 中国新通信, 2018, 20 (10): 225.

[4] 倪凌. SOA 基础下的医院信息系统区域架构设计与实现 [J]. 中国新通信, 2017, 19 (9): 146.

[5] 周颖, 陈敏莲, 胡珊珊, 胡外光. 基于 SOA 架构的医院号源池共享平台研究与实现 [J]. 医学信息学杂志, 2016, 37 (4): 30-33.

(上接第 91 页)

[5] 姚昌华, 安蕾. 面向多异构任务的无人机集群自主协同优化 [J]. 电讯技术, 2023, 63 (8): 1151-1158.

[6] 刘云昊, 邓亦敏, 段海滨, 等. 基于飞蛾信息素寻偶机制的无人机集群协同搜索 [J]. 国防科技大学学报, 2022, 44 (4): 22-31.

[7] 马庆禄, 张杰. 基于激光雷达的无人车动态避障方法 [J]. 计算机仿真, 2023, 40 (5): 197-201.

[8] 刘金龙, 张泽旭, 徐田来, 等. 基于自适应通信拓扑的无人机集群弱路径约束下的分布式控制器设计 [J]. 宇航学报, 2022, 43 (5): 665-674.

[9] 李燕妮. AI 技术在智能交通辅助系统中优化控制体现 [J]. 机械设计, 2021, 38 (6): 160-161.

[10] 鲜斌, 许鸣镝, 王岭. 分布式无人机队列控制与动态障碍规避设计 [J]. 控制与决策, 2022, 37 (9): 2226-2234.

[11] 李健思, 杨冰冰, 范俐娟, 等. 基于区块链和 AI 技术的健康数据管理与技术应用 [J]. 中国公共卫生, 2021, 37 (8): 1305-1309.

[6] 张贝贝, 李成伟, 张方. 基于 SOA 架构的医疗服务管理平台的设计与实现 [J]. 中国医疗设备, 2016, 31 (1): 102-104.

[7] 宋莉莉, 周虹, 郭雪清. 基于 SOA 的医院收费系统设计与实现 [J]. 中国数字医学, 2015, 10 (12): 27-29.

[8] 孙艳. 基于 SOA 的医院医疗设备管理系统架构模型设计 [J]. 现代科学仪器, 2020 (6): 42-47.

[9] 彭文. 基于 SOA 的医院智能系统框架设计 [J]. 医疗装备, 2016, 29 (9): 40-42.

[10] 晏贤斌. 基于 SOA 的医院集团信息系统集成 [J]. 中国卫生信息管理杂志, 2013, 10 (1): 63-68.

[11] 孙丽娟, 冯国栋. 基于大数据思想的医院财务管理和决策系统设计研究 [J]. 现代科学仪器, 2021, 38 (5): 250-254.

[12] 杨国良, 左秀然. 基于事件驱动 SOA 的医院信息系统集成模式 [J]. 中国数字医学, 2012, 7 (8): 22-25.

[13] 向良新, 陈铁英, 高育林. 基于 SOA 的医院应用服务总线的应用研究 [J]. 医学信息, 2009, 22 (5): 582-585.

[14] 刘阳. 基于 SOA 架构的医院信息管理平台研究实现 [J]. 中国新通信, 2015, 17 (7): 51-52.

[15] 李滨, 刘莹. UDDI 注册中心综述 [C]. // 中国企业运筹学, 2009.

[16] 凌静, 江凌云. 物联网服务的语义化描述: 一种 WSDL 到 OWL-S 的转换方法 [J]. 计算机科学, 2019, 46 (4): 89-94.

[17] 聂会琴, 童恒庆, 李锡吉. SOAP 协议综述 [J]. 计算机与现代化, 2004, (4): 39-42.

[18] 徐雅琴. REST 风格的 Web 服务组合方法及其应用研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2017.

[19] 刘政敏, 牛艳芳. XML 相关技术综述 [J]. 现代情报, 2003, (8): 57-59.

[20] 周亮, 王震, 王冠. 远程过程调用技术在分布式软件系统中的应用 [J]. 航空电子技术, 2020, 51 (4): 47-52.

[21] 王少然, 万凤, 宋梦华. GSI Web URI 结构标准浅析 [J]. 中国自动识别技术, 2019, 79 (4): 56-58.

[22] 张同杨. 基于 CXF 的 SOA 应用设计与实现 [J]. 价值工程, 2017, 36 (32): 83-87.

[12] 谢芳. 基于物联网和人工智能的农业无人机路径规划系统 [J]. 农机化研究, 2023, 45 (6): 30-33.

[13] 白露, 孙铭然, 黄子蔚, 等. 面向应急通信的多无人机协同信道建模研究 [J]. 通信学报, 2023, 44 (7): 38-50.

[14] 杨晟琦, 田明俊, 司迎利, 等. 基于分层强化学习的无人机机动决策 [J]. 火力与指挥控制, 2023, 48 (8): 48-52.

[15] 樊宽刚, 雷爽, 别同. 智能化无人机入侵检测与跟踪拦截系统设计与实现 [J]. 红外与激光工程, 2022, 51 (8): 351-360.

[16] 张书衡, 翟茹萍, 刘永凯. 基于通信域和雷达域融合特征的无人机集群类型识别算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2023, 45 (12): 3734-3742.

[17] 徐广通, 王祝, 曹严, 等. 动态优先级解耦的无人机集群轨迹分布式序列凸规划 [J]. 航空学报, 2022, 43 (2): 325059-325059.

[18] 徐辉, 崔国增, 李泽. 多四旋翼无人机分布式固定时间自适应编队控制 [J]. 系统科学与数学, 2022, 42 (9): 2245-2257.