

# 基于数据演进的智能系统试验环境体系架构设计

杜静, 邓锦洲, 王义晶, 毛腾蛟\*

(军事科学院战略评估咨询中心, 北京 100091)

**摘要:**智能试验系统是当前推动智能技术和系统发展的重要测试验证平台。智能试验系统在资源种类、数据处理、交互机制、任务控制等方面存在多样性和复杂性,使得传统的架构技术无法解决智能试验系统体系设计带来的新问题。提出并设计一套科学合理的体系架构,已经成为开展智能试验系统建设的迫切需要。深入研究了智能试验环境生成中迫切需要解决的架构问题,重点实现两方面突破:一是如何紧跟智能技术发展,构建智能系统试验的能力需求模型,回答试验环境“要什么”的问题;二是如何以数据资源建设利用为主线,设计基于数据服务的演进式试验环境体系架构,满足扩展性、高效性、灵活性、博弈性、学习性、可控性等智能系统试验环境设计需求。该研究成果为智能系统试验测试领域的顶层架构设计研究提供了指导思路,对智能试验系统建设具有重要的借鉴和指导作用。

**关键词:**智能试验系统;体系架构;数据演进;能力需求;多视角架构

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2025)05-0029-07

doi:10.20165/j.cnki.ISSN1673-629X.2024.0389

## Design of Intelligent System Test Environment Architecture Based on Data Evolution

DU Jing, DENG Jin-zhou, WANG Yi-jing, MAO Teng-jiao\*

(Center for Strategic Assessment and Consulting, AMS, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Intelligent test system is an important test and verification platform to promote the development of intelligent technology and system. Intelligent test systems have diversity and complexity in resource types, data processing, interaction mechanisms, task control, etc., which makes traditional architecture technologies unable to solve the new problems brought by the designing of intelligent test systems. We propose and design a scientific and reasonable system architecture has become an urgent need for the construction of intelligent experimental systems. We delve into the urgent architectural issues that need to be addressed in the generation of intelligent experimental environments, with a focus on achieving breakthroughs in two aspects. The first is how to closely follow the development of intelligent technology, build a capability requirement model for intelligent system experiments, and answer the question of "what does the experimental environment need". The second is how to design an evolutionary experimental environment architecture based on data services, with the construction and utilization of data resources as the main line, to meet the design requirements of intelligent system experimental environments such as scalability, efficiency, flexibility, gameplay, learning, and controllability. The research results provide guidance for the top-level architecture design in the field of intelligent system test and test, and have important reference and guidance for the construction of intelligent test system.

**Key words:** intelligent test system; system architecture; data evolution; capability requirement; multi-view architecture

### 0 引言

随着算法的突破和算力的增强,近年来人工智能技术已迎来爆发式增长,引领了新一轮的信息技术革命<sup>[1-3]</sup>。以 Alpha Go<sup>[4-8]</sup>、Alpha Zero<sup>[9-11]</sup>、ChatGPT<sup>[12-13]</sup> 为代表的人工智能程序在机器学习方面取得了突破性成果<sup>[14]</sup>。而试验评估则是检验智能系统能力,促进系

统优化的必要手段。智能系统试验环境是将人工智能技术应用于试验评估领域,对试验测试所需的运行环境配置部署,为被试智能系统提供运转、对抗、演进的试验环境,不仅能支撑传统性能技术指标测试,更需要满足针对智能系统的“智能力”开展试验评估的需求,为智能技术研究提供经济、方便、高效的试验验证环境

收稿日期:2024-04-29

修回日期:2024-08-30

基金项目:国家社科基金资助项目(2022-SKJJ-B-084)

作者简介:杜静(1979-),女,研究员,硕导,博士,研究方向为评估理论方法、智能化测试;通信作者:毛腾蛟(1992-),男,博士研究生,研究方向为运筹学、因果推断。

和分析方法。

随着智能技术飞速发展,智能样本数据增长迅速、复杂系统架构日新月异、智能试验系统规模迅速膨胀,测试环境结构日益复杂,科学高效的智能试验环境构建需求越发迫切。传统试验系统架构由于规模较小、不成体系、要素不全、功能单一,无法解决智能试验系统由海量异构数据共享、交互和处理等带来的新问题,已不适应智能系统试验环境的自动化、自反馈、自学习体系架构需求。如何设计一个基于数据服务,能够持续演进优化的开放可重构试验环境体系架构,是一个亟需解决的重大基础性问题。所以,针对智能系统测试验证需求,结合试验系统能力特点,研究能够对智能系统进行有效科学测试的试验系统架构技术,探索智能试验系统在设计实现、运行管理、高效互通方面的规范和实现机制,以实现智能试验系统的高效、定制化构建,已经成为开展智能系统测试验证迫切需要解决的问题。

该文以智能试验系统为对象,深入研究智能系统测试环境生成中迫切需要解决的需求建模和架构设计问题。在梳理国内外相关技术研究的基础上,重点研究智能试验的能力需求模型构建,基于此,从开发架构、运行架构、技术架构、数据架构等多个角度,集中突破数据演进的智能试验体系架构设计。研究成果对于构建开放可重构的智能系统试验环境,提高智能系统的技术验证、试验测试和联合运用能力,逐步构建形成试验资源统筹使用、试验能力柔性重组、试验过程博弈对抗的新型试验能力具有重要意义。

## 1 相关研究

面向智能系统的试验评估体系研究目前还处于起步阶段,研究工作跨越人工智能、体系结构和试验评估等领域,多技术领域的交叉必将产生更为广阔的研究空间。

### 1.1 智能试验系统

在智能算法测试方面,测试智能的本质是通过软件来实现特定的算法,智能算法测试是智能试验体系的核心关键。传统的自动化测试中,项目测试的维护成本很高。引入 AI 技术后,带来的泛化性可以有效地减少自动化测试的维护成本,在 AI 模型中编程可以不做改动,或者直接增加训练数据就可以较好完成测试需求。腾讯 TuringLab 团队出版了《AI 自动化测试:技术原理、平台搭建与工程实践》书籍<sup>[15]</sup>,并开发了一套基于深度学习的自动化 AI 测试框架,成功应用于多款世界知名游戏产品的日常测试。文献[16]从测试人员的角度阐述了机器学习测试如何在真实业务场景中落地。此外,面向不同场景,多款 AI 测试工具不断涌

现,例如 Applitool、Appvance IQ、MABL、Test. AI 等<sup>[17-20]</sup>。

面对智能系统的快速发展,为了建立更加科学高效的试验评估体系,需要首先突破试验系统体系架构设计。基于已有试验系统或资源,推进开放可重构、可学习、可扩展的试验系统体系架构设计,不断提升智能系统试验设计、实施和评估能力。

### 1.2 体系架构设计技术

如何全面考虑智能试验系统在扩展性、重构性、高效性、可控性等方面的需求,在统一的视角下认识和组合不同的概念、技术、结构、关系等,属于系统体系架构的研究范畴。随着人工智能技术的飞速发展和普及,系统规模日益庞大,并在设备类型、拓扑结构、人的行为、流量分布等不同层面呈现出复杂特性,同时整个系统在演化中具有自组织、自适应现象。这些复杂的特性,对智能试验系统构建提出了新的挑战。过去的主流体系结构技术主要有 SOA (Service - Oriented Architecture)、TENA (Test and Training Enabling Architecture) 等。SOA 是一种客户端/服务器的软件设计方法<sup>[21]</sup>,SOA 通过高复用可以降低开发成本;通过粗粒度、松耦合可以屏蔽复杂业务逻辑,从而降低复杂度<sup>[22]</sup>。通过组织专业分工,可以使得软件开发大规模化成为可能。

文献[23]通过深入研究分析与 SOA 相关的理论体系,提出了一种基于 SOA 架构的企业应用设计流程和建模方法,并在此基础上通过一应用实例说明 SOA 的实施过程。文献[24]从技术体系的角度以系统建模的方法构建了基于 SOA 的指挥控制系统体系结构。TENA 是一种试验训练使能体系结构,支持逻辑靶场的实现,为网络中心环境中进行试验和训练奠定基础,支持联合构想,支持快速、经济的开发、测试和部署逻辑靶场应用,支持模型和仿真的便捷集成,促进基于仿真采办和联合分布式工程工厂概念的实现。文献[25]重点研究了使用美国开发的试验与训练体系结构(TENA)。文献[26]梳理了各种仿真体系结构的发展现状。

综上所述,目前已有多种成熟的架构可供借鉴参考<sup>[27-30]</sup>,然而这些架构面向的是特定系统需求,没有充分考虑资源间的兼容性、互连互通互操作能力、标准化、效率、大规模资源集成应用、向新技术迁移以及在人在环路等因素,难以满足智能系统试验评估体系对异构资源互联、人在回路试验、分布式灵活重构、一体化管控、对抗博弈仿真等需求。该文综合分析现有架构研究,针对性提出“以数据为中心”的智能系统试验体系架构设计,为试验系统建设的顶层规划提供借鉴和指导。

## 2 智能试验系统的演进式架构设计

随着信息技术的飞速发展,软件定义、系统工程、智能制造等技术为智能系统试验环境构设提供了新的思路和解决办法。这对该文而言既是机遇也是挑战。因此,着眼智能系统试验能力提升,研究其试验环境构设,以适应不断涌现的未来智能系统试验需要,具有紧迫性、前瞻性和先进性。该文从需求建模和优化构设两方面展开研究,包括:

智能试验的能力需求模型构建:如何紧跟智能技术发展,全面剖析智能系统试验的特征和需求,构建智能系统试验的能力需求模型,回答试验环境“要什么”的问题。

数据演进的试验体系架构设计:如何以数据资源建设利用为主线,设计基于数据服务的演进式试验环境体系架构,满足扩展性、高效性、灵活性、博弈性、学习性、可控性等智能系统试验环境设计需求。

### 2.1 智能试验体系设计难点分析

为满足智能系统的试验测试、评估验证等需求,亟需建设能够动态灵活定制多种类智能系统配试环境,具备开放兼容与灵活扩展能力、功能齐全、配置灵活、安全可控的智能试验系统体系。相对于传统试验体系,智能系统的试验体系的构建主要面临以下难点。

(1)规模大、要素多,灵活与自动化配置难度大。

传统试验体系通常采用分层、多级管理的方式。这种繁琐的管理模式,已成为试验系统自动化灵活配置的主要障碍。智能系统覆盖试验资源、系统的种类更加多样化。目前,许多系统在设计阶段就缺乏统一的顶层规范,这对不同系统的互连互通、扁平化管理形成了阻力。灵活配置与自动化部署,是智能系统试验体系解放繁琐的人力劳动,适应智能处理技术升级快、试验环境重构快等需求的重要保障。因此,摆脱分层、多级管理模式,形成统一规模,实现扁平化管理,是智能系统试验体系面临的一项技术难点。

(2)环境分布、资源分散,资源随意接入管控难度大。

传统试验体系覆盖试验资源的物理与逻辑区域通常保持在特定的规模范围。然而,由于智能系统通常可分布式部署、规模化集成、灵活化演进,例如智能交通系统、智能电力系统等等,其相应的试验体系可以采取“1+X”的分布式布局,其中“X”各自管理自己的资源,且根据未来需求将具有分布式扩展特征。分布于不同地理区域的多样化“X”试验分体系将动态、快速扩展,对试验体系的管控能力不断提出新的挑战。即,“1”对资源随意接入等联合管控的难度将急剧增长。如何在“X”数量与规模增加过程保证“1”的联合管控地位,并在试验资源不断新增过程确保资源的快速感

知与分布式管控,是智能系统试验体系面临的一项技术难点。

(3)要素多元、体制广泛,统一规范管控的复杂程度大。

传统试验体系覆盖资源种类与规模的有限性,使得其试验系统的异构、复杂程度能够有效地可控。然而,智能系统试验体系不断增长的多样化资源,将导致其复杂、异构特征难以控制,必须采用可扩展的方式,从而满足未来新技术、新体制的应用需求。随着系统复杂异构化过程的增加,智能系统试验体系对大量动态新增资源的管控能力将面临更大的挑战。因此,异构复杂、技术体制多样化,以及它们的动态可扩展,已成为智能系统试验体系面临的一项技术难点。

(4)数据异构、海量,挖掘分析与计算处理难度大。

传统试验体系涉及的数据类型通常可以提前预知。这种可预知性,大大降低了传统试验体系对数据的挖掘分析与计算处理难度。然而,智能系统试验体系将涉及更多的新领域、新技术(技术更新快、升级快),从而导致数据处理类型等的难以预知性,这为数据挖掘分析与计算处理提高了难度。此外,相对于传统试验体系,智能系统试验体系的数据采集样本空间大、时效性要求高,对海量数据的实时、快速处理能力需求强。因此,海量数据的实时采集、挖掘分析与按需处理等,已成为智能系统试验体系面临的一项技术难点。

(5)技术更新快、任务需求多变,自学习、自动升级难度大。

传统试验体系面临的试验任务类型相对稳定。然而,人工智能新技术、新装备的快速发展,将导致智能系统试验体系任务种类空间的急剧膨胀。在这种情况下,智能系统试验体系必须具有自学习能力,能够从试验任务中学习知识,并能够将知识反馈系统,从而引导系统的升级。相对于传统试验对象,人工智能技术在保密性、时效性、规模化等方面的高要求,使得相关试验体系应用模式的研究尚未定论,进一步增加了智能系统试验体系任务应用需求的不确定性和广泛性。因此,增强系统的自学习、自动升级能力,以适应未来可预测与不可预测的多样化任务需求,是智能系统试验体系建设必须解决的一项技术难点。

### 2.2 构建智能系统试验的能力需求模型

智能系统的试验能力需求是指在试验测试中,试验环境需要具备的能力,对其进行全面剖析并建模是试验环境构设的必要基础。较之传统试验,智能系统试验逐步趋向“自动化”“智能化”,其试验能力呈现出架构开放可扩展、资源多元可分布、博弈对抗可演进等

特点,在灵活性、开放性、博弈性、复杂性、迭代性等方面的要求日益增加,对能力需求建模提出了严峻挑战。基于此,本节研究如何对智能系统试验环境能力需求进行建模分析,回答试验环境“要什么”的问题。该研究能够从高层次剖析试验本身的能力要求并形成量化指标,从而有利于科学指导体系架构设计和关键技术突破。

首先从运行模式、试验方法和数据管理等方面,通过和传统试验进行对比,智能系统试验环境不确定性和未知因素多,涌现出特征复杂,领域交叉融合,具有高弹性、高性能、标准化、规模性、异构性、海量交互、人

在回路和开放性强的特征。其次,智能系统试验环境实现自动化、智能化进程中亟需解决多项关键问题,包括统一架构、逼真模拟、一体互连、灵活扩展、快速重构、博弈对抗、安全可控、任务并行、数据采集、态势监视与科学评估等多种能力需求,以及由此带来的在试验开始、运行、结束等各阶段所需要的功能。最后,建立能力需求模型框架,对其能力需求进行指标化和模型化。该研究成果能够从高层次剖析试验本身的能力要求并形成量化指标,从而有利于准确指导体系架构设计和关键技术的突破方向,如图 1 所示。

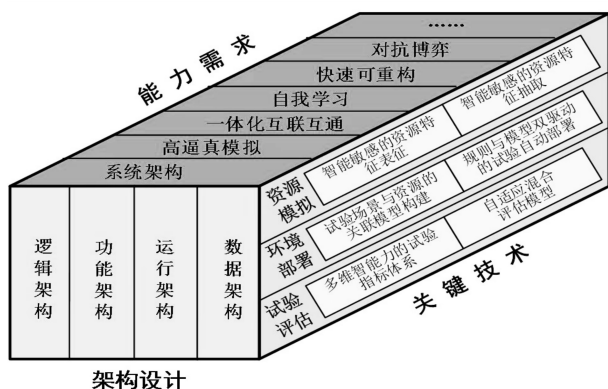


图 1 能力需求模型

### 2.3 基于数据演进的智能试验系统多视角体系架构设计

可重构、可扩展、自学习、自反馈是智能系统试验环境的重要衡量指标,也是设计中的难点。随着智能技术发展,智能系统试验环境更加需要多粒度复杂的试验资源、多形态异构的仿真目标、多层次动态的场景拓扑、多领域融合的知识辅助,对科学合理的体系架构需求也更加迫切。目前,试验领域已逐步应用 HLA、DIS、SOA、TENA 等分布式架构技术,然而,这些技术面向的是特定系统需求,对于数据的智能感知、信息的自反馈处理、对抗博弈的建模运行、试验环境的自动化部署、自身持续演进优化等方面考虑还不够深入。设计一套适合智能系统的试验环境体系架构,已经成为开展智能系统试验亟需解决的重大基础性问题。

基于此,该文研究了基于数据服务的演进式试验环境体系架构设计。该研究充分吸收智能制造、软件定义、SOA 等技术优势,基于智能系统试验能力需求,从“数据即服务”和“智能试验增量演进”的视角对架构进行了设计,提出基于数据服务的演进式试验环境体系架构,以实现试验环境的自学习、自动化运行。重点研究如何在资源模型、环境部署、采集评估、监控管理等维度的业务领域,分别从功能视图、运行视图、数据视图、逻辑视图等角度设计科学合理的体系架构,如图 2 所示,并从不同视角将相关资源要素和技术体系

关联到相应架构视图中,以指导后续关键技术突破。该研究能够支撑实现试验环境特征化模拟、构件化设计、保真化实现、灵活化配置、对抗性学习、定制化应用和知识化服务等智能试验需要。

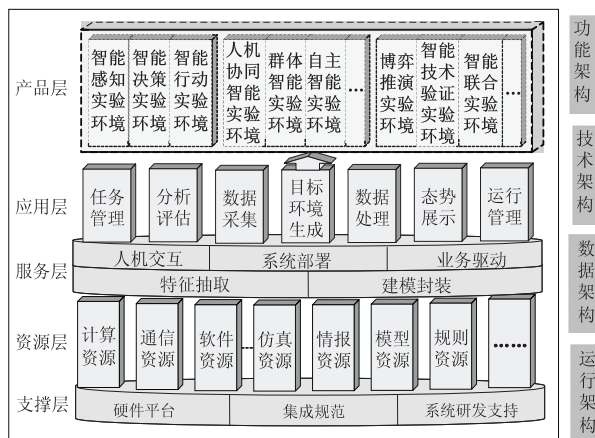


图 2 智能系统试验环境体系架构的多个设计视角

#### 2.3.1 功能架构设计

从智能系统试验环境的能力需求出发,充分吸收 SOA、TENA 等技术优势,按照服务提供和运行管理两条主线,提取智能系统试验环境需要具备的核心功能,设计其功能架构,如图 3 所示。进而设计为功能提供良好支持的系统技术架构,覆盖试验资源的有效整合、目标环境的定制模拟、试验环境的自动构建、试验数据的高效处理,知识情报的服务辅助以及试验任务的安

全可控等。

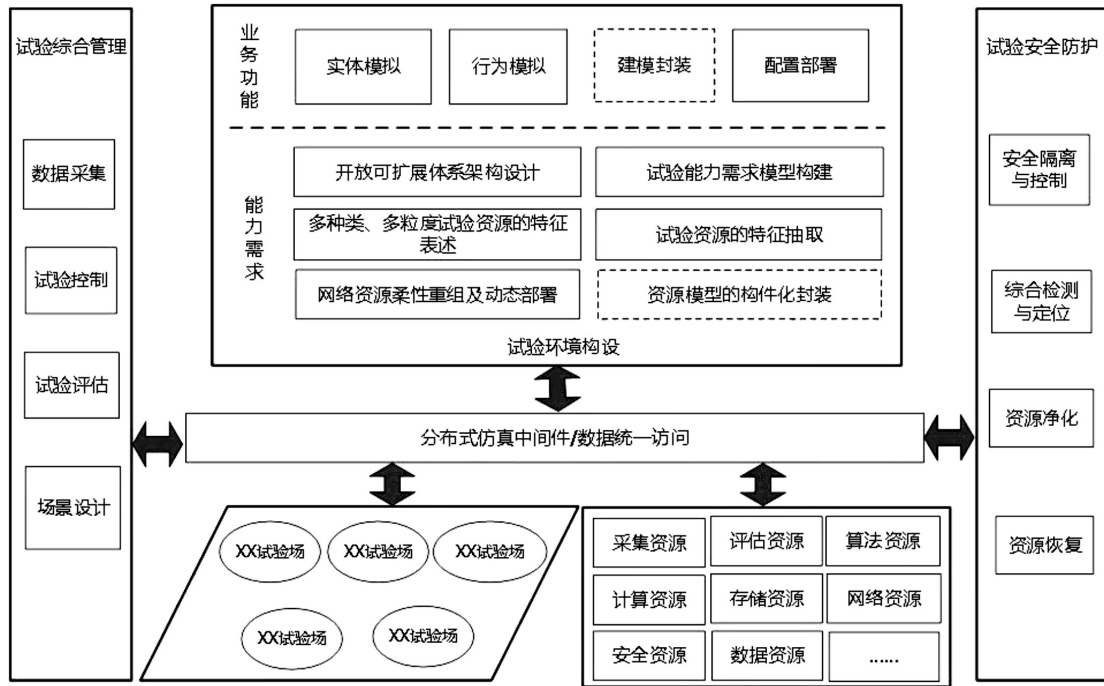


图 3 功能架构设计

2.3.2 技术架构设计

借鉴软件定义、构件化、数据总线等技术思想，研究软件定义技术将系统控制面与数据面分离的方

法，提出实现智能系统试验环境灵活定制、可管可控的设计理念，研究基于一体化试验综合管控和软件定义目标的智能系统试验环境技术架构，如图 4 所示。

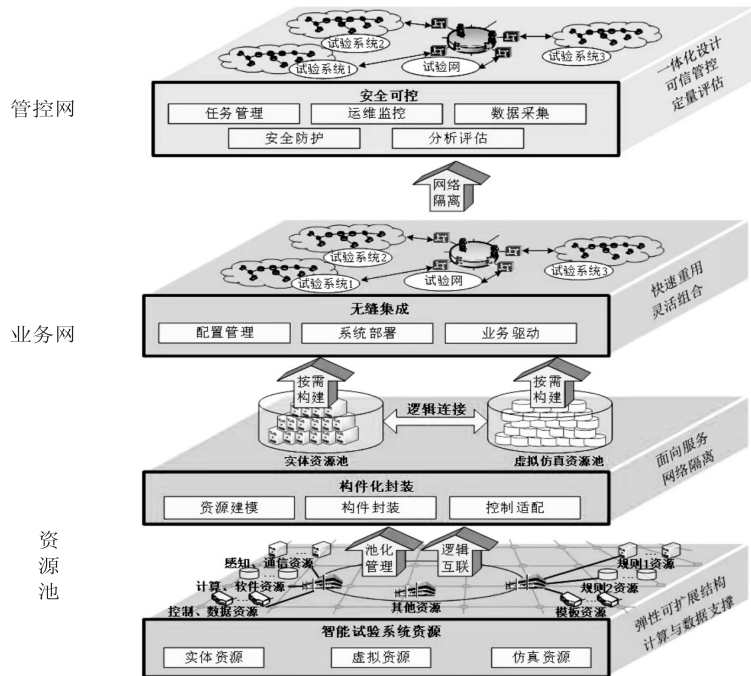


图 4 技术架构设计

2.3.3 运行架构设计

从试验任务组织流程和系统体系自我演进两个角度设计运行架构。通过分析试验自动化、智能化的关键要素，使实时信息的感知、历史信息处理、外部知识库的学习、结果的智能决策与反馈等方面内容有机结合，研究智能系统试验环境在不同阶段中各类角色、

资源、过程等的关系和信息流转，设计具有自动化、自学习、自反馈等智能模式的数据回路运行架构。如图 5 所示，智能系统试验环境的运行流程是由综合管控系统下达试验任务，通过封装部署系统对任务进行分析理解并生成下达相应的仿真任务至仿真系统，仿真系统根据仿真任务内容，获取所需外部数据，构建仿真

场景、模拟目标等,生成针对不同测试对象的测试用例,测试完成后将测试数据反馈给综合管控系统。

### 2.3.4 数据架构设计

综合考虑情报、方案、效果、策略等数据资源,面向多源异构数据采集、全生命周期数据管理、历史信息的加工处理、内外知识库的学习服务、试验结果的反馈利用等需求,建设可用于服务试验决策和实施的知识库、

模板库,研究设计其数据架构。如图 6 所示,数据架构可以设计为三层,即应用层、控制层和数据层:可根据数据层的数据类型、格式和分布等应用有效智能学习算法进行处理;由于数据层和控制层是分离的,控制层可添加新的算法实现功能扩展;可通过对控制层进行编程,按需定制数据分析功能。

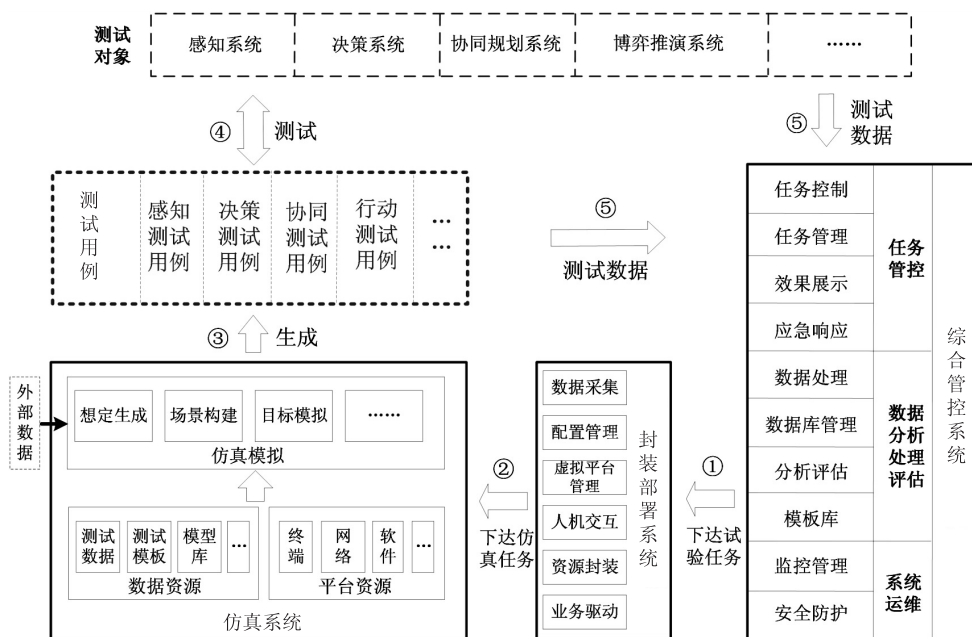


图 5 运行架构设计

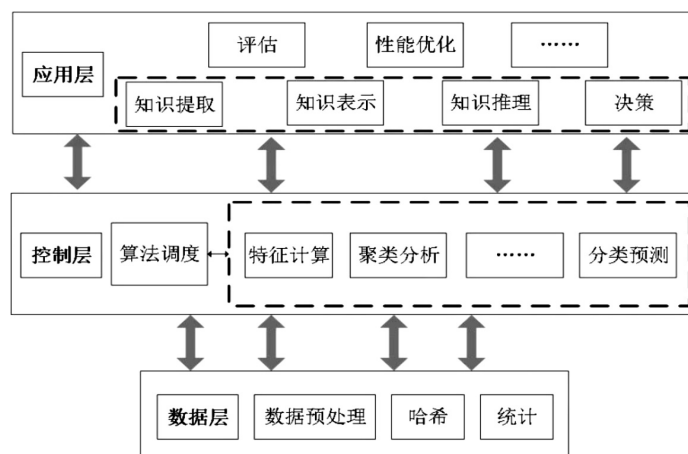


图 6 数据架构设计

## 3 结束语

智能系统对试验评估的需求越来越迫切,如何针对智能系统的特征,更为高效地、科学地、灵活地构造试验环境,加速“智能”试验是当前面临的严峻挑战。该文深入研究智能系统试验环境构造中迫切需要解决的重要问题,针对典型智能系统,全面剖析并建模试验能力需求;在此基础上,设计一套基于数据服务的演进式试验环境体系架构,提出系统的逻辑架构、技术架构、运行架构和数据架构,以满足智能试验系统在测

试验中所面临的一体化互连互通、灵活扩展、系统快速可重构、安全可控多任务并行等需求。研究成果对智能试验系统的建设具有重要的借鉴和指导作用,也可为其他试验系统的建设提供有效的技术支撑。

### 参考文献:

[1] 谭铁牛. 人工智能用 AI 技术打造智能化未来[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2019.

[2] MARCUS G, DAVIS E. Rebooting AI: building artificial intelligence we can trust[M]. Vintage: Knopf Doubleday Pub-

- lishing Group,2019.
- [3] KISSINGER H, SCHMIDT E, HUTTENLOCHER D. 人工智能时代与人类未来[M]. 北京:中信出版社,2023.
- [4] CHEN J X. The evolution of computing: AlphaGo[J]. Computing in Science & Engineering,2016,18(4):4-7.
- [5] WANG F Y, ZHANG J J, ZHENG X, et al. Where does AlphaGo go; from church-turing thesis to AlphaGo thesis and beyond[J]. Acta Automatica Sinica,2016,3(2):113-120.
- [6] 胡晓峰,郭圣明,贺筱媛. 指挥信息系统的智能化挑战——“深绿”计划及 AlphaGo 带来的启示与思考[J]. 指挥信息系统与技术,2016,7(3):1-7.
- [7] SHIN M, KIM J, KIM M. Human learning from artificial intelligence: evidence from human go players' decisions after AlphaGo[C]//Proc of the annual meeting of the cognitive science society (CogSci' 21). [s. l.]:[s. n.],2021:158-164.
- [8] 褚 飞,李 艳. 人工智能 AlphaGo 技术及其应用探析[J]. 信息化建设,2017(6):107-115.
- [9] INNATENESS M G. AlphaZero, and artificial intelligence[J]. arXiv:1801.05667,2018.
- [10] SILVER D, HUBERT T, SCHRITTWIESER J, et al. Mastering chess and shogi by self-play with a general reinforcement learning algorithm[J]. arXiv:1712.01815,2017.
- [11] 唐振韬,邵 坤,赵冬斌,等. 深度强化学习进展:从 AlphaGo 到 AlphaGo Zero[J]. 控制理论与应用,2017,34(12):1529-1546.
- [12] ARACHCHIGE A S P M. Large language models (LLM) and ChatGPT: a medical student perspective[J]. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging,2023,50(8):2248-2249.
- [13] 翟 尤,郭晓静,曾宣玮. AIGC 未来已来 迈向通用人工智能时代[M]. 北京:人民邮电出版社,2023.
- [14] 黄凯奇,兴军亮,张俊格,等. 人机对抗智能技术[J]. 中国科学:信息科学,2020,50(4):540-550.
- [15] 腾讯 turinglab 团队. AI 自动化测试:技术原理、平台搭建与工程实践[M]. 北京:机械工业出版社,2020.
- [16] 莫松颖,莫 琦,邱旭华,等. 多功能智能实验系统设计[J]. 数字技术与应用,2018(9):69-75.
- [17] 陈 凯,郭 凯,王 卓,等. 基于物联网 5G 技术的特高压串补控保系统智能试验装置[J]. 电工技术,2022(7):58-66.
- [18] 赵鑫业,王义涛,王 超,等. 海战场指挥控制系统智能决策支持技术框架[C]//2019 第七届中国指挥控制大会论文集. 北京:出版者不详,2019:609-613.
- [19] 吴上泉,高 涛,陈 军. 基于 MQTT 协议的分布式标准光组件智能试验系统[J]. 电气自动化,2018,40(4):4-13.
- [20] 艾 辉. 机器学习测试入门与实践[M]. 北京:人民邮电出版社,2020.
- [21] 苗 壮,江涌涛,杨锡森. 基于 SOA 的产品全生命周期管理模式的研究与实现[J]. 电子设计工程,2022,30(16):51-54.
- [22] 王秀艳. 基于 SOA 体系结构的软件开发方法研究[J]. 数字通信世界,2021(2):134-135.
- [23] 黄 霞. 基于 SOA 架构的软件开发研究与应用[D]. 武汉:武汉理工大学,2008.
- [24] 李风云. 基于 SOA 的指挥控制系统体系结构研究[D]. 沈阳:沈阳理工大学,2013.
- [25] 陈曼青,武子荣,崔伟宁. TENA 在我国军事仿真系统中的应用[J]. 计算机系统应用,2015,24(12):69-73.
- [26] 陈西选,徐 璐,曲 凯,等. 仿真体系结构发展现状与趋势研究[J]. 计算机工程与应用,2014,50(9):32-36.
- [27] 章煌创,赵海英,高 伟,等. 一种面向人工智能竞赛平台的权限架构构建方法[J]. 计算机技术与发展,2023,33(10):47-50.
- [28] 孟珞珈,郭元兴,盛强强,等. 模块类网络安全产品的智能测试系统设计[J]. 计算机测量与控制,2024,32(1):37-44.
- [29] 李泽慧,张新有. 基于 Serverless 架构的人工智能实验平台的设计与实现[J]. 计算机与数字工程,2024,52(2):590-597.
- [30] 李小波,王蒙一,廖咏一,等. 智能化空天防御作战体系架构设计方法研究[J]. 现代防御技术,2024,52(2):1-12.