

# 微服务技术赋能碳排放和 碳汇指标测算预警管控平台的设计与展望

文◆红有软件股份有限公司 何芳 孙素平  
新疆油田公司工程技术研究院 陈勇  
中国石油大学（北京） 宋书涵

## 引言

温室气体监测是推动绿色低碳发展和实现可持续发展目标，增强企业社会责任感和公众形象、履行国际承诺的重要手段。为实现碳减排目标，应对碳排放进行实时监测、预警和对碳汇进行指标测算和管控，传统的单体应用架构已无法满足这些需求，存在诸多问题，如灵活性差、扩展性差、维护成本高、安全性低等。因此，应借助微服务架构进行设计和实现，以提高系统的灵活性、可扩展性和可维护性，降低运营成本和维护难度。碳排放和碳汇指标测算预警管控平台通过微服务架构，提供丰富的可视化的低代码开发工具和微服务组件，实时收集、分析、预警碳排放和碳汇数据，按需灵活封装服务，应对不同场景需求变化，为企业、组织、政府提供科学依据和决策支持，以推动绿色低碳发展，实现可持续发展目标<sup>[1]</sup>。

## 1 微服务架构的应用优势

微服务架构是一种将应用程序拆分成多个小型服务的方法，每个服务都具有独立的业务能力和功能，并通过轻量级通信机制进行交互。在碳排放和碳汇指标测算预警管控平台中，微服务架构具有以下优势。

(1) 灵活性。实现核心模块的剥离，功能组件化，保证组件功能的独立性与完整性，开箱即用，提升开发效率。微服务架构可以根据业务需求进行灵活拆分和组合，满足不同场景下的需求变化<sup>[2]</sup>。

(2) 扩展性。提供功能、接口、表单、规则、业务流、报表等可视化定制工具，vue、react 等多种前端脚手架，微服务构建、开发、测试、打包、部署等完善的辅助脚本，使开发人员可以快速构建微服务应用，节省重建功能模块的时间。微服务架构可以独立扩展某个服务，而不会对整个系统造成压力。使系统可以根据实际需求进行弹性扩展，提高系统的吞吐量和响应速度<sup>[3]</sup>。

(4) 可维护性。微服务架构可以降低系统复杂度，提高代码质量和可维护性，减少维护成本。每个服务都具有独立的业务逻辑和数据模型，使问题定位和解决更加容易。平台采用长期积淀的MDA模型驱动理念，通过元模型，来统一描述服务与组件与交互逻辑，让开发人员从业务角度快速开发相关的业务与功能。

(5) 技术多样性。集成 Sen-tinel、流量控制、熔断降级、系统负载等多个维度保护服务的稳定性。集成 Oauth2 协议，从动态网关、功能权限、接口权限等多个层面，多种终端、不同粒度，为开发者提供多种认证授权与权限控制手段。

(6) 安全性。基于 Spring Cloud Greenwich 的全套解决方案，完美集成 SpringCloud Alibaba 系列组件，提供统一的配置中心、服务发现、网关等基础功能，最大程度地屏蔽技术细节。微服务架构可以通过隔离和限流等机制提高系统的安全性，防止单点故障和恶意攻

【作者简介】何芳（1971—），女，安徽宁国人，硕士研究生，高级工程师，研究方向：云计算、大数据、人工智能以及工业互联网。

注：何芳、陈勇、孙素平、宋书涵分别为本稿的第一、二、三、四作者。

击。同时，每个服务都可以进行独立的安全控制和审计，提高系统的安全等级。

## 2 基于微服务的碳排放和碳汇指标测算预警管控平台设计

### 2.1 总体架构设计

碳排放和碳汇指标测算预警管控平台采用微服务架构进行设计开发，深度优化整合 SpringCloud 与 Alibaba SpringCloud 的各功能套件，结合优秀软件工程方法论与设计模式，提供全套可视化功能开发套件，帮助开发人员快速掌握微服务开发能力，保证多团队大规模开发的规范性、标准化以及生产环境的健壮性。平台微服务将碳排放和碳汇指标测算预警管控平台拆分成多个小型服务，包括数据采集服务、数据处理服务、碳排放预警服务、碳汇指标测算服务、数据可视化服务等。每个服务都具有独立的业务能力和功能，并通过 API 网关进行集成和管理。为保证数据的一致性和安全性，采用分布式数据库进行数据存储和共享。通过前端界面进行数据展示和分析，方便用户进行操作和决策。

(1) 基础云环境。平台服务具备云适配能力，可以在私有云、公有云、混合云和跨云上部署运行。

(2) 基础设施层。平台服务在服务管理、数据缓存以及任务调度执行方面建立在基础设施的基础上，服务注册管理与发现、平台定时任务运行能力以及数据缓存支撑能力需要现有成熟的框架作为支撑，如 Nacos、PowerJob、Redis 等。

(3) 组件层。平台服务与定制工具支持多样化、定制化、便携化的前端组件与模块化插件，在定制工具有丰富的 Vue 组件

提供用户使用，包括碳排放和碳汇指标测算预警管控业务，微服务后续还需更多语言开发的前端组件作为支持，如 React、Angular 等。

(4) 基础框架层。平台服务的稳定性、并发处理、性能检测、注册配置都建立在基础框架之上，提供以稳定性为前提如何利用分布式设计模式下支撑高并发数据，监测各个服务的健康状态等。

(5) 服务引擎层。服务引擎层是平台的核心，从组织架构到功能与数据定制再到资源与业务管理，每种引擎具有不同的特点，可以根据不同的业务特点选择最适合的引擎。

(6) 资开发源模型层。平台服务在服务引擎作为功能支撑的基础上提供可视化操作或定制前端模板。

(7) 运维层。平台服务的性能监控、服务配置、部署、异常处理是以 ElasticSearch、Springboot-Admin、SkyWalking 等服务插件作为支撑，提供可视化的监控界面和性能分析。

(8) 规范标准。针对平台内部开发和对外使用集成开发都会有一套开发标准，使提升产品开发的质量与用户实用性和集成开发快速接入。

(9) 内置扩展服务。增加对平台服务的横向扩展性，适应多种应用场景和用户需求。

### 2.2 微服务架构的策略性优化

#### 2.2.1 服务拆分与集成

采用 Spring Cloud 微服务框架进行服务拆分和集成管理，实现服务的动态发现和负载均衡。同时，采用 Docker 容器化技术进行服务部署和管理，提高系统的可扩展性和可维护性。对每个服务进行独立设计和开发，并通过 API 网关进行集成和管理。将数据采集服务拆分为传感器数据采集和企业数据采集两个子服务；将数据处理服务拆分为数据清洗、数据整合和数据计算 3 个子服务；将碳排放预警服务拆分为阈值设定、预警触发和预警通知 3 个子服务；将碳汇指标测算服务拆分为模型构建、算法实现和数据存储 3 个子服务。通过 API 网关对各个子服务进行统一管理和调度，实现服务的灵活调用和扩展。

#### 2.2.2 基于事件驱动的微服务交互

结合 Kafka 的消息队列机制，进一步采用事件驱动架构 (EDA)，使各微服务在响应外部事件时能够更加自主、及时地做出反应。这种模式下，碳排放阈值变动、数据采集完成等关键事件可直接触发相关服务执行，减少不必要的轮询，提高系统的响应速度和资源利用率，确保预警与指标更新的即时性。

#### 2.2.3 微服务治理与持续集成 / 持续部署 (CI/CD)

为了确保微服务架构的长期稳定性和敏捷性，实现高效的微服务治理至关重要。采用 Spring Cloud Config 进行配置中心管理，配合 Spring Cloud Bus 实现配置的动态刷新，有效应对配置变更的挑战。同时，建立一套完整的 CI/CD 流程，借助 Jenkins、GitLab CI 或其他 CI/CD 工具，实现代码的自动构建、测试与部署，确保每次迭代都能快速、安全地交付新功能，加速创新步伐。

#### 2.2.4 安全性与合规性设计

在微服务架构中，数据保护和访问控制成为不容忽视的议题。采

用 OAuth2 与 JWT (JSON Web Tokens) 进行身份验证和授权管理, 确保每个服务间通信的安全性。同时, 遵循 GDPR 或其他地区性数据保护法规, 设计数据隐私保护策略, 如数据最小化原则、匿名化处理等, 保障碳排放与碳汇数据的合规使用。

(1) 人工智能辅助决策。结合机器学习技术, 特别是针对时间序列预测的算法 (如 ARIMA、LSTM), 在碳排放预警服务中引入预测模型, 不仅能够根据历史数据预测未来的碳排放趋势, 还能智能调整预警阈值, 提升预警的准确性和前瞻性。同时, 利用 AI 技术优化碳汇指标的计算模型, 提高评估精度。

(2) 自适应扩展与资源优化。利用 Kubernetes (K8s) 等容器编排工具, 实现微服务的自动伸缩, 根据实时流量和资源使用情况动态调整服务实例数量, 确保在高并发场景下的系统稳定性。结合 Prometheus 和 Grafana 进行监控和性能分析, 实现资源使用的精细化管理, 有效应对突发流量, 减少资源浪费。

### 2.3 技术创新点

(1) 模型驱动的开发方法论革新 (Model-Driven Architecture, MDA)。本平台创新性地融入了 MDA 模型驱动开发的理念, 建立一套高层次的元模型体系, 将业务逻辑、服务架构和组件交互逻辑以统一、抽象的方式表达。这种模型先行的方法, 使开发者能够在更加抽象的业务层面进行思考与设计, 降低了实现细节对业务理解的干扰。通过自动化代码生成与模型到实现的映射, 显著加速了从需求分析到系统实现的转化过程, 提高了开发效率与准确性, 同时确保了系统设计的连贯性和一致性。

(2) 服务组件化与即插即用架构的优化实践。平台设计中, 采用组件化设计方法, 每一服务与组件均遵循“高内聚、低耦合”的设计原则, 确保组件的独立性与可复用性。通过精心设计的接口和服务契约, 限制模块间不必要的逻辑关联, 有效减少模块间的直接依赖, 特别规避了复杂的多对多关系, 从而简化系统架构, 提高系统的稳定性和可维护性。此外, 平台提供了一系列预封装、预测试的服务组件, 支持“即插即用”, 显著降低了开发门槛, 加快了开发进度, 促进了组件的高效复用与灵活配置, 提升了整体开发效率。

(3) 标准化与可视化的组件定制框架。为实现更高效、更直观的开发体验, 平台在前端组件层面建立了统一的标准化框架, 不仅定义了组件的功能、接口、样式规范, 还集成了表单设计、业务规则配置、工作流定制以及报表生成等核心功能模块, 形成了一套全面、一体化的可视化定制工具集。结合后端微服务架构的松耦合特性与云原生技术的弹性部署优势, 开发人员能够在高度集成的开发环境中, 通过拖拽式操作快速构建和配置微服务应用, 大幅缩短了从需求定义到功能实现的周期, 减少了重复造轮子的工作, 使团队能够更加专注于业务逻辑的创新与优化, 推动开发流程的现代化与敏捷化。

## 结语

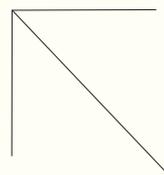
微服务技术为碳排放和碳汇指标测算预警管控平台的建设带来了诸多优势。随着物联网技术的发展, 越来越多的设备和传感器被连接到平

台上, 用于实时监测碳排放和碳汇情况。边缘计算的应用可以将部分计算任务下放到设备端, 减少数据传输的延迟, 提高平台的实时性。同时, 平台可以与其他相关系统进行数据共享和协同工作, 如能源管理系统、环境监测系统等。通过数据的互联互通, 平台能够获取更全面的信息, 提供更准确的碳排放和碳汇指标测算。

随着碳排放和碳汇数据的不断增长, 平台也面临着数据安全和隐私保护的挑战。平台应建立有效的数据质量控制机制, 对数据进行清洗、验证和校准, 以提高测算结果的准确性。加强安全防护和监测机制防止恶意攻击和数据泄露, 在进行微服务拆分时应权衡成本和效益避免过度拆分导致系统复杂度增加。同时, 碳排放和碳汇领域的技术和标准在不断更新和演进, 平台应与时俱进, 及时跟踪并适应这些变化。<sup>[8]</sup>

## 引用

- [1] 何芳, 孙素平, 刘永杰, 等. 数智碳中和园区监管平台设计与展望[J]. 中国信息界, 2024(1):43-46.
- [2] 徐德军, 钟美. 基于微服务架构的自然资源综合监测平台构建研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(5):9-12.
- [3] 何芳, 吴琨, 孙静静, 等. 船舶装备全生命周期管理系统设计与实现[J]. 信息系统工程, 2022,(7):32-35.



# 网络安全分析中的大数据技术运用与探讨

文 ◆ 南阳市政务大数据中心 胡嘉荫

## 引言

互联网时代下，数据体量不断扩大，人们在搜集大量有价值信息的同时，进一步增强了网络安全分析的难度。此外，在数据传输过程中还面临许多风险，需要在网络安全管理中引进大数据技术，以帮助用户洞悉网络安全数据，分析是否存在网络安全问题。

## 1 网络安全分析中运用大数据技术的优势

计算机技术已经在诸多行业中被广泛应用，且随着网络数据的飞速增长，数据处理压力成倍增加。在大数据背景下，将大数据用于网络安全分析，可让数据分析效率得到提升，其主要优势与作用体现在以下4个方面。

### 1.1 数据处理精准度提升

通过大数据技术对不同类型数据进行同步处理，可在网络安全分析中将碎片化的信息进行整合处理，并且从不同的维度、层级分析数据的关联性，以此提升网络安全分析的深度和广度，让结论分析更加准确。

### 1.2 数据信息容量加大

由于大数据技术可存储大量数据并进行复杂计算，因此网络安全环节对大数据技术合理运用

也能扩展数据的存储量，且对非程序化的数据科学处理之后转化为满足网络安全管理的数据类型，进一步提升数据信息的存储能力，扩展信息容量<sup>[1]</sup>。

### 1.3 数据处理速度加快

大数据技术集成了数据采集技术、数据预处理技术、数据分析技术和数据存储技术，实现了对数据的一体化管理，可处理的数据类型也十分丰富。因此数据处理效率极高，为网络安全分析中的数据快速处理带来了积极影响。

### 1.4 运行和管理成本较低

在大数据技术中，分布式数据库处于核心地位，相比结构化数据库在运行成本上更低，且这一硬件系统的运行也更加稳定，减少了系统运行中的故障问题。传统的网络安全分析包含收集日志数据、管理安全设备、维护安全软件等流程，投入的人力和物力较多，而大数据技术则可以自动收集和大量数据，减少手动操作的时间和成本，进而可对问题进行快速处理，最后可通过这一优势在网络安全分析中减少运行成本的投入<sup>[2]</sup>。

## 2 威胁网络安全的主要形式

由于互联网具有开放性特征，为人们带来便利的同时，也带来了网络环境方面的威胁，从而导致用户信息存在泄露的风险。分析当前的网络安全问题可以发现，主要威胁形式有如下3种。（1）零日攻击。在发现系统的安全漏洞或者系统安装安全补丁时，不法分子会通过技术手段制作恶意程序破解安全补丁，进而攻击网络，这种威胁形式具有突发性和强大破坏性，且防御难度大。（2）APT攻击。APT攻击是一种持续性、针对性的攻击方法，危害性体现在攻击前期采集系统结构信息、业务流程，然后分析系统的安全漏洞，通过0 day漏洞持续攻击，具有较强的隐蔽性。（3）云攻击。对海量的网络数据进行处理，云技术得到了普及，用户也将普遍利用云空间进行数据存储，从而导致云平台中的信息成为被攻击对象。

## 3 大数据网络安全分析平台构建

大数据技术支持下的网络安全分析平台特征明显，主要体现在网络

【作者简介】胡嘉荫（1985—），女，河南南阳人，硕士研究生，经济师，研究方向：工商管理、信息技术。

安全分析和大数据技术的结合方面，同时也是网络安全分析更有效的基础，主要包括以下 4 个结构层级。

### 3.1 数据采集层

在网络安全分析工作中，数据采集处于基础地位，其中数据采集是否准确和及时都对平台的运行具有深远影响，因此需要科学建立数据采集层。数据采集层不仅应用了 Flume、Storm、Hive 等技术，使平台及时、全面地采集与传输数据信息，还能够对低活跃度的数据进行快速处理，掌握数据缓存内容，使数据处理系统功能更强大、运行效率更高，为后续的各种工作开展提供安全环境。

### 3.2 数据存储层

数据具有的存储能力对数据处理效率有重要影响，因此，在网络安全分析平台建设的过程中必须重视数据存储层建设。在分布式文件系统支持下可结合数据的来源、内容和特征命名异构数据，提升平台信息存储能力。此外，传统的数据存储技术应用存在诸多问题。例如，多个用户访问系统期间，出现共同使用一组数据或者文件，将明显降低系统的响应速度和运行效率，而分布式文件系统、Database 技术可避免这一问题。

### 3.3 数据分析层

在网络安全分析平台中，数据分析层处于核心地位，对平台的工作水平与工作能力具有深远影响，因此需要建设数据分析层。数据分析层能够合理选择数据分析技术，提升平台的数据信息分析能力和挖掘能力，识别和预防存在的网络威胁。首先，通过 SQL 结构化实现 HDFS 数据信息统计。其次，引入 CPE 技术，把网络安全分析过程视为完整的事件。最后，建立事件库，通过 MapReduce 技术分析其中的事件流，深度挖掘其中的数据，全面优化网络安全分析平台功能。

### 3.4 数据表现层

网络安全分析平台中的数据表现层利用了安全度量技术、可视化技术和预警技术。通过以上技术可以在平台中直接呈现数据处理情况，然后对预警标准与操作流程进行科学设定，如果出现网络风险，技术人员可以及时进行处理。

## 4 大数据技术在网络安全分析中的实际应用

计算机网络安全问题较多，主要问题包括以下 3 个方面。

首先是网站和系统的安全层面问题，存在安全漏洞、恶意网页、攻击风险与网站环境安全问题。其中，安全漏洞包括网络漏洞、网络设备漏洞、操作系统漏洞、数据库漏洞。恶意网页包括虚假发布、恶意代码和网站封锁等。其次是关键基础设施安全层面，包括社会公共服务数据和人们日常生活信息数据，安全问题主要体现在恶意程序与变体，危害智能设备并导致数据泄漏。最后是云安全层面网络安全问题，包括侵犯隐私、数据丢失、违反机密性，因此需要对大数据技术加以应用。

### 4.1 网络信息监管和治理

当前，网络安全威胁和网络中的不良信息存在很大关系，因此分析网络安全问题时应通过技术措施进行信息监管。基于大数据技术的支

持，可以对网络信息进行监测与治理，主要方式如下。首先，技术人员借助分布式系统基础架构和分布式文件系统采集与监控网络中的不良信息。其次，利用平台数据分析层建立用户行为的分析模型。最后，利用采集的数据分析网络信息安全性，判断用户行为是否合规，以拦截不良信息。通过大量的实践证实，采取上述处理技术可以更加准确和全面地分析不良网络信息，从而找出风险信息加以处理。

### 4.2 异常网络流量监控及预警

在网络安全环境分析过程中，平台或者技术人员先用大数据技术监测网络出口端，再结合分析结果预警是否有异常流量问题，其采取的主要技术包括 Hadoop 存储技术、Storm 流分析技术，之后再对比分析结果和正常的指标，将异常的数据信息筛选出来，完成风险隐患的预警和排查工作，具体流程如下。首先，借助大数据技术及时采集 Netflow 原始数据、恶意病毒检测事件、URL 事件。其次，将其上传至网络，以此判断平台的数据分析层是否安全。再次，在数据分析层多维度分析采集的信息，借助大数据分析技术找出异常数据，发现不安全行为。此外，利用 CC 攻击检测、Web 漏洞比对，分析网络中存在的安全隐患。最后，分析结果执行安全防御策略，让网络环境更加安全。

### 4.3 提升信息采集质量

随着信息技术的发展，大数据技术在信息采集工作中呈现出诸多新特征。例如，越来越多的应用通过数据通信技术和信息处理技术开始进行更高质量的数据信息采集，并基于当前的网络信

息采集控制系统，对信息实现了高度集成。大数据时代下，用户高度重视网络信息数据采集是否安全，部分国家还建立了高度集成的信息平台与网络服务系统。因此，应借鉴相关经验，在进行网络安全分析的过程中结合分布式系统和非关系型的数据库，将采集的信息妥善存储，进而满足用户的个性化需求。例如，通过图像感知技术建立现代化信息数据库，满足连接提取需求，从而更好地应用网络信息资源。

#### 4.4 重视情报分析

IPv4/IPv6 网络数据包情报分析技术是情报分析的关键，该技术可以在数据流中找出特征数据，之后利用响应模式匹配算法（如 PPM 概率算法），以此消除数据中的安全隐患。同时，对网络数据交换时也要利用相关的格式与规则。

此外，计算机网络包括多个层级，为了实现多种体系下的计算机网络跨平台连接，在 TCP/IP 模式中应用数据包情报分析技术分析作用明显，分为以下两种情况，一种是在组装数据包期间用自上而下的顺序封装每一层协议；另一种是自上而下地对数据包解析，最终把数据包中的各层协议剥离。

#### 4.5 优化信息传递加密方式

大数据时代下，对信息数据的传递必须进行加密处理。例如，利用数字签名技术对信息加密处理，减少由安全漏洞导致的网络安全问题，通过这一技术验证接收的数据信息，进而避免出现内容伪造的情况。

#### 4.6 安全日志系统化分析

安全日志主要是记录了网络风险和防护中的关键程序，

通过对数据之间的内在关联进行安全分析，并结合用户的异常行为制定分析程序，找出网络结构是否出现问题。安全日志分析的内容较多，并且分析过程复杂，在互联网数据信息体量不断扩大的背景下，进行安全日志的分析难度更大，沿用传统的数据分析手段难以满足分析要求，因此应用大数据技术可以解决以上问题。在日志管理平台中，漏洞扫描器可对多个程序进行扫描，检查网络与端口中的漏洞，一旦发现网络中的漏洞及时告警通知。同时，日志管理平台中还涵盖了 ESET 杀毒程序、FireEye 火眼、卡巴斯基杀毒程序等风险解决方案。具体说来，首先，分析安全日志组成部分之间的关系。其次，把关联的数据整合成模型。最后，综合应用规则管理技术、攻击行为挖掘技术深入分析安全日志。

#### 4.7 对 DNS 系统加强保护

识别网络威胁后应继续保护 DNS 系统，大数据技术在网络安全分析中的应用可以对 DNS 系统更好地进行保护，并对网络威胁更好地防御。当 DNS 程序和大数据技术结合后，针对网络使用流量与安全日志建立风险分析模型，进而将程序中的不同网络数据进行提取，之后再通过多种数据分析程序，了解用户的异常操作，分析 DNS 程序中的网络攻击问题，安全管理中心接收风险分析结果后再开始防控风险问题。该技术应用要点主要有以下 3 点。一是结合 DNS 系统日志与实时流量建立数据分析模型，然后利用大数据技术提取 DNS 系统中的响应时间、发动频率等安全数据。二是利用数据分析模型对数据提取中的异常行为进行分析，缩小流量攻击类型的范围。三是结合分析结果制定预防网络威胁的措施，以此确保 DNS 系统可以安全运行。

#### 4.8 对 APT 攻击问题加以处理

APT 攻击是一种持续性、高级别的网络风险，且不容易筛除，其会对网络安全构成严重威胁。将大数据技术应用于网络平台后，可以综合分析系统中的业务流量以及数据防护日志存在的风险。在网络安全识别与风险分析中，以华为为例，华为制定了技术框架与防控方案。首先，对风险进行主动防御。在风险初期检测期间主要是对用网资料进行排查，分析潜在问题，将风险攻击的时间范围缩短。其次，对风险进行协同处理。在这一环节可以体现出 APT 风险出现的位置，并掌握 APT 攻击特征，打造风险消除系统。最后，动态防御。在后期处理中继续提升风险控制质量，对威胁情报信息进行交互处理，进而调整系统风险控制能力。

## 结语

随着大数据时代的到来，网络平台中的数据分析需求逐渐增多，网络安全分析水平得到了进一步提升，因此，用户必须意识到大数据技术的优势，然后积极构建网络安全分析平台，进而全力保障网络安全。■

## 引用

- [1] 耿倩.人工智能技术在大数据网络安全防御中的运用研究[J].网络安全技术与应用,2023,23(12):164-166.
- [2] 马波勇.基于大数据技术的网络安全分析与应用研究[J].电子技术与软件工程,2022,11(14):23-26.

# 基于知识蒸馏的 加油安全行为检测模型压缩及集成应用\*

文◆华南蓝天航空油料有限公司广东分公司 李 祎 张 闯 冯 剑 管锡昭

## 引言

人们生活水平显著提高的过程中，飞机成为交通领域的重要工具。在需求增长、技术进步的过程中民航业高速发展，创造了巨大的经济效益和社会效益，其中的飞机加油关乎着飞行状态，有关人员必须严格执行行业安全标准。综合飞机加油过程，经常会因错误操作等引发安全事故，在民航事业现代化发展的过程中，为提高飞机加油过程的规范性和安全性，应合理设计预警与监控系统，科学利用知识蒸馏理论，构建加油安全行为模型，全过程、全方位监控加油过程，识别安全风险并预警。基于此，本文重点分析了知识蒸馏下的加油安全行为检测模型压缩和集成应用，以期在实际工作提供技术支持。

## 1 相关研究

人工智能是热点议题，在很多领域都有相对成功的应用。我国多年来在人工智能方面增大了理论研究力度，陆续进行了一定的实践探究，取得了显著的技术成效。例如，面向边缘端的人工智能算法，在很多方面都发挥了优势。为符合边缘端应用需求，相关人员应建立以深度学习为基准的智能模型，并配备高性能的边缘设备，由设备与模型相互配合，压缩深度学习模型。同时，在模型优化压缩方面产生了诸多方法，卷积核优化、参数修剪与共享、知识蒸馏等应用较多。

现阶段，许多管理、监控任务中都需要识别人体行为，以评估行为是否安全与合法。很多专家学者研究了人体动作模型的压缩方法，在原有方法的基础上产生了许多新方法。例如，一些专家清晰介绍了轻量化模型下的异常行为检测过程以及此模型的具体应用；部分学者探究了层间合并、参数量化等模型压缩方法的适用性和实用性，并应用到实际工作中，具有一定可行性，但未深入分析提高模型识别精度的有效措施。总之，虽然模型优化方法相对多样，但是每一种方法都有其各自的特点

和适用条件，具体的工作中应择优选择。以摄像机异常行为数据采集过程为研究对象，隐藏双流网络能改变信息处理方式，直接输入视频图像，在前期无计算、保存光流场信息的过程，可从视频帧中直接生成运动信息的动作网络，在原有的时间流网络中添加该动作网络，形成端与端之间的行为预测模型<sup>[1]</sup>。总体来看，隐藏双流网络比传统双流网络有明显优势，表现在运算速率与识别精度上。由于飞机加油过程期间对行为规范的要求较高，为达到精确识别的目的，本文建立了一种新的模型压缩方式——知识

\*【基金项目】华南蓝天航空油料有限公司广东分公司科技项目“基于AI智能摄像识别技术的员工安全行为管理研究”（HYKJ-202207）

【作者简介】李祎（1997—），男，广东韶关人，本科，助理工程师，研究方向：能源化工、危化品安全管理。

【通讯作者】张闯（1993—），男，河南南阳人，硕士研究生，助理工程师，研究方向：油气储存工程。

蒸馏，不仅能保障模型压缩效果，还能提升识别效率与精度。

## 2 基于知识蒸馏的加油安全行为目标检测方法

### 2.1 DETR 目标检测及其知识蒸馏

DETR (DEtection Transformer, 检测变换) 为目标识别、行为分析方面的常用概念。在实际工作中若能科学利用 DETR, 可全过程、全方位检测目标, 将目标行为、动作与标准情况相对比, 评估目标的行为与动作是否存在异常情况。总体来看, DETR 的特殊之处在于其中无人设计组件, 模型简单, 能够实现端到端的目标检测与识别。

为了发挥 DETR 的作用, 应清晰了解其架构, 核心部分为卷积神经网络特征提取、标准 Transformer 编码器—解码器、预测框与分类。3 个构成部分都具有不可或缺性, 在应用 DETR 架构期间应强化 3 个部分之间的衔接。

民用航空飞机场中为提高飞机加油的安全性, 在日常工作中必须识别加油人员的行为, 做好检测工作。有关人员应利用人工智能、智能巡检理论, 配备具有摄像头的高性能装备, 并同步设计目标检测系统, 将此系统与装备之间建立连接关系。基于深度学习的目标检测算法, 模型的识别效率高、精度高, 能完成多对象、多角度识别。本研究采用了基于 Transformer 的 DETR 算法, 此算法可增强模型的识别能力和泛化能力。利用 DETR 时没有卷积操作的后续环节, 也没有锚框等人工设计组件, 识别过程简单, 能采集到更多更为完整和准确的行为数据。

加油安全行为的专业性强, 单纯采用人工检测导致工作量大, 且难以保持不间断检测。为克服人工检测的弊端, 引入基于知识蒸馏的 DETR 模型压缩方式, 通过合理设计模型、选用算法, 不仅可降低模型大小, 还能高效率、高精度完成检测任务, 减少计算复杂性, 提高结果准确度。民用航空飞机场的面积大, 现场包含了各种设备, 识别时还存在各种干扰因素, 利用 DETR 进行识别时的检测效果较为理想, 但整个过程中的运算量异常大, 针对这一方面, 必须优化与压缩 DETR。

技术进步的今天, 模型压缩方法越发多样化, 许多模型压缩方法的应用范围广、效果佳。知识蒸馏属于模型压缩方面十分有效的方式, 其与剪枝、量化存在明显区别, 主要体现在过程方面。知识蒸馏下应率先建立轻量化小模型, 再设计性能优越的大模型, 调用此模型中的监督信息调整小模型, 保障小模型的性能等达到相应要求<sup>[2]</sup>。从本质来看, 知识蒸馏为模型迁移过程, 将复杂模型或若干模型中的知识直接迁移到另一轻量化模型, 确保此轻量化模型能直接布置在边缘端, 并维持其基本性能。

DETR 计算的复杂性高、空间需求大, 利用知识蒸馏能够妥善解决。在存在 DETR 冗余的情况下可直接利用 Deformable DETR 方法来处理, 无需利用原先基于全局的注意力机制, 简化了推理过程, 且在推理过程中的计算量大幅减少, 参数调整以及控制相对便捷。与此同时, Deformable DETR 方法可直接将模型迁移至前端智能装备, 由模型与装备高度集成进行全面检测<sup>[3]</sup>。此外, Deformable DETR 中还引入了可变形注意力模块, 该模块将更多精力集中在目标矿附近的关键采样点上, 无需关注其他采样点, 在完成数据采集后, 每个特征像素仅与少数特征像素完成交互, 计算量少, 工作效率高。

### 2.2 基本处理流程

以飞机场的巡视为例, 为达到智能化巡检目标, 相关人员应考虑飞机场场景特点, 科学设计 DETR 模型, 同步采用 Deformable DETR 算法压缩模型。第一, 在获取待识别目标的各方面数据后, 应遵循一定的规则将数据进行分类, 可细分为测试数据集和训练数据集。第二, 对不同类型的数据采取不同的处理方法, 如训练数据集应输入目标检测算法训练框架, 在经历训练后自动生成模型, 由前期分类后得到的测试数据集评估该模型的各方面性能。第三, 引入知识蒸馏算法压缩模型, 形成优化模型, 并检验模型性能。第四, 封装优化模型, 在封装好的模型中输入测试数据, 展开一系列分析、预测和判断。

## 3 现场试验结果

### 3.1 软硬件环境

为合理检测目标行为, 基于知识蒸馏的加油安全行为检测模型中应重点关注软硬件环境, 保障智能化系统和模型投入使用后稳定运行。为凸显模型的作用, 应合理设计计算系统板, 为其配备 Nvidia 的 Jetson Xavier 模组, 增强其运算能力。支撑算法模型正常识别目标, 必须在设计与优化模型时关注其性能, 遵循一定的软硬件配备要求, 并采用恰当的安装方式, 如在支撑计算系统板上安装 CUDA 依赖包、Cudnn 依赖包、

表 1 关键目标识别模型测试结果

所用模型	参数量 /MB	压缩比 /%	工作站			支撑计算系统板		
			精度 /%	F1 值 /%	时间 /s	精度 /%	F1 值 /%	时间 /s
原模型	40	—	94.3	96.0	0.1	—	—	—
压缩模型	5	87.5	86.6	87.4	0.03	86.4	87.1	0.5

Pytorch 版本。在安装过程中不仅要下载最新版本，还要严格执行安装规范，提高安装的整体水平。

### 3.2 性能测试

Deformable DETR 方法在模型压缩方面的应用优势明显。为评估其应用效果，假定所用硬件完全相同，对比原模型、压缩模型的差异，关键目标识别模型测试结果如表 1 所示。根据表 1 中的数据，在原模型中采用 Deformable DETR 方法后压缩比高达 87.5%，此压缩率下目标检测模型的精度下降率非常低，仅下降了 7.7%，F1 值下降 8.6%，两者的损失相对较小。为此，知识蒸馏理论下模型压缩率高，但模型的其他性能未发生明显变化。

### 3.3 健壮性测试

在利用 Deformable DETR 方法时应考虑健壮性。为评估健壮性，重点考虑测试样本总数增多的情况下，模型其他指标是否有变动，具体的工作中应对比工作站、支撑计算系统板上模型的运行精度，推理计算平均时间。本文所进行的测试中，模型样本数主要在 200 ~ 2000 之间，为得到相对客观的评价结果，报告值选择目前测试样本集的平均值，仅测定压缩后的模型结果。

支撑计算系统板上压缩模型的检测精度与 F1 相比，在工作站上的数值相对较小，主要因为压缩模型利用了教师模型中的相关知识，能改进整体性能。

结合上述数据，单次识别的 CPU 时间在工作站上仅为 0.03s，支撑计算系统板上的运行时间略长，为 0.5s。总体分析，即使样本数增加，压缩模型在支撑计算系统板上依旧可保持其良好的性能。

### 3.4 集成应用

集成支撑计算系统板、实时监控视频系统，构成功能更为强大的综合性系统，支撑计算系统板接入视频监控系统如图 1 所示。

在建设监控系统时，有关人员应按照前文所述的软硬件的参数等要求选择设备。与此同时，在支撑计算系统板上布设压缩模型，配备边缘计算专用设备，将这些设备与飞机加油场建立连接关系，使系统启动后自动检测加油行为。

## 结语

飞机加油过程的安全风险大，主要由设备、操作、环境等因素引发，为有效降低风险，实现安全监督与管控，管理人员与技术人员应紧密合作，建立基于知识蒸馏的加油安全行为检测模型，通过压缩与集成模型来实现智能化监控。<sup>[5]</sup>

## 引用

[1] 张可,乐全明,黄文礼,等.联合剪枝和知识蒸馏的PCSA-YOLOs防振锤缺陷检测算法[J].电工电能新技术,2022,41(11):59-69.

[2] 吴豪杰,王妍洁,蔡文炳,等.基于隐层相关算子的知识蒸馏方法[J].华东师范大学学报(自然科学版),2022(5):115-125.

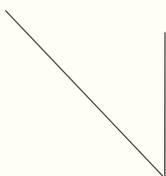
[3] 朱相荣,王磊,杨雅婷,等.基于知识蒸馏的维汉神经翻译模型解码速度提升方法[J].计算机应用与软件,2022,39(11):180-186.



图 1 支撑计算系统板接入视频监控系统

# 基于游戏引擎的工厂模型优化与调度方法研究

文◆中冶武勘智诚（武汉）工程技术有限公司 刘松 杨恒 胡伟路 肖凯 郭茜航 熊嘉诚



向需求，数字工厂用户对于数字工厂模型管理的精度与粒度要求非常高<sup>[2]</sup>。具体来说，数字工厂应用往往需要对每一个区位、建筑、构筑、装置、设备、管线、仪表乃至精细部件（如螺丝、法兰）以三维形式进行汇总与管理，使传统的地理信息切片（3dtiles、osgb、S3MB）等加载海量三维数据的方法不再具有实际价值<sup>[3]</sup>。使用游戏引擎直接加载工厂精细三维模型，会因为 Drawcall 数量超过常规的 GPU 与 CPU 瓶颈而导致无法正常展示工厂场景。

本文在游戏引擎对模型进行空间动态加载与卸载的基础上，使用模型贴图合并、合并贴图模型与精细模型同时保留、模型动态调度、调度事件驱动与调度空间优化的方法，从 Drawcall 数量、精细模型加载范围、调度事件频率降低的 3 个方面提出了一种模型优化与调度方法，保证在场景展示过程中，用户摄像机主要视野范围内模型保持高精度展示的情况下，工厂能够做到高效加载与流畅展示。

## 引言

随着各类引擎越来越广泛地被工业行业使用，融合了前沿计算机图形学技术的游戏引擎越发受到具有海量模型数据的工厂用户所青睐。例如，数字工厂三维总图系统、三维管网“一张图”数字工厂数字孪生、数字工厂超低排管理与智能管网系统等数字工厂应用都在广泛地使用游戏引擎<sup>[1]</sup>。

同时，工厂数据来源非常广，包含 3DMAX、REVIT、SHP 等各类型数据。工厂数据量非常庞大，往往需要数十 GB 模型才能精准描绘一个大型工厂。但考虑到数字工厂用户对工艺安全、测绘精度与工厂运行效率等应用方

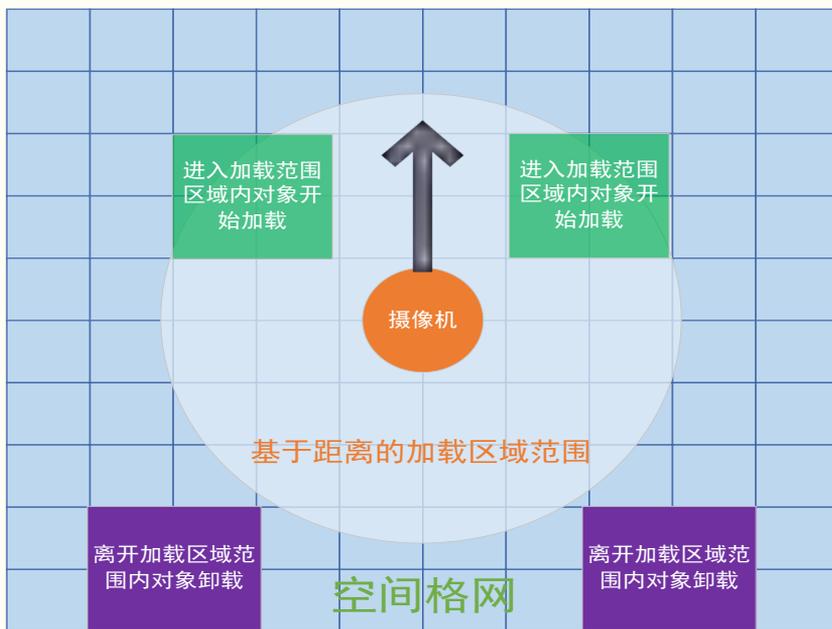


图 1 游戏引擎空间动态加载

【作者简介】刘松（1999—），男，湖南娄底人，本科，助理工程师，研究方向：数字工厂与数字孪生。

## 1 游戏引擎对模型空间动态加载与卸载

游戏引擎为了加载大型游戏场景的三维模型，有效地组织各式各样的场景与特效资源，广泛使用模型的空间动态加载与卸载。

游戏引擎空间加载（见图 1）是基于空间距离的自动数据管理方法<sup>[4]</sup>。在三维场景中，除了作为背景的地理轮廓不参与空间加载与卸载，细节物体，如玩家视野内的道具都会随玩家位置的移动而加载。图 1 中，游戏引擎以玩家为中心绘制加载区域，计算该加载区域与三维场景空间格网的拓扑关系，然后加载与加载区域相交或重叠的三维场景格网，降低在游戏运行中需要加载的模型量，从而使游戏场景能够流畅运行。这种方法同样有效适用于加载工厂场景的细节模型，如仪表、告示牌、路灯与小型建筑等。

## 2 工厂三维场景的特殊性

与游戏场景不同的是，游戏中，玩家通常只需要扮演一个角色，以很低的视角和非常有限的视野范围与三维场景进行互动<sup>[5]</sup>，智慧工厂三维场景常见视角如图 2 所示，工厂用户需要从全厂视野范围、较高的视角位置与多变的视角方向查看整个钢厂，并从特殊视角广泛与各类建筑、构筑物模型进行交互<sup>[6]</sup>。大型建筑物与构筑物是工厂用户最为关注的交互对象。这种与常规游戏不同的交互场景，直接导致了整个工厂的主体建筑、构筑物大量、长时间地占据了用户的主体视野范围。

如果使用游戏引擎默认的处理方法，这些大型建筑物必然作为主体模型对象参与基于距离的加载与卸载中，从而导致大量模型出现需要加载而未加载的状态，破坏了用户的视觉连续性。如果单独为了他们设置为不参与空间加载，高精的建筑模型会给硬件带来巨大的负担，从而造成模型最大承载量的急剧减少<sup>[7]</sup>。

同样，数字工厂不允许被合并制作成切片。一方面，切片化的数据存在大量模型需要加载而未加载的状态，且在不同切片等级切换的场景中尤为明显。另一方面，切片化数据难以抽离出单个模型，极大地阻碍了用户进一步与重点模型进行交互。

然而，主体建筑、构筑物模型本身极为复杂，所使用的材料也千差万别。例如，一栋建筑需要数十张高清贴图才能够清晰准确地表达加载状态，而且使用的材质与贴图也难以复用，如果不对主体建筑、构筑物进行优化，那么整个三维场景在加载主体建筑、构筑物方面会耗费数万 Drawcall（绘制调用次数），耗尽 CPU 与 GPU 资源，使工厂三维场景无法流畅地展示。

因此，为了防止用户视觉体验的连续性被破坏，数字工厂中的主体建筑与构筑物一方面不应该参与空间加载与卸载中，另一方面应找到替代方案，在保证不降低基本显示质量的前提下，降低不参与空间加载与卸载所带来的硬件负担。

## 3 工厂主体建筑、构筑物优化方法的贴图合并及其合理性

图形渲染的原理是 CPU 向 GPU 发送渲染命令，GPU 接收并执行相应的渲染命令。Drawcall 是 CPU 通过调用 DirectX 或 OpenGL 的图形编程接口来命令 GPU 进行渲染操作，CPU 每一次提交命令

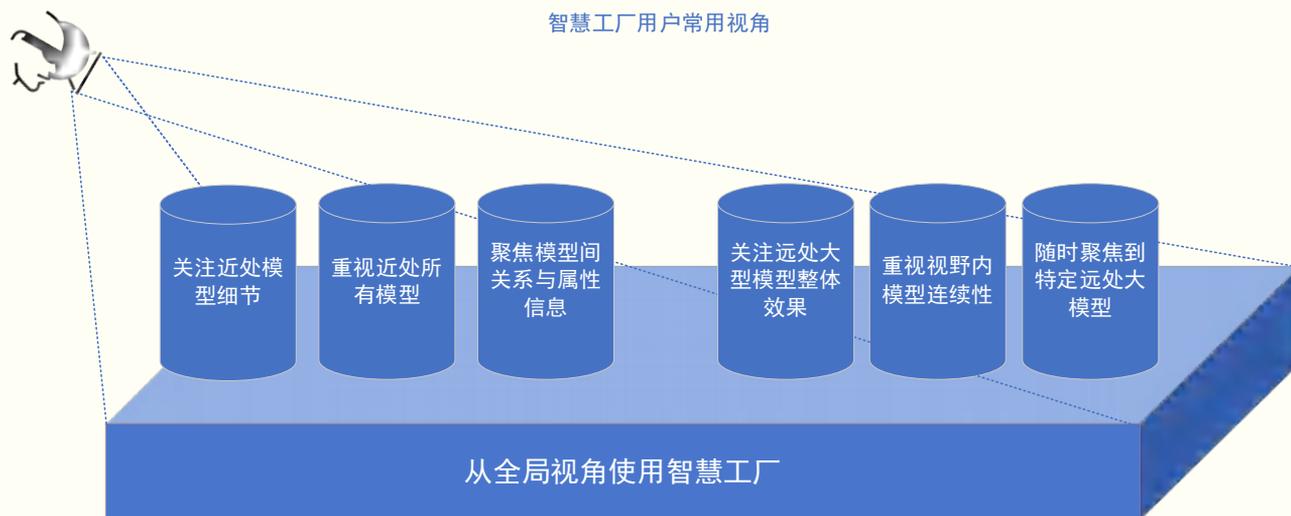


图 2 智慧工厂三维场景常见视角

给 GPU，都需要做大量工作。在渲染每个不同材质的物体时，均需要调用相应的 API。当 Drawcall 过多，CPU 就会产生较多额外开销用于准备工作，花费大量时间将命令提交给 GPU，造成 CPU 负载增加，GPU 资源浪费。

降低 Drawcall 最主要、最直接的方法就是减少模型所使用的材质数量与贴图数量。将一个建筑、构筑物所使用的贴图进行合并与压缩<sup>[8]</sup>，合并成少量的新贴图，降低模型 Drawcall，使用更少的渲染任务完成整个建筑的基本外观绘制，GPU 也将不再需要数十次切换渲染状态，从而提高了每个建筑的渲染效率。

合并贴图模型与原模型近处展示效果对比 (Drawcall:32->2) 如图 3 所示，展示了使用贴图合并后，精细的主体建筑、构筑模型在近处查看与远处查看的对比效果。

从图 3 中可以看出，虽然合并贴图模型在视角距离模型相当近时，会呈现出部分贴图模糊，纹理质量降低的情况，不满足用户对模型精度的需求，但在距离稍远时，合并贴图模型与原模型展示效果相近，Drawcall 占用极大降低。因此，在视角与模型距离很远时，使用合并贴图模型取代原模型进行展示，能够充分保留原有的三维场景质量，减少 CPU/GPU 负担，使三维场景加载更加流畅。

#### 4 合并贴图模型与精细模型调度

合并贴图模型远处展示效果 (Drawcall : 2) 如图 4 所示，原模型远处展示效果 (Drawcall : 32) 如图 5 所示，虽然合并贴图模型提高了渲染效率，但降低了画面



(a) 合并贴图模型近处展示效果 (b) 原模型近处展示效果

图 3 合并贴图模型与原模型近处展示效果对比 (Drawcall:32->2)



图 4 合并贴图模型远处展示效果 (Drawcall : 2)



图 5 原模型远处展示效果 (Drawcall : 32)

质量，未充分利用工厂建模成果。只有合理调度合并贴图模型与精细原模型，才能在不影响三维场景渲染效果的前提下，提高三维场景渲染效率。

通过物体在视口的相对大小决定模型是否显示是一种常规方法。但该方法在数字工厂模型中并不适用。该方法首先需要不断计算物体边界

大小与视口范围的比例，CPU 资源消耗非常大，对于物体数量多的数字工厂场景带来了巨大负担。其次，每个大小各异物体的相对大小视口最合适阈值需要不断调试，一旦设置不合理非常容易出现 GPU 资源浪费。

最直接的调度方法就是通过该模型与用户摄像机之间的距离来判断模型是否使用合并贴图模型<sup>[9]</sup>。例如，当模型判断与摄像机的距离超过 50m 时，精细原模型就会隐藏，它的合并材质模型也就对应地立刻显示，使场景中每个模型都不断地判断这个关系，从而确保只有视角主要视野范围的模型是精细模型，而主要视野外的模型都使用合并贴图模型，从而能够充分结合合并贴图模型的三维渲染效率与原模型的三维渲染精度两大优势。

## 5 合并贴图模型与精细模型调度的综合改进方法

上述提到的调度方法会随着场景物体的增加与场景增大带来新的问题。虽然 Drawcall 数量与 GPU 负担在使用这类方法后大幅降低，但在数字工厂中，场景中合并材质模型与原模型共计数万个，大量的查询带来的 CPU 负担同样也降低了三维场景的渲染效率。

为此，本文从降低查询频率、降低查询对象数目两个基本方向改进合并贴图模型与精细模型调度的查询量。

### 5.1 降低查询频率

降低频率方式为增长每个三维模型与摄像机之间距离的时间间隔<sup>[10]</sup>。这种方式一方面不够及时，调度效果相较于用户视野范围有一定的滞后性；另一方面需要在每一个三维模型上注册一个定时器，使 CPU 占用资源依然很高。同时，如果只是通过定时器来驱动距离计算，那么集中

性的 CPU 负担带来的帧率降低会周期性出现，从而给用户带来困扰。

使用事件驱动三维场景模型调度更加合理。一方面，用户在特定场景查看模型时，绝大部分时间不会进行大范围的距离移动，仅仅是聚焦用户关注的设备、装置。这段时间内模型从精细模型与合并贴图模型相互切换均不会对用户视野范围内的主要三维场景产生改变。因此只需要在用户进行大范围距离移动、视角伸缩时，才让各个三维模型计算与摄像机的距离，调度原精细模型与合并贴图模型，降低模型调度，因此三维场景出现一定的降帧符合用户预期。另一方面，只需要在三维模型上添加一个事件监听器，相较于计时器来说，每个三维模型占用更小的 CPU 资源，降低了因调度需求带来的 CPU 负担。



在这种方法下，每个模型从原本每秒执行数次距离计算，改进为只有用户进行大范围移动、视角伸缩时才进行距离计算，极大地降低了查询频率，减少了合并贴图模型与原精细模型调度所带来的 CPU 负担，保证了合并贴图模型优化场景的有效性。

### 5.2 降低查询对象数目

用户所在的区域与绝大部分区域的模型距离非常远，即使上百米的移动也不会影响这个相距甚远的关系。因此，采用空间四叉树方法<sup>[11]</sup>（类似于图 1 游戏引擎所划分的空间格网）将三维场景空间分成格网，只有在摄像头所在格网、摄像头临界格网的模型才需要判断距离关系，其余模型不执行距离查询，降低距离查询的三维模型数量，减少因查询导致的三维场景短暂帧率降低情况，提高模型调度效率。

## 6 基于游戏引擎的工厂模型优化与调度应用效果

使用 CPU i7-10700、内存为 64GB、显卡 NVIDIA Quadro RTX 5000、显示器刷新率为 120HZ 的电脑，基于游戏引擎（虚幻引擎）平台，对国内某钢厂进行优化并调度处理前后的三维场景帧速率进行测试，工厂模型经过优化与调度前后帧率对比如表 1 所示。表 1 中，对工厂主要建筑以及构筑物模型经过优化与调度后，三维场景的帧率有所提高，达到了在保证视野范围内三维渲染质量的前提下，提高工厂模型加载效率与三维场景流畅度的目的。

### 结语

在游戏引擎对模型进行空间动态加载与卸载的基础上，提

表 1 工厂模型经过优化与调度前后帧率对比

优化与调度	优化前参数	优化后参数	提高比例
工厂 Drawcall 数目	25260	12450	50.7%
渲染帧率	24fps	35fps	45.8%
CPU 每帧计算时间	34ms	26ms	25.7%
GPU 每帧绘制时间	41.6ms	28.6ms	31.7%
视野内主要建筑纹理精度	1024×1024	1024×1024	精度保持不变

出一种模型优化与调度方法，将工厂模型根据显示重要层次进行基础分类，合并主要建筑、构筑模型的所有贴图，降低 Drawcall 调用次数。将贴图合并前的模型与贴图合并后的模型同时保留，并通过动态分析模型与用户摄像机的距离进行动态显示与隐藏，保证用户摄像机主要视野范围内模型保持高精度展示，而作为背景的主体建筑模型最大程度地保留了基本结构与颜色，从而降低 GPU 的渲染数据量，提高三维场景流畅性。使用事件驱动与空间四叉树方法，按需进行精细模型与合并贴图模型切换，降低模型调度所带来的 CPU 成本。基于游戏引擎平台对工厂模型优化调度方法处理前后的帧速率进行测试，结果表明，工厂模型经过优化并有组织调度后，帧速率有所提高，达到了三维模型高效加载且流畅浏览的目的。<sup>[8]</sup>

### 引用

- [1] 刘风旺,卢浩浩,彭志崇,等.基于VR技术的智能工厂教学实践平台[J].信息周刊,2019(35):474.
- [2] 赵子梁,贺刚,李海明.数字化工厂管理系统[J].机械设计与制造工程,2013(1):53-56.
- [3] 陈慧.室内外一体化三维导航系统设计及关键技术研究[D].南京:南京林业大学,2023.
- [4] 王露国.一种基于虚幻引擎的海面网格动态划分及高度场生成方法[P].中国专利:CN114373058A,2022.04.19.
- [5] 应申,侯思远,苏俊如,等.论游戏地图的特点[J].武汉大学学报(信息科学版),2020(45):1334-1343.
- [6] 马书志.智能工厂建设中的数字化应用[J].网络安全技术与应用,2023(6):128-129.
- [7] 姚峰峰,杨绪坤,杨斌,等.基于虚幻引擎和线程池的海量倾斜摄影模型动态调度方法[P].中国专利: CN116245710A,2023.06.09.
- [8] 陈龙,郭军,张建中.三维模型轻量化技术[J].工矿自动化,2021,47(5):116-120.
- [9] 梁成龙,阮明,罗绍辉,等.一种实景三维模型在游戏引擎中加载优化及单体化的方法[P].中国专利: CN110935171A,2020.03.31.
- [10] 董浩.跨平台三维引擎关键技术实现及游戏领域应用[D].上海:上海交通大学,2015.
- [11] 唐立文,汪荣峰,廖学军.基于四叉树的海量空间矢量多边形处理技术[J].装备指挥技术学院学报,2007(3):104-108.

# 教学资源库平台开发研究

## ——以阳江职业技术学院教学资源平台建设为例

文◆阳江职业技术学院 罗明挽

### 引言

随着教育信息化进程的加速推进，构建高效、全面、易用的教学资源库平台已成为提升教学质量、促进教育资源均衡分配、推动教育创新的重要途径。本文深入探讨了教学资源库平台的开发研究，重点分析了该平台的核心功能模块设计，包括课程资源管理、专业成果资源管理、技能竞赛与培训资源管理以及电子教学资源管理等，旨在构建一个能够满足不同用户群体需求、支持多种教学资源整合与共享的平台体系。

### 1 研究背景

近年来，国内外对教学资源库平台的研究与实践取得了显著进展。发达国家如美国、英国等，凭借其先进的信息技术实力和丰富的教育资源积累，构建了众多成熟的教学资源库平台，为师生提供了便捷的资源获取途径和高效的学习支持服务。国内各级教育机构和信息技术企业也纷纷投入资源，研发和推广各类教学资源库平台。然而，尽管取得了一定成果，但国内教学资源库平台在资源质量、功能完善性、用户体验等方面仍存在诸多不足，难以满足日益增长的教育需求。

本研究对于促进教育资源的有效整合与共享、提高教学效率与效果、支持终身学习等方面具有重要意义。首先，研究提出通过优化平台架构设计，实现资源的快速检索与精准推送，有助于提升师生的资源获取效率和学习体验。其次，通过数据分析技术，为教学提供个性化支持，满足不同学习者的需求。本研究将重点围绕教学资源库平台的开发与研究展开，涉及平台的架构设计、功能模块实现、资源管理与共享等多个方面<sup>[1]</sup>。

### 2 教学资源库平台设计

#### 2.1 系统架构设计

平台的总体架构包括前端展示层、业务逻辑层、数据访问层以及基础设施层。前端展示层负责与用户进行交互，提供直观易用的操作界面；业务逻辑层负责处理具体的业务逻辑，如资源管理、查询、修改等；数据访问层负责与数据库进行交互，执行数据的增删改查操作；基

础设施层则包括云服务器、存储系统、安全设施等，为平台提供基础支撑<sup>[2]</sup>。

#### 2.2 主要功能模块设计

##### 2.2.1 课程资源管理模块

课程资源管理模块是平台的核心模块之一。该模块主要用于管理课程资源发布、修改和展示。资源上传后，系统自动分类，便于用户检索。用户通过关键词、课程名称等多种方式快速找到所需资源，并对资源进行评价和反馈<sup>[3]</sup>。此外，该模块还支持多媒体资源的集成与展示，提供丰富的交互体验。

##### 2.2.2 专业成果资源管理模块

专业成果资源管理模块构建了一个展示与分享学生作品和教师科研成果的平台。在该模块，教师将自己的科研成果、教学案例等上传至平台，促进学术合作与知识共享，同时，教学成果也提供学生学习功能，支持作品分类、检索和评论功能，为用户提供便捷的浏览和互动体验。

##### 2.2.3 技能竞赛与资源管理模块

技能竞赛与资源管理模块旨在支持线上线下相结合的技能提升活动。该模块包括竞赛信息发布、报名管理、在线培训等功能，

【作者简介】罗明挽（1979—），男，广东阳江人，博士，副教授，研究方向：机器学习、智能软件开发。

表 1 主要数据库表

表名	描述	主键	主要字段
Users	用户信息表	user_id	user_id, username, password, email, role, first_name, last_name, registration_date
course_resources	课程资源表	resource_id	resource_id, title, description, file_path, upload_date, course_id, uploader_id
academic_achievements	专业成果表	achievement_id	achievement_id, title, abstract, publication_date, author_id
competitions	竞赛信息表	competition_id	competition_id, name, start_date, end_date, description, organizer
training_resources	培训资源表	training_id	training_id, title, description, file_path, upload_date, trainer_id

用户在平台上查看最新的技能竞赛信息，并进行在线报名。

### 2.2.4 电子教学资源管理模块

电子教学资源管理模块整合了电子书、教学视频、在线题库等多种电子资源，为用户提供个性化的学习路径推荐服务。该模块支持资源分类、检索和下载，用户可以根据自己的学习需求选择合适的资源进行学习<sup>[4]</sup>。

## 2.3 数据库设计

数据库设计是平台设计的重要环节之一。为了确保数据的高效存储与检索，本平台设计了合理的数据库结构。数据库包括多个表，如用户表、课程资源表、专业成果表、技能竞赛信息表等，主要数据库表如表 1 所示。

## 3 教学资源库平台实现与测试

### 3.1 平台实现

在明确了教学资源库平台的设计方案后，进入平台的实现阶

段。这一阶段主要涉及前端界面开发、后端服务实现、数据库部署以及接口对接等具体工作。

#### 3.1.1 前端界面开发

前端界面是用户与平台交互的直接窗口，其设计遵循用户体验至上的原则。通过组件化的开发方式，实现了课程资源管理、专业成果展示、技能竞赛与培训资源浏览、电子教学资源推荐等页面的快速开发<sup>[5]</sup>。同时，为了确保界面的美观性和易用性，进行了多次的用户测试，并根据反馈进行了相应的优化。

#### 3.1.2 后端服务实现

后端服务是平台的核心，负责处理业务逻辑和数据交互。对于每个功能模块，分别实现了相应的服务接口，并通过数据库访问层与数据库进行交互<sup>[6]</sup>。在服务实现过程中，注重代码的模块化、可重用性和可扩展性，以便未来能够轻松地进行功能扩展和性能优化。

#### 3.1.3 数据库部署

数据库是平台数据存储和检索的核心<sup>[7]</sup>。根据设计文档中的数据库结构，在选定的 SQL Server 数据库管理系统中创建了相应的数据库和表。在部署过程中，进行了数据表的索引优化和查询优化，以确保数据的高效存储与检索<sup>[8]</sup>。同时，还实现了数据的备份与恢复策略，以确保数据的安全性和可靠性。课程资源展示界面如图 1 所示，专业成果资源展示如图 2 所示，后台资源管理界面如图 3 所示，后台资源发布界面如图 4 所示。

图 1 至图 4 展示了教学资源库的几个主要页面，学生和教师可以通过前台展示页面查阅各类资源，而教师可以通过后台发布和管理相关的资源。



图 1 课程资源展示界面



图 2 专业成果资源展示



图3 后台资源管理界面



图4 后台资源发布界面

### 3.2 平台测试

平台实现完成后,进行全面的测试工作,以确保平台的稳定性和可靠性。测试工作主要包括单元测试、集成测试和系统测试3个阶段。重点进行系统测试,即针对整个平台进行的全面测试。同时,邀请部分目标用户参与测试以评估平台的性能和用户体验。在系统测试过程中,收集了用户的反馈意见,并对平台进行了进一步的优化和改进。通过上述测试工作,确保了教学资源库平台在功能、性能、稳定性和用户体验等方面都达到了预期要求,为未来的平台维护和升级工作打下了坚实的基础。

## 4 结果与讨论

经过系统的设计与实现以及全面的测试与验证,教学资源库平台已成功上线并投入试运行。经过测试,平台稳定、性能达到预期要求<sup>[9]</sup>。平台的不足之处是高并发的处理问题。例如,在多媒体资源的快速上传与高效处理、高并发下的系统稳定性还需要提高。针对这些挑战,未来可采取相应的解决方案,如引入分布式文件系统提升资源上传速度、采用负载均衡和缓存机制优化系统性能等<sup>[10]</sup>。

## 结语

本文围绕教学资源库平台的设计、实现与测试进行了深入研究,通过系统化的分析和实践,成功构建了一个功能完善、性能稳定、用户体验良好的教学资源共享与管理平台,全面实现了课程资源管理、专业成果资源管理、技能竞赛与培训资源管理、电子教学资源管理等主要功能模块。该平台为当前教育教学工作提供了有力的电子资源库支持,为教学的进一步发展奠定了坚实基础。<sup>[8]</sup>

## 引用

- [1] 王雪英,丁心怡,许东,等.高校线上共享教学资源建设的有效路径[J].辽宁工业大学学报(社会科学版),2024,26(3):97-99+121.
- [2] 李赟,陈湘军,周健.江苏职业教育教学资源库建设成效、特色与优化策略——基于2022年校级质量年报的分析[J].工业技术与职业教育,2024,22(3):121-124.
- [3] 刘应波,张燕敏.基于在线开放课程的优质教学资源库建设研究[J].公关世界,2024(12):165-167.

[4] 杨顺弟.基于职业能力的高职计算机应用基础教学资源库建设研究[J].数字通信世界,2024(5):194-196.

[5] 孙俊菊.大数据背景下教学资源库数据加密技术应用与安全研究[C]//河南省民办教育协会.2024年高等教育发展论坛论文集(上册).炎黄职业技术学院,2024:2.

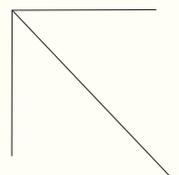
[6] 袁竞.基于区块链技术的在线教学资源库模型构建研究[J].电脑知识与技术,2024,20(7):124-126.

[7] 李猷.高职院校教学资源库数字资源颗粒化建设研究[J].中国现代教育装备,2024(1):43-45.

[8] 于玮.面向专业群的校本教学资源库建设思路与架构研究——以湖州职业技术学院为例[J].科技风,2023(36):146-149.

[9] 黄素德.教学资源库的设计案例分析[J].集成电路应用,2023,40(12):54-56.

[10] 姚丽娟.高职院校专业教学资源库的设计及其应用[J].黑龙江科学,2023,14(19):127-129.



# 关于 SINAMICS S120 替换 SIMODRIVE 611U 伺服控制系统的应用分析

文 ◆ 大冶特殊钢有限公司

罗正兰

武汉塞柏达机电工程技术有限公司 卓永

## 引言

由于西门子 SIMODRIVE 611U (以下简称 611U) 停产, 再购买备件会增加成本。在此情况下, 用户不会再考虑使用 611U, 而是使用新的 SINAMICS S120 (以下简称 S120) 系统替代。本文主要从网络组态、硬件配置、报文传送、定位功能实现方面对两者进行详细的功能对比, 通过实际案例分析其可行性。

S120 可以替代 611U。S120 从功能上比 611U 更丰富, 在对外接口上, S120 的外部接口不论是开关量点还是模拟量点都比 611U 丰富。在 S120 的 CU320-2DP 单元上集成了一个 Profibus-DP 总线

接口或在 CU320-2 PN 上集成了两个 Profinet 网络通信接口。同时, 在调试 S120 的时候更方便, 升级版的 CU 单元标配编程网口, 只需要一根网线即可实现调试或数据上传与下载。

因此, 使用 S120 要比 611U 成本要低很多, 并且方案完全可行。

## 1 S120 与 611U 在端子接线位置的差别

611U 端子图如图 1 所示, CU320-2 端子图如图 2 所示。在替换的时候应根据功能来重新配线连接。在有上位 PLC PROFIBUS 连接的系统, 替换了原来的 611U 后, 上位 PLC 系统硬件配置需要将原来的 611U 修改成 S120 才能使用。

## 2 S120 与 611U 硬件组成的差别

(1) 611U 模块组成, 各模块之间接口采用标准化设计。

主要由以下 4 个部分组成。

- 1) 电源模块 (6SN1145/6SN1146)。
- 2) 功率模块 (6SN1123)。
- 3) 控制板模块 (6SN1118)。
- 4) 其他附件 (DP)。

(2) S120 模块组成, 各模块之间采用标准化设计。

- 1) 电源模块 (SLM)。
- 2) 控制板模块 (CU320-2)。
- 3) 功率模块 (单轴 SMM+ 双轴 DMM)。

## 3 611U 同 S120 参数比较

对于该案例, 611U 所使用的 (P0922=101) 西门子标准报文 101 和 S120 所使用的 (P2079=110) 标准报文 110 基本保持一致。

(1) 位置给定。611U 同 S120 的位置均可用程序步的形式给定, 该类型适应于循环往复式应用场景, 程序步设定图如图 3 所示, 编码器相



图 1 611U 端子图 图 2 CU320-2 端子图

【作者简介】罗正兰 (1985—), 男, 湖北大冶人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 电气与自动化相关设备管理与技术。

Index	No.	Job	Parameter	Mode	Position	Velocity	Acceleration	Deceleration	Advance
1	0	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	160000	2000	100	100	END (0)
2	1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	152500	1000	100	100	END (0)
3	2	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	142400	2000	100	100	END (0)
4	3	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	88400	35	100	100	END (0)
5	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	0	500	100	100	END (0)
6	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	0	300	100	100	END (0)
7	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	0	500	100	100	END (0)
8	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	0	300	100	100	END (0)
9	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	0	500	100	100	END (0)
10	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	0	300	100	100	END (0)
11	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	0	500	100	100	END (0)
12	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	0	300	100	100	END (0)
13	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	0	500	100	100	END (0)
14	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	0	300	100	100	END (0)
15	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	0	500	100	100	END (0)
16	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	0	300	100	100	END (0)
17	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (0)	0	500	100	100	END (0)

图 3 程序步设定图

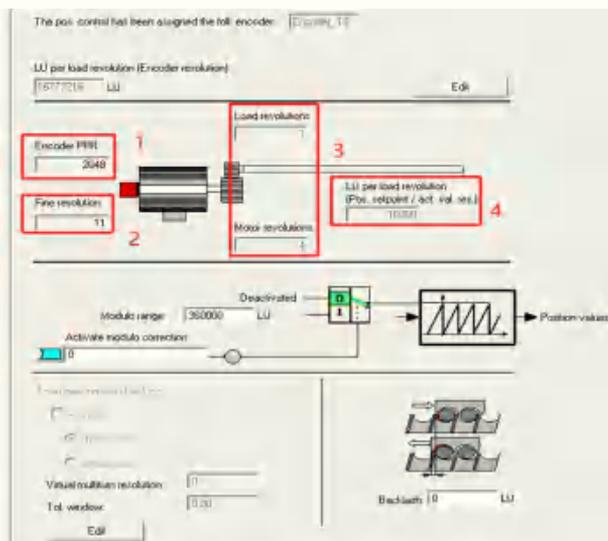


图 4 编码器相关数据设定

注：1、编码器线数（通过辨识）；2、编码器倍频（默认）；3、机械变比；4、步长（单位：mm）

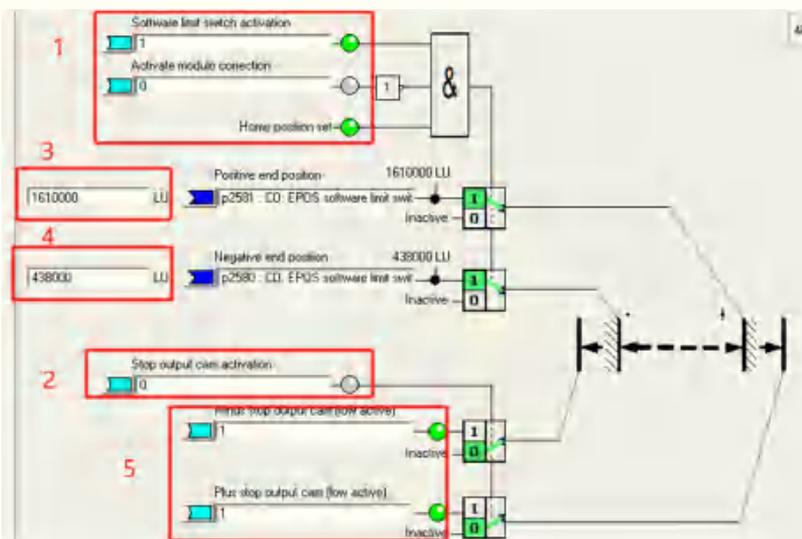


图 5 软限位及硬限位设定

注：S120 软限位：1、激活软限位；2、激活硬限位；3、软限位最大行程（LU）；4、软限位最小行程（LU）；5、硬限位接近开关反馈。

关数据设定如图 4 所示。

对于该案例 611U 同 S120 均可以实现以下与定位相关的功能。

(2) 限位功能。限位分为硬限位和软限位。硬限位为现场接近开关（本案例没有使用），软限位为参数设定，根据零位到最大行程的范围，设定一个合理的运行区间，用来限制设备运行范围，软限位及硬限位设定如图 5 所示。

(3) 关于速度动态限幅值设定、加速度、加加速的设定。611U 动态响应设定如图 6 所示，S120 动态响应设定如图 7 所示。

(4) 标定功能。通过人机界面可以实现人工输入位置，并标定当前实际位置，611U 位置标定如图 8 所示。

此外，还有编码器类型选择、HMI 写设备当前要标定的实际位置值（LU）、通过报文发出 homing 命令等。

#### 4 动态跟随误差监测

(1) 定义

当移动一个轴时，可得到取决于下面量值（跟随误差）的位置参考值和位置实际值之间的误差。

(2) 监测主要考察对象

一是瞬间移动速度。二是位置控制环的平衡特性，即所选

择的位置控制环增益（Kv 系数，P0200:8）的特性。

一个移动轴的跟随误差的波动可对定位精确性的误差予以放大。为了能够检查波动误差，必须跟随误差监测以相应的设定<sup>[1]</sup>。

(3) 操作方式

动态跟随误差监测可用参数 P0318:8 激活或者不激活，且建立在测量值和计算的位置实际值的不断比较基础上。

为了计算跟随误差，应使用一个能够模拟位置控制环的动态性能模型。允许有一个最大跟随误差偏差的公差带（P0318:8），这样监测就不会由于较小的速度波动（由负载变化引起或者由控制环模型误差产生的）而出现错误响应。

(4) 误差情况

在监测功能响应时，驱动用参数 P0104 中设定的减速度（最大减速度）制动直到停止，并发出故障信号 131（跟随误差太高）。实现转换进入跟踪方式。以上为 611U 动态监控方式。

(5) S120 对应动态监控功能

- 1) P2546：动态监控窗口阈值设定（LU）。
- 2) P2552：激活动态监控。
- 3) r2684：监控响应输出状态。

5 静态误差监测

(1) 定义

使用静态监测功能，当轴离开目标位置时可用来进行检测。

(2) 操作方式

静态监测时间（P0325）可在一个移动程序段结束之后启动（位置参考值 = 目标参考值）。减速时间结束后，对其进行循环监测，判断位置实际值是否保持在

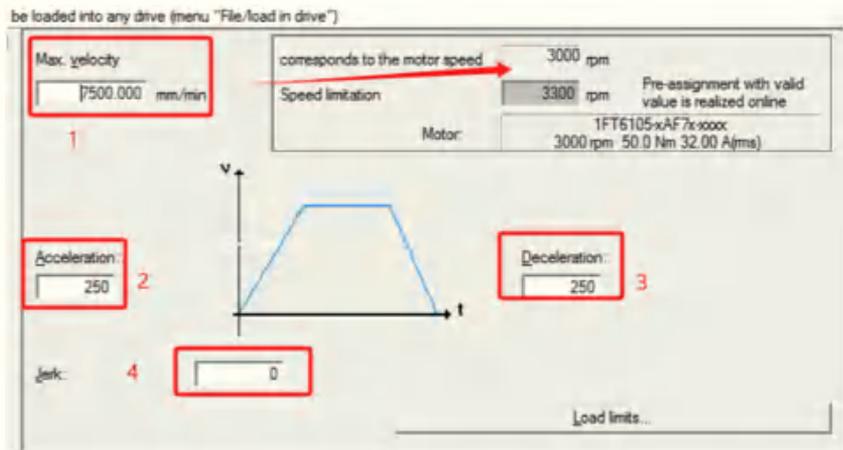


图 6 611U 动态响应设定

注：611U 参数设定：1、最大定位速度（mm/min）；2、加速度（mm/s<sup>2</sup>）；3、减速度（mm/s<sup>2</sup>）；4、激活加加速。

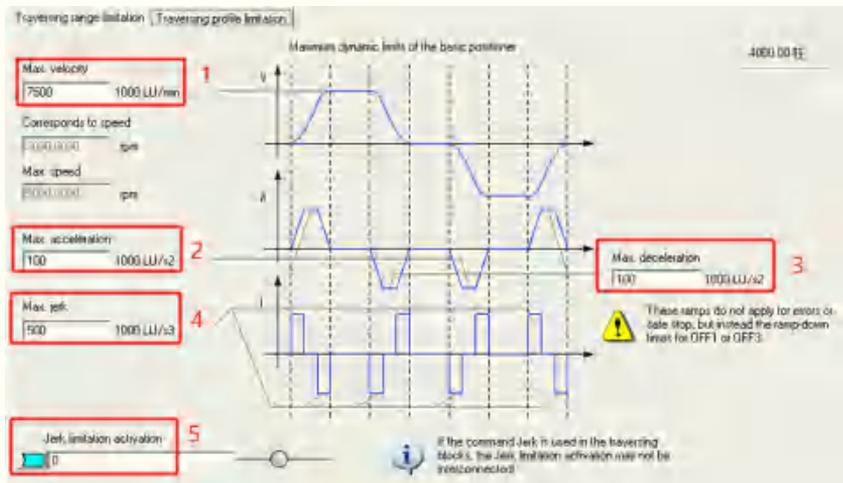


图 7 S120 动态响应设定

注：S120 参数设定 1、最大定位速度（1000LU/min）；2、加速度（1000LU/S<sup>2</sup>）；3、减速度（1000LU/S<sup>2</sup>）；4、加加速设定 1000LU/S<sup>3</sup>；5、激活加加速。

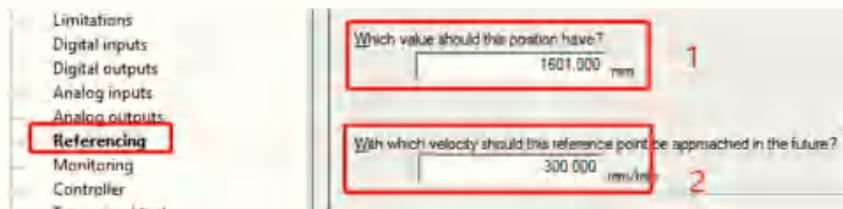


图 8 611U 位置标定

注：611U 位置标定：1、标定当前实际位置（mm）；2、以该速度回到标定位置（编码器为增量式情况下使用，S120 位置标定如图 9 所示）

所定义的静态窗口内（P0326）<sup>[2]</sup>。

(3) 误差响应

在静态监测功能响应时，驱动用参数 P0104 中设定的减速度（最大减速度）制动减速直到停止，并发出故障信号 135（静态监测）。实现

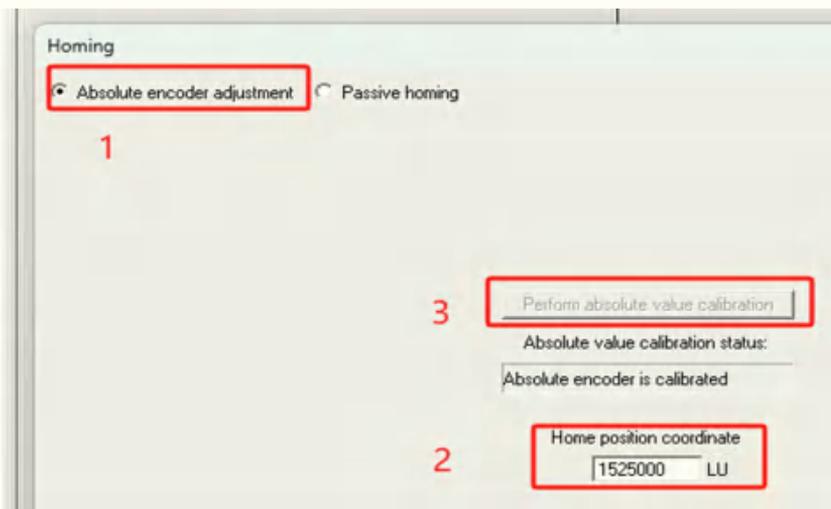


图9 S120 位置标定

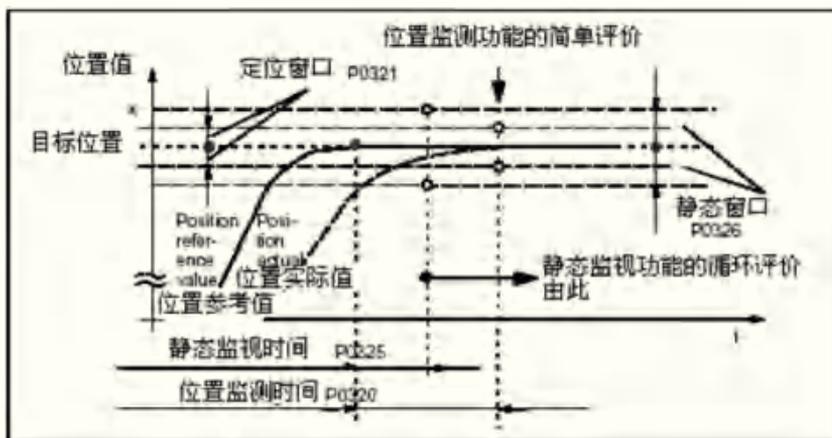


图10 误差监控

转换进入跟踪方式。

(4) 断开

如果出现下面条件，静态监测就不能激活，误差监控如图10所示。

- 1) 启动一个新的移动程序段。
- 2) 选择了跟踪方式。
- 3) 静态窗口有数值零 (P0326=0)。

(5) S120 对应静态监控功能

- 1) P2542 — 静态窗口 (LU)。
- 2) P2544 — 定位窗口 (LU)。
- 3) 静态监控时间 (ms)。
- 4) 定位监控时间 (ms)。
- 5) 位置到达信号。

## 6 利用 S120 的 DCC 功能实现位置写入

考虑原 611U 的标准报文 101 使用了“PIV+PZD”相结合模式在非周期性访问数据中含有程序步中的位置给定、速度给定，而对于 S120

的标准报文 110 使用了 PZD 模式。这样就带来了一个问题，原 PLC 程序中的位置给定、速度给定无法有效传输到程序步中，需要另辟途径接收上位机给定，而且该给定实时变化，需要一定的刷新频率。S120 在 starter 软件平台可以实现 DCC 编程功能，通过功能库参数写功能块 WRP\_D 来实现参数周期访问<sup>[3]</sup>。

## 结语

通过 611U 参数与 S120 参数对比可知，无论从报文定义到基本参数的设定，基本满足原有系统的功能，对于一些现有设备无法实现的读取通道给予程序添加来弥补。例如，通过 S120 标配功能 DCC 编程方式和 PLC 增加的对程序进行对接，额外的数据传送并没有占用过多的报文资源，仅仅在 PLC 中的 DB 区添加了对应数量的字，从而解决了非周期报文传输的问题。

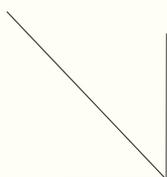
根据现场用户所反映的后续生产情况，升级改造后的设备运行稳定，定位准确，没有出现异常情况。总体效果比原有 611U 运行效果更好，本次改造总体评价为成功。<sup>[4]</sup>

## 引用

- [1] 天津电气传动设计研究所. 电气传动自动化技术手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] 吴元修, 王文华. 职业学校教师. PLC, 变频器, 触摸屏应用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [3] 龚仲华. 交流伺服与变频器应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.

# Python 网络爬虫技术分析

文 ◆ 陕西省广播电视监测中心 盛景 徐超 周涛



爬虫策略，如验证码、IP 封锁等，增加了爬虫的开发难度和复杂度。因此，提高 Python 网络爬虫的稳定性、速度和可靠性成为当前需要解决的重要问题之一。

## 1 Python 网络爬虫技术的特点

Python 网络爬虫技术是用 Python 编写的一种自动化数据获取方式，主要用于从互联网上抓取各类数据并进行分析和处理。相比于传统的手工采集方式，Python 网络爬虫技术具有许多优势和特点。

首先是灵活性高。Python 网络爬虫技术的灵活性较高，可以根据需求自定义爬取数据的内容、爬取的深度、不同网站的反爬策略等，非常适合采集复杂数据。实际应用中，Python 网络爬虫技术可以轻松处理各种限制与障碍，如网站反爬虫机制或者需要登录才能查看的数据等，同时可以通过定时任务、多线程以及异步 IO 等技术实现大规模数据的快速采集。

其次是编写效率高。Python 语言本身具有简单、易学、高效的特点，在 Python 语言的基础上开发 Python 网络爬虫技术的效率非常高。开发者可以利用 Python 丰富的第三方库和模块，如 Requests、BeautifulSoup、Scrapy 等加快开发进程。此外，Python 也提供了交互式命令行界面，使开发者可以在开发过程中快速验证代码并进行调试，从而提高开发效率。

最后是便于扩展。Python 拥有庞大的社区和丰富的第三方库，可以满足各种数据采集需求。此外，Python 网络爬虫技术也可以与其他相关技术集成，如数据库、机器学习、自然语言处理等，从而实现更加深入的数据处理和分析，为企业提供更多样化的数据支持。

## 2 Python 网络爬虫技术应用面临的挑战

### 2.1 反爬虫策略

Python 网络爬虫技术在应用中所面临的挑战之一是反爬虫策略。为了保护自己的数据和资源免受爬虫程序的侵害，许多网站都针对爬虫采取了各种各样的反爬虫策略。这些策略旨在识别和拦截爬虫程序，从而防止它们在网站上爬取数据，以下是一些常见的反爬虫策略。首先是 IP 限制。一些网站会根据 IP 地址来限制访问。如果一个 IP 地址在短时

## 引言

随着互联网的发展和数据的快速增长，网络爬虫技术成为获取各种信息和大规模数据的重要手段。Python 作为目前最受欢迎的编程语言，具有丰富的第三方库和框架，使其成为网络爬虫开发中的首选语言。Python 网络爬虫技术已经被广泛应用于搜索引擎、电商平台、社交媒体、新闻报道等领域，对于推动信息科技和数字化时代的发展起到了重要作用。然而，网络爬虫技术在使用过程中也面临着一些挑战和问题。例如，一些网站限制了爬虫的访问频率和并发连接数，导致爬取效率低下；一些网站采用反

【作者简介】盛景（1985—），男，陕西西安人，本科，工程师，研究方向：网络工程。

间内发送太多请求，那么该 IP 地址就会被封禁，无法再次访问该网站。因此，在使用 Python 网络爬虫技术进行数据采集时，应注意控制访问频率，避免过于频繁地发起请求。其次是 User-Agent 检测。User-Agent 是 HTTP 协议中的头部信息，用于标识客户端类型、操作系统和浏览器等信息。有些网站会检查请求头中的 User-Agent 信息，并将非正常浏览器的请求拦截。为了绕过这个限制，在每次请求时随机生成 User-Agent 信息，模拟不同类型浏览器的请求。最后是验证码。有些网站在登录或者注册时会出现图像验证码，需要用户手动输入验证码才能进行操作。为了解决这个问题，可以使用 OCR 技术对图像验证码进行识别，但是，OCR 技术本身比较复杂，且准确度也无法完全保证。

## 2.2 网站限制

Python 网络爬虫技术在应用中所面临的另一个挑战是网站限制。一些网站会对相同来源的请求进行频率限制，如果发送太多请求，那么就会停止响应请求，或者降低响应速度，从而不能正常获取数据。同时，一些网站要求用户登录才能访问其特定内容，如果在没有登录的情况下尝试访问这些页面，那么会阻止请求或返回错误信息。

## 3 Python 网络爬虫技术的实际应用措施

### 3.1 IP 代理池

在 Python 网络爬虫的实际应用中，采用 IP 代理池技术是一种常见的解决方案，可以有效避免因访问频率过高而被封禁 IP 的问题。获取代理 IP 的方法有很多种，如购买专业的代理 IP 服务或者使用免费的代理 IP 网站，但不论哪种方式，都需要注意获取到的代理 IP 的稳定性和可靠性。另外，由于代理 IP 的不稳定性，应定期检测代理 IP 是否可用，及时剔除无效的代理 IP。搭建好 IP 代理池之后，还应定期对其进行维护。具体来说，应定期检查代理 IP 的可用性，及时清理无效的代理 IP，及时更新代理 IP 池，保证其能够持续地提供稳定、可靠的代理 IP。具体使用时，技术人员可以利用 Requests 库进行请求，通过设置 Proxies 参数来指定代理 IP，具体来说，可以随机从 IP 代理池中选择 IP，并将其作为 Proxies 的值传入 Requests 库的 get 或 post 方法中。在使用 Scrapy 框架进行爬虫开发时，设置 Downloader Middleware 配置项来实现 IP 代理池的使用。具体来说，编写一个自定义的 Downloader Middleware，在其中实现从 IP 代理池中获取代理 IP 并设置到请求头中的逻辑。

### 3.2 随机 User-Agent

采用随机 User-Agent 技术也是一种常见的解决方案，可以有效避免因访问频率过高而被封禁或者限制访问。User-Agent 是指 HTTP 请求头中包含的客户端信息，通常由浏览器类型、版本号和操作系统组成。大多数网站都会根据 User-Agent 来判断用户所使用的浏览器和设备，并针对性地提供不同的响应内容。因此，在进行网络爬取时，设置随机的 User-Agent 可以使爬虫程序模拟不同的客户端访问，从而更好地模拟人类行为，避免被网站检测到并封禁。采用随机 User-Agent 技术的具体步骤如下。一是导入必要的库。在 Python 中，应导入 Requests

库和 Fake\_useragent 库，前者用于发送 HTTP 请求，后者用于生成随机的 User-Agent。二是生成随机 User-Agent。使用 Fake\_useragent 库生成随机的 User-Agent。三是发送 HTTP 请求。在发送 HTTP 请求时，应将上一步中生成的 Headers 作为参数传递给 Requests 库的 get() 或 post() 函数。这里将生成的 Headers 作为参数传递，以模拟客户端访问，并获取服务器响应。

采用随机 User-Agent 技术可以有效避免被网站检测到并封禁，从而提高爬虫程序的稳定性和有效性。但需要注意的是，过于频繁地更换 User-Agent 同样会引起网站的注意，因此需要根据实际情况控制更换的频率。

### 3.3 延迟访问

采用延迟访问技术可以有效避免因访问频率过高而被封禁 IP 或者被网站识别为爬虫并限制访问。延迟访问指的是在爬取网站数据时，设置等待时间来控制爬虫访问网站的频率。通常情况下，爬虫在请求网站页面之前会随机等待一段时间，以达到减轻网站压力、保护自身的目的。Python 爬虫程序中使用延迟访问技术，通常有以下两种方式。一是设置固定的等待时间。在爬虫程序中设置一个固定的等待时间，每次请求网站页面之前都会等待这个时间。二是设置随机的等待时间。在爬虫程序中设置一个随机的等待时间，每次请求网站页面之前都会等待一个随机的时间，可以使爬虫访问网站的频率更加不规律，从而更难被网站识别为爬虫。在使用延迟访问技术时，应注意以下几点。第一是等待时间。等待时间不能太短也

不能太长。如果等待时间太短，那么容易被网站识别为爬虫并限制访问；如果等待时间太长，那么会影响爬虫的爬取效率。第二是随机性。将等待时间设置为随机，以避免在固定时间内请求网页的规律性，从而更难被网站识别为爬虫。第三是模拟人类行为。在设置等待时间时，考虑模拟人类的行为习惯，如在浏览网页时停留一段时间或者在查看图片时花更多的时间等待。第四是不同网站的等待策略不同。不同的网站对于爬虫的反抓取策略不同，有些网站采用了基于 IP 的限制，有些网站则采用了基于 User-Agent 头信息的限制，因此需要根据实际情况来确定是否需要使用延迟访问技术。

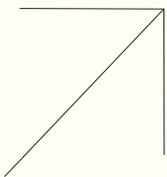
### 3.4 图像验证码识别

在 Python 网络爬虫的实际应用中，有些网站为了防止机器人访问，会在登录、注册或者重要操作时出现图像验证码，要求

用户必须输入正确的验证码才能继续操作。这对于爬虫程序来说是一个非常巨大的挑战，因为传统的爬虫程序无法自动识别验证码，导致程序无法继续执行，因此，采用图像验证码识别技术成为解决该问题的常见方案。图像验证码是指通过图片形式生成的一组随机字符，需要用户手工输入才能完成验证。通常情况下，图像验证码会加入一些噪点、干扰线和旋转等处理方式，以增加其难度，提高安全性，但由于图像验证码的复杂性，传统的字符识别算法很难达到较好的效果。目前，主要有以下几种方法可以解决图像验证码识别的问题。首先是机器学习算法。机器学习算法是指利用机器学习模型对图像进行训练，从而实现图像验证码识别的过程。常见的机器学习算法包括 SVM、KNN、神经网络等，其中深度学习算法效果最好。通过对大量训练数据的学习，机器可以自动提取图像中的特征，并将其转化为分类结果。其次是第三方图像验证码识别服务。目前市面上有一些第三方图像验证码识别服务商，如云打码、超级鹰等，这些服务商通常都提供 API 接口，可以直接在爬虫程序中调用，但使用第三方服务时需要付费，并且存在安全隐患，因此需要谨慎考虑。最后是图像处理算法。图像处理算法是指利用计算机视觉技术对图像进行处理，从而实现图像验证码识别的过程。常见的图像处理算法包括二值化、降噪、切割等，这些算法可以有效增强图像的可读性，从而提高识别率。在爬虫程序中使用图像验证码识别技术，主要有以下几个步骤。第一步是下载验证码图片。先通过爬虫程序模拟用户登录操作，获取到验证码图片的 URL，并将其下载保存到本地。第二步是预处理验证码图片。对于下载的验证码图片，通常需要进行预处理操作，以提高图像的可读性。预处理操作包括二值化、降噪、切割等。第三步是调用图像验证码识别库。根据需要，选择合适的图像验证码识别库，并调用其 API 接口，将预处理后的图片作为输入参数传递给识别函数，获取识别结果。第四步是输入验证码并提交表单。将识别结果作为用户输入的验证码，填入相应的表单字段，并提交表单，如果验证码正确，爬虫程序就可以继续执行下一步操作。

## 结语

Python 网络爬虫技术是当前信息科技和数据科学领域中不可或缺的技术之一。通过本文分析发现，Python 网络爬虫技术在各个行业和领域都有广泛应用，可以为企业重要的数据支持和决策依据。尽管 Python 网络爬虫技术具有诸多优势，但其在使用过程中还面临着一些难题和风险，如反爬虫策略、网站限制等，因此，还应不断地进行探索与研究，寻找更好的解决方案，提高 Python 网络爬虫技术的稳定性、速度和可靠性。未来，Python 网络爬虫技术将继续得到广泛应用和推广，同时也需要更多的研究者和开发者投入到该领域中，共同推动 Python 网络爬虫技术的发展，为信息时代的进步作出更大的贡献。■



# 基于碳减排的变电站建筑优化及暖通设计研究\*

文◆国网江苏省电力有限公司经济技术研究院 沈高锋 邹盛威 戚文

## 引言

近年来,温室气体过量排放,极端天气频繁发生,二氧化碳等温室气体的减排成为国际共识问题<sup>[1]</sup>。中国碳排放量巨大,其中电力企业的碳排放量约占全国总排放量的50%<sup>[2]</sup>,给节能环保工作带来了巨大压力<sup>[3]</sup>。因此,推动电力行业低碳发展是有效控制碳排放和推动尽早碳达峰的重要抓手<sup>[4]</sup>。变电站作为电力系统的重要组成部分,其碳减排目标的实现不能仅依靠政府的政策和措施<sup>[5]</sup>,还应重视变电站内的建筑优化和暖通设计。通过优化建筑结构和设计选择,提高能源利用效率,实现系统的可持续发展,以全面减少变电站的碳排放量。

本文以国家电网通用设计110kV全户内变电站方案(110-A2-6)为例,分析了变电站在建筑设计、暖通设计等方面存在的问题,探讨了建筑布局优化、外观优化、能耗优化、通风技术和制冷技术的措施,提出了采用呼吸式双层玻璃幕墙、辐射制冷、可控弱气流通风、地源能和太阳能联合制冷技术,有效降低变电站碳排放。

## 1 变电站建筑优化

### 1.1 建筑布局优化

自首座变电站建成至今,变电站的布局方式已经历了无数次的技术革新,发展成了目前相对成熟的4种布置方式,即户外变电站、半户内变电站、全户内变电站和地下变电站。本文基于全户内变电站提出一种绿色变电站建筑,在符合功能均衡的前提下,实现土地资源节约与综合利用,减轻环境负荷并优化建筑施工、维护阶段的碳排放量。

绿色变电站建筑所有配电装置和设备均集中布置在同一幢楼内。与110-A2-6典型设计相比,通过采用小型变压器并对内部布局进行调

整,将主变压器室的长宽尺寸由7.5m×10m优化为5.5m×8.0m;通过功能分区并优化设备排列,将110kV GIS室的长宽尺寸由10m×15.5m优化为9.0m×13.7m。无功补偿装置采用SVG,预制舱布置于屋顶;主变散热器布置于主变室上方屋顶,消防泵房设置于变电站主体地下一层。

通过以上对站内建筑组成与组合的优化,变电站全站总建筑面积为888.34m<sup>2</sup>,围墙内用地面积为1290m<sup>2</sup>,与典型设计相比,本次设计方案使站内建筑的平面功能更加紧凑合理,建筑面积更加优化,不同布局方案对比如表1所示。

### 1.2 建筑外观优化

(1)呼吸式双层玻璃幕墙。呼吸式双层玻璃幕墙(Double skin facades,简称DSF)通常是由内外层玻璃面板、间隔空气层、密封层以及通风系统组成,是一种用于建筑外墙的设计和构造技术。呼吸式双层玻璃幕墙的设计显著减少了热传导,直接减少了变电站的能源消耗和相关碳排放,DSF变电站效果图如图1所示。

(2)通风方式的选型。在变电站的通风系统设计中,内循环

表1 不同布局方案对比

方案	围墙内用地面积	总建筑面积	体积
典型设计	3380m <sup>2</sup>	988m <sup>2</sup>	5950m <sup>3</sup>
本文方案	1290m <sup>2</sup>	888.34m <sup>2</sup>	4550m <sup>3</sup>
同比减少	61.83%	10.09%	23.53%

\*【基金项目】国网江苏省电力有限公司经济技术研究院“小型化变电站低碳环保技术研究与应用”项目,编号B710K0217JPE

【作者简介】沈高锋(1989—),男,江苏南通人,硕士,高级工程师,研究方向:工业工程技术。

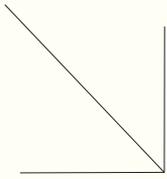


图1 DSF 变电站效果图

和外循环是两种常见的通风方式。内循环通风是指在变电站内部循环空气，不引入外部空气，虽然能减少外部环境对变电站设备的影响，但会使室内空气质量下降，且能源消耗较大。为满足大型幕墙通风散热，节约运行成本，保持室内空气清新的要求，本方案配电装置室外墙采用外循环。

(3) 具体实施方式。呼吸式双层玻璃幕墙以及通风方式需针对不同季节的气候特点和建筑使用需求进行调整。夏季时，外层幕墙通风口开启，内层百叶关闭，利用热压通风效应将热空气排出室外，减少室内热负荷，减少制冷设备的运行时间和能源消耗。冬季时，外层幕墙通风口关闭，减少冷空气的渗透，降低室内热量流失，减少采暖设备的运行时间和能源消耗。

呼吸式双层玻璃幕墙作为一种绿色建筑材料和节能技术，符合当前绿色建筑和可持续发展的理念，有助于推动绿色变电站的建设和发展。

### 1.3 建筑能耗优化

#### 1.3.1 辐射制冷

变电站内能耗的主要来源是控制建筑的环境温度。辐射制

冷是一种利用热辐射现象进行制冷的技术，可以较好地适用于变电站建筑。

辐射制冷超材料是一种具有零能耗制冷功能的技术。其净辐射制冷功率  $P_{net}$  的定义见公式如下。

$$P_{net} = P_{rad} - P_{sol} - P_{atm} - P_{(cond+conv)} \quad (1)$$

式(1)中， $P_{rad}$  为辐射制冷超材料本身对外辐射的功率， $P_{sol}$  为材料吸收的太阳辐射功率，即  $P_{sol} = \alpha I$ ， $\alpha$  为太阳辐射吸收率， $I$  为太阳辐射功率， $P_{atm}$  为材料吸收的大气辐射功率， $P_{(cond+conv)}$  为材料与周围环境的导热和对流换热功率。

这样的优化设计可实现在太阳直射条件下的制冷效果，并且不需要额外的能源消耗，从而达到零能耗制冷的目标。

#### 1.3.2 辐射制冷涂料的结构

辐射制冷涂料中包含的吸热材料负责吸收太阳辐射的能量。除了吸热材料外，辐射制冷涂料中还包含反射材料，用于将一部分太阳辐射反射回空气，减少涂料表面的吸热量。辐射制冷涂料中还包含助剂，用于调节涂料的流动性、干燥速度、抗紫外线性能等。这些助剂通常是一些添加剂或者稀释剂。填料用于增加涂料的体积和厚度，同时提高涂料的遮盖性和耐久性。

#### 1.3.3 辐射制冷超材料的特点

通过采用辐射制冷涂料，充分发挥其优异的光学特性，可以有效降低建筑物的表面温度，减少建筑物吸收太阳热量的能力，进而降低室内空间的温度，节约能源消耗。

## 2 变电站暖通设计

### 2.1 可控弱气流新型通风技术

与舒适性空调或排尘通风系统不同，在变电站通风系统中，应保证电气设备的环境温度得到有效控制，工作区域的高度应确定为电气设备的高度。本文采用一种可控弱气流新型通风方案。

可控弱气流通风原理如图2所示，其核心是在室内通过控制送风

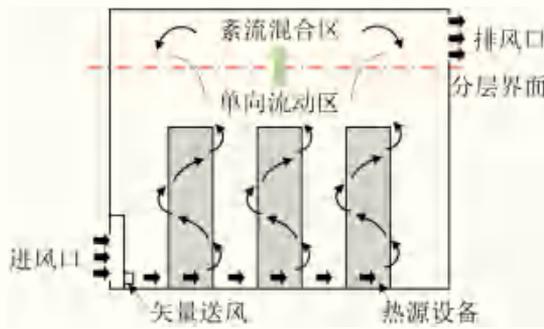


图2 可控弱气流通风原理

量、送风地点、送风方式等参数，以维持稳定的温度梯度和均衡的气流分布。这种系统基于置换通风原理，通过维持最小的气流量，避免了室内局部涡流的产生，从而确保了设备表面的稳定换热，保持了良好的室内空气品质。相比于传统通风系统，使用小功率风机驱动弱气流能有效降低噪音，减少了对周围环境的影响，同时提高了能源利用效率。总体而言，采用可控弱气流通风，可以合理组织室内气流，降低通风能耗。

### 2.2 地源能、太阳能联合制冷

自然环境中，热量资源存在显著的时间和空间的不平衡性，表现为白天热、夜间冷，地表温差变化大、地下温度相对恒定。从热量资源的时空不均衡性出发，结合变电站内设备散热需求大的现状，提出地源热交换、太阳能吸收式联合制冷系统。地源能、太阳能联合空调基于地下岩土温度稳定、夏季太阳照射强烈的自然界规律，以消防水池、雨水回收池储水兼作蓄冷冷源和地源热交换器，采用土壤热交换和太阳能吸收式制冷两种制冷方式，合理利用地下土温和太阳能两种清洁能源。

#### 2.2.1 地源能制冷

大地土壤中蕴藏着丰富的低温地热能源，源热泵系统利用地下土壤的稳定温度特性，通过埋入地下的地耦管与建筑物内部进行热交换。这种系统不仅节能环保，还能够稳定地满足建筑物的热量需求。

#### 2.2.2 太阳能制冷

考虑炎热夏季的现实情况，辅助地源热交换散热不足的问题，增设太阳能吸收式制冷系统，不同制冷方式对比如表2所示。

户内空调采用地源能、太阳能联合制冷系统，巧妙地利用了地下土壤作为冷源以及太阳能联合制冷，并赋予消防水池、雨水回收池换热器

表2 不同制冷方式对比

特征	太阳能吸收式制冷	太阳能吸附式制冷
系统组成	复杂	简单
所需热源温度	85°C以上	60°C以上
适宜制冷温度	-30 ~ 5°C	-15 ~ 5°C
制冷系数	高	低
制冷连续性	好	差
投资	大	小
同能量机组体积	小	大

的第二功能。利用闲置空间，减少地理管数量，发挥可再生能源作用，降低了空调的负荷，预计空调运行能耗降低50%以上。

### 结语

为了对变电站的绿色转型提供思路，本文探讨了变电站建筑优化以及暖通设计。根据分析结果，得到如下结论。

(1) 减小户内设备尺寸，使用呼吸式双层玻璃幕墙，外循环通风和辐射制冷技术等变电站建筑优化措施，可以实现建筑的整体节能并减少碳排放。(2) 提出了变电站的暖通设计的优化措施，采用可控弱气流新型通风技术，基于置换通风原理，合理组织室内气流，通风量大，可有效冷却设备。(3) 采用地源能、太阳能联合制冷技术，利用自然规律和闲置空间，能够降低空调50%以上的运行能耗，达到节能减排效果。

### 引用

[1] 柳祎璇.考虑碳排放权交易的发电企业最优发电量决策研究[D].长沙:长沙理工大学,2018.

[2] 何祉金,赵洱霖,宋珏池,等.基于碳交易市场下的电力企业碳减排决策研究[J].上海节能,2021(2):128-136.

[3] 申刘岗.我国电力行业碳排放效率测算及提升策略研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2019.

[4] 陈怡,田川,曹颖,等.中国电力行业碳排放达峰及减排潜力分析[J].气候变化研究进展,2020,16(5):632-640.

[5] 刘强,田川,郑晓奇,等.中国电力行业碳减排相关政策评价[J].资源科学,2017,39(12):2368-2376.

# 基于多重衰减卡方检测的 北斗 / 低轨 / 惯性多源容错导航方法研究

文 ◆ 中国电子科技集团公司第五十四研究所 卫星导航系统与装备技术国家重点实验室 孙洪驰 王刚  
中国星网网络系统研究院有限公司 陈伟波 欧阳世崇

## 引言

北斗 / 低轨 / 惯性多源导航系统结合各传感器优势,提升复杂环境导航能力,但多源导航系统在进行导航信息融合时也增加了故障风险。本文在联邦滤波框架下构建了该系统信息融合模型,在联邦滤波框架下设计北斗 / 低轨 / 惯性多源导航信息融合模型,并设计了基于多重渐消卡方检测的容错方法,以应对传感器故障及北斗 / 低轨信号异常。仿真验证显示,该方法显著增强了系统环境适应性,为多源融合导航系统容错滤波算法设计提供了参考。

## 1 研究背景

不同导航系统具备不同的应用特点,在实际应用中往往采用多种导航手段构成多源导航系统<sup>[1]</sup>。多源导航系统虽然集成了多种导航手段的优势,但也承担了各导航系统的风险,如果某一个传感器出现异常或故障,其输出的异常量测信息也会污染最终的导航融合结果,增加了多源导航系统的出错概率<sup>[2]</sup>。

本文选取目前应用最为广泛

的惯性导航系统、卫星导航系统以及近年来发展较为迅速的低轨导航系统进行多源导航融合系统的设计。惯性导航系统作为基准导航系统为整个多源导航信息融合系统提供数据基准<sup>[3]</sup>,卫星导航系统主要用来保证多源融合导航系统长时间精度不发散<sup>[4]</sup>,低轨导航系统作为复杂环境下北斗导航系统的可靠保障<sup>[5]</sup>,三者共同构成高精度、高可靠多源融合导航系统。同时针对多源导航系统各传感器故障异常风险,设计了一种基于多重渐消卡方检测的多源导航系统导航方法,能有效改善多源导航系统在各传感器发生随机异常故障量测时的导航融合精度和可靠性。

## 2 北斗 / 低轨 / 惯性多源导航系统模型

多源组合导航系统是由北斗、低轨、惯性3种主要导航传感器为基础而设计。3种导航方式各具特点,其中惯性导航系统最为稳定,不会受到外界干扰,但存在长时间工作精度发散问题。北斗导航系统精度较高,但容易受到信号遮蔽而失效。低轨导航系统信号功率强、精度高,但尚处于建设初期,卫星可见性方面会有不足。多源导航系统综合3种滤波方法的优势进行互补,最大限度地满足不同环境用户的导航需求。

### 2.1 子滤波器模型

子滤波器状态方程如式(1)所示。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}_k \\ \delta t_{u,k} \\ \delta \dot{i}_{u,k} \end{bmatrix} = \Phi_{k/k-1} \begin{bmatrix} \mathbf{X}_{k-1} \\ \delta t_{u,k-1} \\ \delta \dot{i}_{u,k-1} \end{bmatrix} + \mathbf{W}_{k-1} \quad (1)$$

式(1)中,  $\Phi_{k/k-1} \approx \mathbf{I} + \mathbf{F} t$ ,  $\mathbf{F}$ 为捷联惯导系统的误差传播方程。子滤波器量测方程如式(2)所示。

$$\begin{bmatrix} \delta \rho_1 \\ \vdots \\ \delta \rho_n \\ \delta \dot{\rho}_1 \\ \vdots \\ \delta \dot{\rho}_n \end{bmatrix} = \mathbf{H}_k \begin{bmatrix} \phi \\ \delta v_k \\ \delta p_k \\ \mathbf{e}_k \\ \mathbf{V}_k \\ \delta t_{u,k} \\ \delta \dot{i}_{u,k} \end{bmatrix} + \mathbf{V}_k \quad (2)$$

【作者简介】孙洪驰(1992—),男,辽宁新民人,博士,研究方向:飞行器组合导航技术。

式(2)中,  $\mathbf{H}_k$ 为北斗、低轨导航系统量测方程。

### 2.2 北斗 / 低轨 / 惯性导航信息融合模型

北斗 / 低轨 / 惯性多源导航系统采用联邦滤波框架进行设计, 联邦滤波基本流程如下。

假设共有  $N$  个子滤波器, 各个子滤波器的状态空间模型如下。

$$\begin{cases} \mathbf{X}_k^{(i)} = \Phi_{k/k-1}^{(i)} \mathbf{X}_{k-1}^{(i)} + \mathbf{W}_k^{(i)} \\ \mathbf{Z}_k^{(i)} = \mathbf{H}_k^{(i)} \mathbf{X}_k^{(i)} + \mathbf{V}_k^{(i)} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} E[\mathbf{W}_k^{(i)}] = 0, E[\mathbf{V}_k^{(i)}] = 0, E[\mathbf{W}_k^{(i)}(\mathbf{V}_j^{(i)})^T] = 0 \\ E[\mathbf{W}_k^{(i)}(\mathbf{W}_j^{(i)})^T] = \mathbf{Q}_k^{(i)} \delta_{kj}, E[\mathbf{V}_k^{(i)}(\mathbf{V}_j^{(i)})^T] = \mathbf{R}_k^{(i)} \delta_{kj} \end{cases} \quad (4)$$

$\mathbf{X}_k^{(i)} = \left[ \left( \mathbf{X}_k^{(ci)} \right)^T \left( \mathbf{X}_k^{(bi)} \right)^T \right]^T$  为个子滤波器的状态量, 其包含  $\mathbf{X}_k^{(ci)}$  和  $\mathbf{X}_k^{(bi)}$  两项。其中  $\mathbf{X}_k^{(ci)}$  为所有子滤波器公共部分,  $\mathbf{X}_k^{(bi)}$  为第  $i$  个子滤波器独有的状态量。不同子滤波器且对应的状态估计协方差矩阵如式(5)所示。

$$\mathbf{P}_k^{(i)} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_k^{(ci)} & \mathbf{P}_k^{(cibi)} \\ \mathbf{P}_k^{(bici)} & \mathbf{P}_k^{(bi)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

联邦滤波架构下主滤波器的融合模型如式(6)所示。

$$\begin{cases} \mathbf{P}_k^g = \left[ \sum_{i=1}^N \left( \mathbf{P}_k^{(ci)} \right)^{-1} \right]^{-1} \\ \hat{\mathbf{X}}_k^g = \mathbf{P}_k^g \sum_{i=1}^N \left( \mathbf{P}_k^{(ci)} \right)^{-1} \mathbf{X}_k^{(ci)} \end{cases} \quad (6)$$

$\hat{\mathbf{X}}_k^g$ 、 $\mathbf{P}_k^g$  为主滤波器状态融合估计结果及其估计协方差阵。

根据主滤波器融合结果将子滤波器重置为式(7)。

$$\begin{cases} \mathbf{P}_k^{r(i)} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_k^g & \mathbf{A} \mathbf{P}_k^{(cibi)} \\ \mathbf{P}_k^{(bici)} \mathbf{A}^T & \mathbf{P}_k^{(bi)} \end{bmatrix} \\ \hat{\mathbf{X}}_k^{r(i)} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{X}}_k^g \\ \hat{\mathbf{X}}_k^{(bi)} \end{bmatrix} \end{cases} \quad (7)$$

式(7)中,  $\hat{\mathbf{X}}_k^{r(i)}$ 、 $\mathbf{P}_k^{r(i)}$  为反馈重置后子滤波器状态融合估计结果及其估计协方差阵。

反馈重置后子滤波器时间更新改为式(8)。

$$\begin{cases} \hat{\mathbf{X}}_{k+1/k}^{(i)} = \Phi_{k+1/k}^{(i)} \mathbf{X}_k^{r(i)} \\ \mathbf{P}_{k+1/k}^{(i)} = \beta_i^{-1} \left[ \Phi_{k+1/k}^{(i)} \mathbf{P}_k^{r(i)} \left( \Phi_{k+1/k}^{(i)} \right)^T + \mathbf{Q}_k^{(i)} \right] \end{cases} \quad (8)$$

式(8)中,  $\beta_i$  为信息分配因子, 子滤波器量测更新过程不变。

联邦滤波架构下采用范数法计算信息分配因子, 具体公式如式(9)所示。

$$\beta_i = \frac{\left( \left\| \mathbf{P}_k^{(ci)} \right\|_2 \right)^{-1}}{\sum_{j=1}^N \left( \left\| \mathbf{P}_k^{(cj)} \right\|_2 \right)^{-1}} \quad (9)$$

式(9)中,  $\left\| \mathbf{P}_k^{(ci)} \right\|_2$  表示  $\mathbf{P}_k^{(ci)}$  的欧几里得范数。

### 3 基于多重衰减卡方检测的多源导航联邦滤波改进算法

多重衰减卡方检测目标是滤波器残差, 且要求残差满足高斯分布, 量测残差为  $\mathbf{v}_k = \mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k \mathbf{x}_{k/k-1}$ , 且  $\mathbf{v}_k \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{P}_{k/k-1}^z)$ , 构建残差统计量  $\kappa_k$ , 满足式(10)。

$$\kappa_k = \mathbf{v}_k^T \left( \mathbf{P}_{k/k-1}^z \right)^{-1} \mathbf{v}_k \sim \chi^2(m) \quad (10)$$

式(10)中,  $m$  为残差矢量维度。

式(10)表明统计量  $\kappa_k$  满足自由度为  $m$  的卡方分布, 根据假设检验理论, 检测判别公式如式(11)所示。

$$\begin{cases} \kappa_k \geq \chi_\gamma^2(m), \text{异常} \\ \kappa_k < \chi_\gamma^2(m), \text{正常} \end{cases} \quad (11)$$

式(11)中,  $\chi_\gamma^2(m)$  为卡方显著性检验阈值。

多重衰减卡方检测则是在传统卡方检测上增加了两项改进, 第一项改进是对多维残差矢量的各分量进行独立检测。优点是对于北斗导航或者低轨导航来说, 需要同时观测多颗卫星来获取量测信息, 如果只是某一颗导航卫星出现异常, 对残差矢量的各通道独立检测可以保留正常卫星量测数据, 只处理异常卫星, 不会对其他卫星量测造成影响。残差矢量独立检测统计量的数学模型如式(13)所示。

$$\kappa_k[i] = \frac{\mathbf{v}_k^2[i]}{\left( \bar{\mathbf{P}}_{k/k-1}^{zy} [i, i] \right)^{-1}} \sim \chi^2(1) \quad (13)$$

$i = 1, 2, \dots, m$

第二项改进是根据残差分量偏离程度对其进行自适应衰减处理, 即在残差分量偏差不大时,

对其保留一部分权值，提高信息的利用率。而当残差偏差较大时，其权值将衰减到0附近，能够屏蔽其影响。自适应衰减规则如式(14)所示。

$$\hat{v}_k[i] = \zeta v_k[i]$$

$$\zeta = \begin{cases} 1, & 0 \leq \kappa_k[i] < z_{\alpha}^2(1) \\ \exp\left(-\frac{\kappa_k[i] - z_{\alpha}^2(1)}{z_{\alpha}^2(1)}\right), & \kappa_k[i] > z_{\alpha}^2(1) \end{cases} \quad (14)$$

式(14)中， $\zeta$ 为自适应衰减因子。

#### 4 北斗/低轨/惯性多源导航系统综合仿真验证

惯导作为参考系统具有较高的可靠性，默认其不发生故障。北斗和低轨导航基于电磁信号，存在出现故障的风险。在多传感器偶发故障场景下多源导航系统的位置估计误差对比如图1所示。

仿真验证中主要对比了抗时延联邦滤波算法(Anti Delay Federated Filter,ADFF)、基于卡方检验的抗时延联邦滤波算法(Chi Square Anti Delay Federated Filter,CS-ADFF)和基于多重衰减卡方检测的抗时延联邦滤波算法(Multiple Fading Chi Square Anti Delay Federated Filter,MFCS-ADFF)。对于北斗和低轨子滤波器来说，量测为各卫星信号的伪距和伪距率信息，当某几颗卫星信号收到干扰而出现异常时，常规的卡方检测会直接将整个子滤波器隔离，这种“一刀切”的处理方式浪费了部分可用量测信息。而多重衰减卡方检测是对各卫星信号独立检测，可以做到只隔离异常信号，保留正常信号通道的量测信息，因此量测异常期间子滤波器依然可以正常工作，导航结果不受影响。

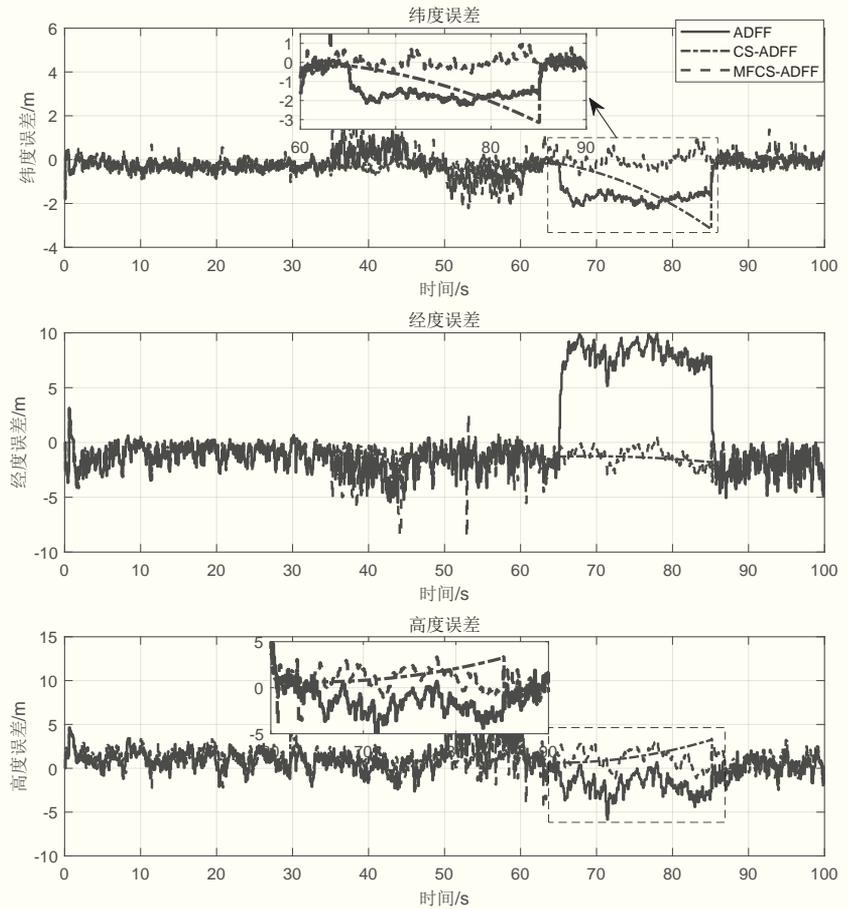


图1 位置估计误差对比

#### 结语

本文首先建立了北斗/低轨/惯性多源导航系统模型，然后针对传感器量测异常或信号中断，利用多重衰减卡方检测设计了一种基于多重衰减卡方检测的联邦滤波算法，最后利用计算机仿真对所提出的方法进行验证。仿真结果表明，本文所提出的容错多源导航系统能有效适应多传感器量测异常，速度、位置估计精度能够实现提高一个数量级的效果。

#### 引用

[1] 庾靖,李蓬蓬,魏征,等.组合导航系统故障诊断和隔离算法研究综述[J/OL].无线电工程:1-11[2024-07-23].  
 [2] 沈聪,高铭,陈夏兰,等.城市遮挡环境下NHC增强GNSS/INS深组合系统研究[J/OL].无线电工程:1-11[2024-07-23].  
 [3] 龙腾,穆荣军,苏炳志,等.双天线GPS/MEMS-INS深组合导航方法研究[J].宇航学报,2021,42(1):92-102.  
 [4] 沈利荣,李守兵,孙海峰,等.基于Starlink机会信号/INS的组合导航方法[J].导航定位与授时,2024,11(2):72-82.  
 [5] 伍蔡伦,郎兴康,王同,等.基于低轨星的通导融合安全定位技术体制与性能验证[J].空间电子技术,2023,20(6):118-124.

# 核反应堆智能热工水力监测系统的设计与实现

文 ◆ 中国核动力研究设计院 林欣茹

## 引言

核反应堆的运行安全与效率直接关系核电站的整体性能。随着核电技术的发展，传统的人工监测方式已无法满足现代核电站对热工水力参数实时、准确监测的需求。当前，智能化监测技术成为提升核反应堆运行安全性和经济性的关键。然而，现有的监测系统在数据处理速度、预警精度以及远程操控等方面仍存在不足，亟须开发一种集成实时监测、智能预警与远程控制功能的新型监测系统，以保障核反应堆的稳定运行并提高核电站的整体管理水平。

## 1 需求分析

### 1.1 功能需求

系统需具备数据实时监测，精准采集核反应堆热工水力参数。风险

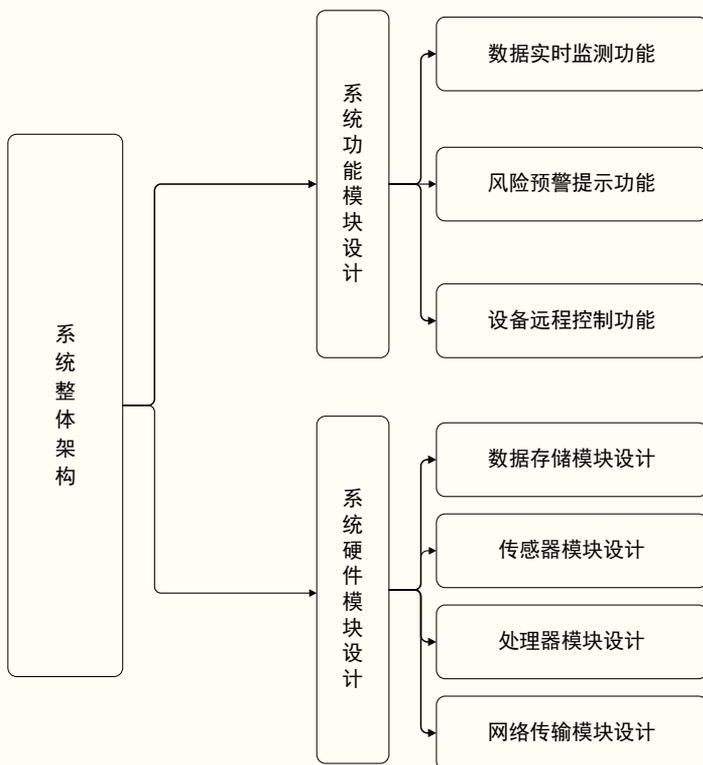


图1 系统整体架构图

预警提示要能准确识别隐患并预警。设备远程控制实现对关键设备调控。报表自动生成可高效处理数据并生成可视化报表，各功能协同为反应堆安全运行提供保障。

### 1.2 性能需求

系统性能上，数据存储需大容量、低延迟，满足海量数据存储。传感器要高精度、快速响应。处理器应具备强大的计算与高效实时处理的能力。网络传输要稳定高速、低延迟且安全，确保数据传输实时性与可靠性，适应核反应堆复杂运行环境。

## 2 核反应堆智能热工水力监测系统设计

### 2.1 系统整体架构

核反应堆智能热工水力监测系统的整体架构分为系统功能模块设计和系统硬件模块设计两部分（见图1）。系统功能模块设计包括数据实时监测功能、风险预警提示功能、设备远程控制功能3个部分，分别对应了系统的主要功能需求。而系统硬件模块设计则包含了数据存储模块设计、传感器模块设计、处理器模块设计和网络传输模块设计4个部分，分别对应了系统的主要硬

【作者简介】林欣茹（1991—），女，四川绵阳人，硕士研究生，助理研究员，研究方向：热能与动力工程。

件需求。整个系统架构旨在实现对核反应堆热工水力参数的高精度、连续采集与分析以及风险预警与远程控制等功能。

## 2.2 系统功能设计

### 2.2.1 数据实时监测功能

数据实时监测功能的设计旨在实现对核反应堆热工水力参数的高精度、连续采集与分析。该模块主要由传感器网络、数据预处理单元以及实时数据库系统构成。传感器网络包括温度、压力、流量等传感器，传感器按照核反应堆关键部位的布局进行分布式部署，确保覆盖所有重要监测点<sup>[1]</sup>。数据预处理单元采用嵌入式系统，内置卡尔曼滤波算法，对传感器采集的原始数据进行实时去噪与校正，提高数据的质量。实时数据库系统则利用时间序列数据库技术，存储经过预处理后的数据流，并支持高效查询与数据回溯功能<sup>[2]</sup>。系统还配备了数据完整性校验机制，一旦检测到数据异常或缺失，会自动触发冗余备份系统，保障数据链路的连续性和完整性。

### 2.2.2 风险预警提示功能

风险预警提示功能基于核反应堆运行参数的历史与实时数据，利用机器学习算法构建动态风险评估模型，以识别并预防潜在的安全隐患。该功能模块利用历史运行数据训练分类器，如支持向量机（SVM）或随机森林（RF），以区分正常与异常工况的特征。在线监测系统将实时采集的数据输入至训练好的模型中进行实时评估<sup>[3]</sup>。当预测值超过预设阈值时，系统将触发预警机制，根据风险等级的不同，采取声光报警、图形界面提示等方式向操作人员发出警告，并同步将

警报信息传送至远程监控中心。为了提高预警的准确性和可靠性，系统还引入了基于规则的专家系统，结合领域专家的知识对预警结果进行二次验证。预警提示功能还支持自学习机制，不断积累新的数据样本，持续优化模型参数，以适应核反应堆运行环境的变化。

### 2.2.3 设备远程控制功能

设备远程控制功能的设计集成先进的通信技术和自动化控制算法，实现对核反应堆关键设备的远程监控与调控。该模块主要由可编程逻辑控制器（PLC）、工业以太网通信模块以及人机交互界面（HMI）组成。PLC 作为现场级控制器，负责接收来自中央控制系统的操作命令，并执行相应的控制逻辑，驱动执行机构（如阀门、泵）完成特定任务<sup>[4]</sup>。为了保证控制指令的准确执行，PLC 内部集成了状态监测子系统，实时监控设备运行状态，并在检测到异常时自动触发保护机制，防止误操作导致的安全事故。工业以太网通信模块提供了高速、可靠的双向数据传输通道，确保控制指令与状态反馈信息的及时传递。系统还采用了冗余设计，包括双路通信通道与多重故障切换机制，增强系统的鲁棒性。人机交互界面则为操作员提供了直观的操作界面，支持图形化显示设备状态与操作记录，便于监控与调试。

## 2.3 系统硬件设计

### 2.3.1 数据存储模块设计

数据存储模块设计采用了高性能的企业级存储解决方案，具体选用了 EMC 的 VNX 系列存储阵列。该设备具备大容量、高可靠性和低延迟的特点，能够满足核反应堆智能热工水力监测系统对海量数据存储的需求。VNX 阵列支持 RAID 5 和 RAID 6 配置，确保数据冗余和容错能力。系统还配备了高速缓存（高达 64GB）以加速频繁访问的数据读写操作，并采用了 SSD（固态硬盘）与 HDD（机械硬盘）混合架构，前者用于缓存热点数据，后者则用于持久存储。为了保障数据的安全性，VNX 阵列还支持加密功能，采用 AES 256 位加密标准，确保即使在数据传输或存储过程中遭到非法访问，也能保护敏感信息不被泄露<sup>[5]</sup>。

### 2.3.2 传感器模块设计

传感器模块的设计选择了高精度、耐高温、抗腐蚀的工业级传感器，主要包括“E+H”的压力传感器（型号 PMP21）、罗斯蒙特的温度传感器（型号 644）以及 ABB 的流量计（型号 A+ 流量计）。传感器具有良好的稳定性和耐用性，能够在极端环境下正常工作。压力传感器 PMP21 具备  $\pm 0.075\%$  的测量精度，适用于  $-40^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$  的工作温度范围；温度传感器 644 具有  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  的精度，适用于  $-200^{\circ}\text{C} \sim 850^{\circ}\text{C}$  的测量范围；流量计 A+ 能够准确测量液体、气体和蒸汽的流量，最大量程比可达 100:1。所有传感器均利用 RS485 接口与数据采集卡连接，并采用 Modbus RTU 协议进行通信。

### 2.3.3 处理器模块设计

处理器模块的核心组件为西门子 SIMATIC S7-1500 系列可编程逻辑控制器（PLC），该系列控制器以其强大的计算能力和高效的实时处理能力著称。具体型号为 CPU 1516F-3PN/2DP，其主频达 1GHz，内存容量为 1MB，足以应对复杂的数据处理任务。该控制器支持 PROFINET

和 PROFIBUS DP 两种通信协议，便于与其他工业设备互联。为了实现高效的数据处理，处理器模块内置了先进的数据预处理算法，如卡尔曼滤波器，用于去除传感器数据中的噪声干扰。

#### 2.3.4 网络传输模块设计

网络传输模块设计采用工业级以太网交换机（型号 Moxa ICS-G7848A）和光纤收发器（型号 Moxa IMC-101G-C-SC），以构建稳定、高速的通信网络。ICS-G7848A 交换机支持 48 个千兆端口，能够提供高达 248 Gbps 的背板带宽，确保数据传输的实时性。该交换机具备环网冗余技术（Ring Switching），可在网络中断时快速恢复连接，最小化数据丢包率。IMC-101G-C-SC 光纤收发器则用于将电信号转换为光信号，单模光纤进行远距离传输，最大传输距离可达 20 公里。为了适应恶劣的工业环境，网络设备均采用 IP67 防护等级，具备防尘防水功能，并能在  $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$  的温度范围内稳定工作。

### 3 系统运行测试

#### 3.1 搭建测试环境

测试环境的搭建基于核反应堆模拟环境，采用与实际运行环境相近的硬件配置与软件版本。测试平台为 Linux CentOS 7.8，与生产环境保持一致。环境模拟中，数据存储模块采用 EMC VNX 5500 存储阵列，处理器模块选用 Intel Xeon E5-2680 v3 处理器，传感器模块与网络传输模块则严格按照设计中选用的工业级设备。测试过程在模拟核反应堆热工水力工况下进行，包括正常运行、异常模拟与极限条件测试，以验证系统功能与性能的稳定性和可靠性。

#### 3.2 测试结果分析

##### 3.2.1 功能测试分析

功能测试中，系统在模拟的核反应堆运行环境中稳定运行，所有功能模块通过测试，表现符合设计预期，数据采集频率、预警准确性和控制响应时间均达到或超过设计目标，功能测试结果如表 1 所示。

表 1 功能测试结果

测试场景	测试指标	测试数据	测试结果	结果分析
数据实时监测	数据采集频率	32.7 次/s	通过	系统实时性达到设计要求
风险预警提示	预警准确性	98.60%	通过	预警模型准确识别异常
设备远程控制	控制响应时间	0.14s	通过	响应速度满足远程操作需求
报表自动生成功能	报表生成时间	1.8min	通过	生成效率高，数据准确

表 2 性能测试结果

测试场景	测试指标	测试数据	测试结果	结果分析
数据存储模块	最大写入速度	3.7 GB/s	通过	高速写入，满足数据流需求
传感器模块	响应时间	0.02s	通过	快速响应，确保数据实时性
处理器模块	CPU 利用率	平均 32.4%	通过	资源合理分配，预留处理余量
网络传输模块	数据传输延迟	0.035s	通过	低延迟，保证实时性

#### 3.2.2 性能测试分析

性能测试结果表明，系统硬件设计合理，各模块性能均达到预期目标。数据存储模块的高速写入、传感器快速响应、处理器资源高效利用以及网络低延迟传输，共同确保了系统高性能的运行，为核反应堆智能热工水力监测系统的稳定运行提供了有力保障，性能测试结果如表 2 所示。

### 结语

本设计实现的智能热工水力监测系统，集成实时监测、风险预警以及远程控制等核心功能，显著增强了核反应堆运行的安全性与效率。系统在测试中展现出的高稳定性与快速响应能力，验证了其在核能领域应用的可行性与优势。未来，应进一步优化传感器灵敏度与网络传输稳定性，并拓展系统的应用场景，以更好地服务于核电行业的智能化转型与发展，加强对系统在极端条件下的适应性研究，确保其在各种环境下均能可靠运行。

### 引用

- [1] 邱鹏程,李开宇,李磊,等.基于多传感器融合的高精度温度监测系统设计与实现[J].电子测量技术,2020,4(3):92-96.
- [2] 郑鹏成.火电厂热工DCS系统总体设计[J].电工技术,2019,(6):64-66.
- [3] 陈曦,吴清,邓坚,等.华龙一号反应堆DNBR在线监测系统开发与验证[J].核动力工程,2024,45(2):248-253.
- [4] 符晓蕊,马安良.OneNET平台的供暖温度监测系统设计与实现[J].杨凌职业技术学院学报,2023,22(2):5-8.
- [5] 张博,王丽琴,蒿闪闪.热工仪表管防冻监测系统的设计[J].电站系统工程,2017,33(2):71-72.

# 应用型本科高校 Hadoop 分布式系统教学实践及探讨

文◆淮阴工学院 孙纪舟

## 引言

应用型本科高校人才培养有显著差别，在专业能力方面，应用型人才应熟悉基本的专业知识，掌握专业技能，具备足够的工程素养，同时还应具备需求分析的能力，根据不同的业务需求选择合适的开发工具、算法或已有的软件产品。只有满足上述几方面的要求，在面对实际的工程性问题时才能快速给出合理的解决方案。同时，思想认识方面的培养更加不容忽视，应通过合理的方式潜移默化地培养学生正确的三观。

Hadoop 分布式系统是一门工程性、实践性、理论性、综合性都较强的专业课程。首先，工程性较强。Hadoop 平台的整体框架及其众多子项目的设计思路都体现了软件项目开发中的模块化、高内聚、低耦合等思想。其次，实践性较强。Hadoop 项目的产生背景是实际生活中大数据的兴起，正是有了常规思路难以应付的庞大数据，才有了以 Hadoop 为代表的诸多分布式解决方案。再次，理论性较强。Hadoop 系统的成功离不开算法、数据结构

等计算机专业基础理论。最后，综合性较强。课程涉及 JAVA 语言程序设计、Linux 操作系统、数据库系统原理、软件工程、计算机组成原理、算法设计与分析、数据结构等诸多先导课程，适合有一定专业知识基础的大三学生学习。另外，该课程还涉及大三学生未学到的外部排序、分布式计算、容错以及布隆过滤等扩展性知识。

由此可见，对 Hadoop 分布式系统教学进行精心设计，并在教学实践中逐渐总结经验，优化教学方法，能够帮助学生对已经学过的理论知识有更深刻的理解<sup>[1]</sup>。通过系统的实际部署锻炼学生的实践能力，在教学的过程中以讲故事的方式让学生更好地理解相关的工程思想，对系统整体上的学习也能够帮助学生对过往所学知识进行融会贯通，从局部理解变为全局把握。

## 1 Hadoop 分布式系统的课程内容及培养目标

Hadoop 分布式系统课程综合性较强，涉及很多前置专业课程，且包含众多子项目，因此课程的内容相当纷繁复杂。为了在有限学时内让学生掌握尽可能多的知识和技能，本文对课程内容进行了整理，主要分为三大部分，分别对应工程认证中的工程知识、设计/开发解决方案以及使用现代工具 3 个毕业要求。毕业要求、观测点以及课程目标的对应关系如表 1 所示。

## 2 Hadoop 分布式系统教学过程中对学生工程知识的培养

Hadoop 系统本身规模庞大且复杂，在教学设计中从实际应用背景和发展历史、基本设计思想以及实际操作 3 个方面进行分析和讲解，能够帮助学生更真实地体会工程项目在设计过程中需要遵循的基本原则，获得解决实际工程问题的经验，并通过实际操作，对系统框架和运行原理有更加直观和深入地理解。

### 2.1 Hadoop 分布式系统应用背景和发展历史教学

在该课程的教学之初，应分配足够的课时对 Hadoop 系统的出现背景和发展历史进行详细介绍，以讲故事的方式让学生理解软件系统不是

【作者简介】孙纪舟（1985—），男，河北保定人，博士研究生，讲师，研究方向：数据库管理系统、数据质量管理。

表 1 毕业要求、观测点以及课程目标的对应关系

毕业要求	观测点	课程目标
1. 工程知识	针对复杂工程问题模型, 应用数学、自然科学、工程基础和专业知识对模型的复杂性、局限性、技术指标进行分析和评价。	课程目标 1: 了解 Hadoop 出现的应用背景和发展历程; 掌握 Hadoop 系统的基本架构和分布式存储思想; 熟练掌握 Hadoop 集群的安装部署, 能够利用已学的专业知识对安装过程中出现的各种问题进行分析和解决。
2. 设计 / 开发解决方案	具有较强的计算机编程和算法设计能力, 应用程序设计思想与方法合理地组织数据、有效地存储和处理数据, 设计满足要求的算法或模块流程, 在复杂性、易用性、并发性、可靠性等方面进行分析、评价和优化。	课程目标 2: 理解 Map-Reduce 分布式计算框架中分而治之的核心思想; 理解基于外部排序的数据分析思想; 理解 Hadoop 平台中的 Map-Reduce 计算模型; 对于常见的数据分析任务能够熟练设计正确高效的 Map-Reduce 分布式算法。
3. 使用现代工具	在计算机领域复杂工程问题的预测、建模、设计、开发和测试中, 选择与使用恰当的技术、资源和工具。	课程目标 3: 掌握 HBase、Pig 以及 Hive 等 Hadoop 子项目的基本原理和新特性; 面对工业界对数据的不同处理需求, 选择经济且高效的子项目满足此需求; 熟悉 HBase、Pig 以及 Hive 等子项目的安装部署和使用; 对课上未讲授的其他子项目, 应能够利用互联网资源搜索学习材料并自主学习。

凭空出现, 而是以现实需求为驱动。而 Hadoop 的出现与 Web2.0 的出现和普及密不可分, Web2.0 允许用户在互联网上发表自己的看法, 分享自己的内容<sup>[2]</sup>。这一变革让众多的普通用户从网络内容的消费者转变成生产者, 直接推动了大数据时代的到来。传统的集中式系统无法应对如此庞大的数据存储和计算任务, 自然而然地出现了分布式解决方案, Hadoop 就是其中的典型代表。另外, 对应用背景的介绍能够帮助学生对项目进行需求分析, 用所学知识对实际应用中的难点进行解决。就大数据而言, 其目的就是为了解决传统的集中式系统存在的数据存取瓶颈、运算瓶颈、高昂成本以及低可靠性等问题。在此过程中, 还可以适当增加搜索引擎的相关知识, 包括网页爬虫、倒排索引以及 PageRank 等技术, 让学生明白所学的知识点不再是孤立存在, 而是相互关联, 达到融会贯通的效果。

## 2.2 Hadoop 分布式系统核心思想和框架教学

在了解 Hadoop 分布式系统的应用背景和发展历史后, 学生对 Hadoop 分布式系统具备的特性有了一定的认识。首先, 针对存取瓶颈以及运算瓶颈的问题, 该系统一定要具有很好的可扩展性, 可以在不停机的情况下根据需求动态增加计算机资源来满足日益增长的数据存储和计算需求。其次, 针对高成本的问题, 引导学生面对庞大问题可以考虑分而治之的思想, 同时为了保证上述的可扩展性, 应考虑大量低成本计算机资源, 引出分布式系统的设计思想。最后, 由于系统由很多台而非一台设备组成, 通过数据的冗余备份机制, 使系统具备较高可靠性, 解决了集中式方案的低可靠性问题。在授课过程中可以以提问的方式启发学生, 数据是企业的核心资源, 要保护数据不被破坏, 最直接的方法就是将数据在不同设备中进行备份, 契合 Hadoop 的分布式属性。

## 2.3 Hadoop 分布式系统部署实践教学

上述教学设计中, 虽然以生动直观的叙事方式帮助学生了解 Hadoop 分布式系统的来龙去脉和设计思想, 帮助学生更容易理解理论知识, 但仍缺乏实际感受, 所以增加了实践内容, 带领学生在普通 PC 机上部署 Hadoop 集群, 并完成基本的数据读写等操作。此过程内容多且复杂,

经过多年教学总结, 有研究者整理出简洁明了的实践手册, 并录制视频便于学生自学。部署过程也涉及很多前序课程的内容, 包括 Linux 操作系统的特性和常用命令、非对称加密技术等。部署成功之后增加两部分内容, 即在系统不关闭的情况下, 动态添加和删除节点, 帮助学生系统的可扩展性以及可靠性有更切实地体会。

## 3 Hadoop 分布式系统教学过程中对学生设计开发能力的培养

目前, 对 Hadoop 分布式系统在系统层面的认识尚且停留于数据存储的静态层面, 存在对技术细节的理解不够深入的问题, 难以在工作中设计高效的大数据算法。因此, 通过重点分析 Map-Reduce 分布式计算框架和常见数据分析任务的算法设计, 能够帮助学生更深刻地了解 Hadoop 的运行机制。

### 3.1 Map-Reduce 计算模型教学

为培养学生的 Map-Reduce 算法设计水平, 有必要先帮助学生理解 Map-Reduce 的运行机制, 大

部分教材中也包含对 Map-Reduce 的计算模型的介绍<sup>[3]</sup>。为了让学生对该部分内容有更深刻地体会,增加了不少于半个学时的外部排序内容。首先这部分内容是很多本科生不学的内容,但又是大数据处理中频繁使用的方法。其次,外部排序是处理大数据的常用方法,Map-Reduce 也不例外。在讲解 Map-Reduce 的运行机制时,应以最直观的实例方式帮助学生理解。例如,对于单词计数问题,应带领学生逐步分析每个模块对数据的操作步骤。

### 3.2 Map-Reduce 算法设计教学

提升算法设计水平最有效的方法就是动手编程,因此应整理数据库课程中的数据排序、数据去重、表连接、分组聚集、集合交并补等操作。此外,还增加了复杂算法,包括 PageRank、算法设计以及数据挖掘等课程中学过的 Dijkstra 算法、K-means 聚类算法等。分配足够多的学时,带领学生由浅入深地实现这些问题的 Map-Reduce 算法。最后帮助学生总结出方法论,即把问题中的“等值”属性作为 Map-Reduce

算法中的 Key,其他信息作为 Value。所谓“等值”属性,就是问题关注数据中哪些属性在值上是否相等,如排序中的排序键、表连接中的连接键、分组聚集中的分组键、PageRank 中的网页 ID、最短距离问题中的节点 ID 等。只有通过大量实际问题的算法设计以及方法论提炼,才能够有效帮助学生提升设计和开发解决方案即算法的水平。

## 4 Hadoop 分布式系统教学过程中对学生使用现代工具能力的培养

虽然 Hadoop 分布式系统有高可扩展性、低成本以及高可靠性,但在实际的企业运行中还应考虑算法开发成本、系统维护成本以及人员培训成本等经济因素。为了降低这些成本,Hadoop 社区也开发出了诸多面向不同应用场景的子项目,这些子项目可以作为数据分析工具箱供开发人员使用。

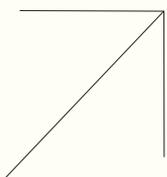
例如,有研究者在教学过程中挑选出 3 个最重要且最具代表性的 Hadoop 平台上的工具,包括基于列存储的联机事务处理(OLTP)数据库 HBase、面向联机分析处理(OLAP)的中间件 Pig 以及支持 SQL92 标准的 Hive 工具。在课堂教学时,应着重介绍学生这些工具各自的特性以及各自适应的应用场景,实验教学也应带领学生动手操作,对各种工具有更深刻地体会。通过这部分教学也能让学生体会到,在实际的应用场景中并不存在一个功能全面且各方面性能都优异的软件产品(如 OLTP 和 OLAP 两种业务需求本身的冲突),只能针对不同的应用场景选择。另外,帮助学生了解数据分析的新思路,如基于“键—值”对查询的 NoSQL 技术较传统关系型数据库的对比<sup>[4]</sup>。

## 结语

应用型本科人才培养应注重学生各方面工程能力的培养,而 Hadoop 分布式系统的开设能够很好地契合这一目标。对系统、开发、工具 3 个部分进行精心的教学设计,既能够比较全面地覆盖课程重点,还有利于学生各方面工程能力的提高。然而,虽然在教学实践中总结了若干经验,但在后续的教学过程中仍然需要对教学框架进行逐步优化,总结出更多高效的教学方法。

## 引用

- [1] 蔡朝朝,白涛,邹丽.大数据技术原理与应用课程教学实践与探讨[J].电脑与电信,2023(4):32-36.
- [2] 孙志国.Web2.0,以个人为中心的互联网时代的到来[J].农业网络信息,2005(12):97-98+100.
- [3] Tom White.Hadoop the Definitive Guide[M].Sebastopol:O'Reilly, 2012.
- [4] 闵昭浩,杨卓凡.NoSQL数据库与关系型数据库对比[J].电子技术与软件工程,2021(14):199-201.



# 高校网络运维管理与安全讨论

文 ◆ 江南大学信息化建设管理处 王逢安

## 引言

高校网络运维管理与安全是当前亟须解决的重要问题。本文通过分析高校网络运维中存在的问题，进而提出保障网络安全的措施，包括加强网络监控、提升用户安全意识等，有利于提高高校网络运维管理的效率和安全性，为高校的正常运行和数据安全提供坚实保障。

## 1 高校网络运维管理与安全的背景分析

近年来，随着数字教育的快速发展，高校的网络应用规模和复杂性不断增加。学校需要为师生提供稳定、安全的网络环境，以满足数字化教学、学习和科研的需求。因此，高校网络运维管理与安全显得尤为重要。高校在科研项目、人事管理、日常运维中需要处理大量的数据和信息，并进行实时协作和共享。保障数据的完整性、机密性和可用性，防止数据泄露和恶意攻击，对于确保科研成果、师生个人信息的安全和保护具有重要意义。

随着互联网的快速发展，网络威胁形式日益复杂多样化。高校网络面临的风险包括网络病毒、僵尸木马感染、网络钓鱼等，这些威胁会导致敏感信息泄露、系统瘫痪或服务中断等问题。因此，高校网络运维管理与安全需要不断加强，并采取相应的防护措施和技术手段。此外，国家对网络安全提出了更高的要求，并制定了相关的法律法规。高校作为公共机构，应遵循相关法律法规，加强网络安全意识和管

## 2 高校网络的特点

高校网络需要为大量的学生、教职工和访客提供网络服务，因此具有相当大规模的用户数量。这就要求高校网络具备强大的承载能力和稳定性，能够同时满足大量用户的网络需求。高校内的用户群体包括学生、教职工和研究人员等各类用户，对网络的需求也各不相同。学生更多地使用网络进行在线学习、查找资料和下载数据等；教职工则需要进行科研、教学和行政工作等。因此，高校网络需要提供丰富多样的服务

和资源，以满足不同用户群体的需求。

由于高校网络需要覆盖整个校园范围，拥有多个教学楼、实验室、图书馆和学生宿舍等，其网络拓扑结构相对来说较为复杂，高校网络安全架构拓扑如图1所示。因此，高校网络需要设计合理的拓扑结构，保证网络各个部分能够有效连接，并提供稳定的网络服务。高校网络的安全性和隐私保护非常重要。学校内部的网络不仅要面对外部网络的攻击和威胁，还需要应对内部用户带来的安全隐患。因此，高校网络需要采取严格的网络安全措施，包括防火墙、入侵检测系统等，确保数据的安全和用户的隐私保护。高校网络需要具备较高的带宽，以支持大量用户同时进行在线学习、科研和娱乐等活动。特别是在智能设备和云计算应用不断增加的情况下，高校网络应具备足够的带宽来满足用户对于高速数据传输和流畅体验的需求。

## 3 问题分析

### 3.1 管理制度不健全

缺乏完善的网络安全管理制度，导致师生在使用网络时缺乏

【作者简介】王逢安（1996—），男，江苏无锡人，硕士研究生，工程师，研究方向：计算机网络、网络安全。

安全意识，容易被网络钓鱼、病毒感染等恶意行为所利用。

缺乏健全的风险评估机制，高校无法全面了解网络系统中的潜在风险。不能及时发现和解决存在的漏洞和安全隐患，为攻击者提供可乘之机。同时，还给高校的信息系统造成损失，影响网络运行稳定性。

缺乏健全的管理制度会导致高校缺乏相应的安全策略和技术措施。例如，缺乏有效的入侵检测、防火墙配置和漏洞修复等关键措施，使网络系统更容易受到攻击；缺乏健全的网络运维管理与安全制度会导致相关从业人员的培训不足；没有足够的专业知识和技能，将难以应对复杂的网络攻击和恶意行为。

### 3.2 技术存在漏洞和人员技术水平低

网络运维管理和安全中人员技术水平、责任意识以及培训情况等因素会影响网络的安全性。例如，网络管理员的技术水平不高，无法及时发现和应对网络攻击；员工对网络安全的重要性缺乏认识，没有注意到潜在的风险；人为失误或不当操作引起安全事件。此外，黑客利用网络设备和软件存在的漏洞或缺陷进行网络攻击行为，网络运营商或供应商不能及时修补漏洞或者用户没有及时升级相关软件和固件版本，导致安全风险大幅增加。

### 3.3 网络架构设计不合理

高校网络架构设计不合理，安全措施不全面或者配置不正确会给攻击者提供入侵的机会。例如，没有设置严格的访问控制策略、防火墙规则不准确、安全设备的部署位置选择不当等，都会导致网络安全漏洞，网络的安全性无法

图 1 高校网络安全架构拓扑

得到有效保证。高校网络的服务器、交换机等关键设备未得到充分的物理保护，容易受到非法侵入。同时，未能建立合理的设备存储和机房访问控制等措施也会给安全性带来风险。

### 3.4 运维方式单一

首先，单一的运维方式只依赖于某一种特定的技术手段，无法很好地应对复杂多变的网络环境和安全威胁。不同的安全问题需要采取不同的技术手段来进行处理和防护，如果仅依靠单一的方式，那么无法全面覆盖和解决各类安全问题。

其次，单一的运维方式导致安全漏洞的发现和修复时间延长。由于缺乏多个层面的监测和审计手段，安全漏洞难以及时发现，从而给潜在的攻击者留下可乘之机。同时，由于单一的运维方式无法覆盖所有安全风险，无法迅速修复已知漏洞，增加了网络受攻击的风险。

再次，单一的运维方式无法充分利用各种技术手段和工具，导致运维效率不高。例如，无法自动化运维流程、难以快速响应和处理故障、无法及时发现网络性能问题等，增加了网络运维人员的工作负担，影响了网络的稳定性和性能。

最后，高校网络涉及多种用户类型和不同的应用场景，单一的运维方式难以满足各类用户的需求。例如，学生对于网络的需求更偏向于娱

乐和社交，而教职工则更关注科研和教学等方面的应用。单一的运维模式无法提供个性化的网络服务和应用支持，限制了用户的体验和网络的可用性<sup>[2]</sup>。

## 4 高校网络运维管理策略

### 4.1 建立完善的高校网络管理制度

制定明确的网络使用政策和管理规定，明确网络的使用范围、权限分配、安全标准等，确保网络资源的合理利用和安全性。明确网络管理团队的职责与权限，包括网络设备的采购、配置、维护、升级等事宜，并建立相应的流程和标准，确保各项工作顺利进行。建立健全网络安全防护措施，包括防火墙、入侵检测系统、反病毒软件等部署和更新以及对网络设备、系统、应用程序的漏洞扫描和补丁升级管理，加强对网络安全事件的监测和响应能力。遵循相关法规和政策要求，建立网络合规性管理制度，确保网络运维管理活动符合法律法规的规定。同时，加强对第三方合约供应商的管理，明确合作关系和责任范围，确保网络服务的可靠性和安全性。

### 4.2 加强团队培训与管理

(1) 加强网络管理人员的培训与教育，增强其技术水平和安全意识，使其能够熟练操作各类网络设备和安全工具，并能够及时应对网络安全事件。

(2) 建立高效的运维团队。组建专业的网络运维团队，确保团队成员具备相关的技术能力和经验，通过培训、认证等手段提升成员的技术水平。

(3) 制定明确的工作流程和责任分工。确保每个运维人员清楚自己的职责和工作流程，避免因协作不畅或责任不明造成问题。

(4) 运维团队运用项目管理方法。采用项目管理方法对网络运维工作进行规范化管理，明确任务目标、进度安排和质量要求，提高工作效率。建立完善的资产管理系统，对网络设备进行统一的管理和监控，确保网络设备的运行状态和性能。及时发现和解决故障，提高网络设备的稳定性和可靠性。

### 4.3 利用技术手段提高网络利用率

(1) 实施网络性能监控。使用网络性能监控系统，实时监测网络设备和链路的运行状态，及时发现问题并采取相应措施进行处理，以提高网络稳定性和利用率。

(2) 部署网络流量分析工具。部署网络流量分析工具，了解网络的流量状况和用户行为，为网络优化和资源调整提供数据支持。

(3) 实施容量规划和预测。通过容量规划和预测，根据网络使用情况，及时调整网络带宽、存储容量等资源，确保网络的高效利用。

### 4.4 引入网络监管系统

网络监管系统可以实时监测网络设备、服务器和应用程序的安全状态，检测潜在的网络攻击和安全威胁，及时发现并采取相应的安全防护措施，确保网络的安全性。通过网络监管系统可以监控和分析网络流量，了解网络的使用情况和瓶颈，对网络带宽进行优化和调整，合理分

配网络资源，提高网络利用率和用户体验。网络监管系统可以监控和管理网络中的应用程序，包括协议、端口和服务的使用情况，限制非法或不必要的应用程序访问，提供对敏感信息和敏感资源的保护，确保合规性和数据安全。

通过网络监管系统可以监控用户在网络上的活动和行为，包括网站访问、文件下载、在线交流等，对违规行为进行监测和管理，提高网络的合规性和安全性。网络监管系统可以实时监测网络设备与链路的状态和性能指标，帮助快速定位和解决网络故障，优化网络资源配置，提高网络运行效率和稳定性<sup>[3]</sup>。

## 结语

高校网络运维管理与安全是高校信息化建设中不可忽视的重要环节。只有通过科学合理的管理手段和严密有效的安全策略，才能确保高校网络的稳定运行和数据安全，为高校教学、科研和管理提供强有力的支撑。■

## 引用

[1] 朱悦,林初建,陈诗明.高校网络标准化运维的实践与思考[C]//中国计算机用户协会网络应用分会.中国计算机用户协会网络应用分会2023年第二十七届网络新技术与应用年会论文集.南开大学党委网络安全和信息化办公室,2023:5.

[2] 郭强,尚群,陈骏,等.数据驱动下的高校网络运维[J].福州大学学报(自然科学版),2023,51(5):589-595.

[3] 肖春水,傅晓峰.高校网络安全工作机制的探索与实践[J].网络安全技术与应用,2023(7):84-86.

# 计算机网络在电子信息工程中的应用

文◆中国核动力研究设计院 许世杰

## 引言

当今时代，在科技发展的带动下，计算机网络发展的脚步不断加快，在众多行业和领域实现了全面覆盖，随之对计算机网络有了更高的要求。通过合理的电子信息工程建设，不断完善计算机网络。基于此，本文分析了计算机网络的概念以及电子信息工程的特征，并围绕计算机网络中如何使用电子信息工程进行阐述。

## 1 计算机网络的概念

计算机网络是融合计算机和通信网络的一种综合性、高效性的信息化平台。通常在覆盖区域内实现用户需求的各种信息处理，是无纸化办公、数字化转型的基础。

计算机网络以网络协议为基础，通过各种线路和网关可以连接到地球上各个独立的局域网或者计算机的集合。常见的物理链路包括双绞线、同轴电缆、光纤、通信卫星等。

在计算机网络运行的过程中，首先需要保证信息存储与处理操作顺利，在严格遵守网络协议、符合信息安全条例和管理的情况下，实施“线上连接”，实现网络环境中信息传输和共享。

近年来，科学技术突飞猛进，计算机网络的软件和硬件技术更新换代频率越来越快，从10M以太网、100M以太网、1000M以太网发展为万兆以太网和光纤网络等，实现高速的通信网络、高效的计算机运行，由此可见计算机网络正处于爆发增长的阶段。

## 2 电子信息工程的特征

电子信息工程不是独立的学科，其是以现代科学技术为基础的集成化技术工程。电子信息工程涵盖了很多领域，可以实现和满足很多行业和产业需求，如自动控制、遥感遥控、导航、楼宇智能化以及计算机网络等。电子信息工程在各行各业中的位置也愈发重要，在工作中具有高准确性和高效率，功能涉及广泛<sup>[1]</sup>。

首先，电子信息工程是电子信息传输的系统性工程技术，主要功能是处理电子信息内容。其次，计算机网络技术是一种广域网技术，其不是在固定网络中进行，而是可以根据多种网络同时处理相关信息的一种技术，能够将不同区域的设备关联到一起，使信息数据被输送到各个地区，并联合不同的供应商同步共享信息，满足所有使用该技术人群的不同需求<sup>[2]</sup>。

电子信息工程主要研究包括获取信息和处理信息、设计、开发、应用、集成信息系统。电子信息工程具有复杂性，数据冗余度高，数据量庞大，在使用过程中对计算机技术、网络技术以及通信技术要求较高。目前，电子信息工程在项目管理中被广泛应用，从信息通信到信息安全、从项目管理到项目运行、从信息统计到信息反馈、从程控模式到人工智能模式、从自动化控制到遥控遥测等都离不开电子信息工程技术的支撑。

## 3 计算机网络在电子信息工程中的应用

### 3.1 提高信息传递能力

随着社会的不断发展，随之出现大量的信息数据资源，为了方便对大量的数据信息进行合理和科学使用，信息传输和保存愈发关键。基于此，对电子信息工程提出更高的要求，如信息传输、信息查询和索引以及信息存储和安全保护等。

【作者简介】许世杰（1982—），男，四川射洪人，硕士研究生，高级工程师，研究方向：核工程项目管理。

新型计算机网络利用高速数据传输模式，安全、及时地传递信息，如光纤网络、5G 技术等，实现快速发送和接收信息，同时减少数据传输延迟。采用多通信协议，确保信息在不同设备和平台之间进行有效传输。合理利用数据压缩技术，减少信息传输过程中所需要的带宽，提高数据的传输效率。利用分布式计算机技术，提高访问速度和系统的整体稳定性。利用智能路由技术，结合智能路由算法，根据网络状态选择最佳路由，提高整体传输能力。

在项目管理上，项目管理软件可以通过计算机网络实现团队跟踪任务进度、分配责任和管理时间表，提高项目的透明度和效率。同时，文件共享与传输可通过云存储服务实现，团队成员可以在任意时间和地点实现共享和协作编辑，确保所有团队成员随时可访问最新版本的文件。任务创建与分配、任务状态更新、可视化进度跟踪等是项目管理中至关重要的环节，计算机网络平台在这一过程中发挥了重要作用。

### 3.2 工程领域应用

计算机网络技术广泛应用于工程领域，更多的信息化设备和终端接入计算机网络。主要体现在远程监控与控制、数据采集与分析、协同设计与开发、项目管理、虚拟仿真与测试、供应链管理、安全监测与预警、智能化应用等各方面，尤其在数据采集与分析、项目管理、虚拟仿真测试、供应链管理上具有重要意义。

数据采集与分析是电子信息工程中的关键环节，涉及多源收集数据与数据处理和分析，以支持决策和优化流程。首先，通过各种传感器（如温度、湿度、压力、光照等）实时采集环境和设备状态数据。传感器通过计算机网络将数据传输至中央处理系统。其次，自动化设备（如 PLC、SCADA 等系统）实时监控运行过程，收集相关数据，通过 API 或其他数据接口，从外部系统（如 ERP、CRM）获取或传输数据，系统整合不同来源的信息，确保生产的高效性和安全性。再次，使用关系型（如 MySQL、PostgreSQL）或非关系型数据库（如 MongoDB、Cassandra）存储采集的数据，确保数据的安全性和可访问性。有条件的情况下，可建立数据仓库，整合来自不同来源的数据，支持复杂查询和分析。再次，对采集的数据进行清洗和预处理，去除噪声和错误，确保数据质量，使用统计方法（如描述性统计、回归分析）对数据进行分析，识别趋势和模式。此外，应用机器学习算法（如分类、聚类、预测模型）对数据进行深入分析，发现潜在的关联和规律。最后，使用数据可视化工具（如 Tableau、Power BI、Matplotlib）将分析结果以图表和仪表盘的形式展示，便于理解和决策。

项目管理在电子信息工程中的应用至关重要，从项目规划、执行和监控到项目按时、按预算和按质量标准完成，这些需求在电子信息工程的支撑下，有更好地完成体验和效率。项目管理可以通过电子信息平台帮助团队明确项目的具体目标和预期成果，确保所有成员朝着共同的方向努力，提高资源利用效率，促进团队协作与沟通，促进知识积累与经验分享，支持项目管理团队对决策的制定。同时，通过电子信息工程，项目管理的透明度获得提升，使利益相关者能够及时了解项目进展和问题，增强信任。因此，项目管理在电子信息工程中不仅提高了项目的成

功率，还推动了技术创新和业务发展，确保项目能够高效、顺利地完成任务。

### 3.3 新型虚拟设备研发

随着科技的发展，虚拟技术在越来越多的工程应用中体现出越来越强的重要性。实现电子信息工程中设备之间的资源共享至关重要，计算机网络技术对其具有决定性作用，其对电子信息的社会化、网络化和全球化进程产生重要影响。因此，相关技术人员应有效掌握电子信息的相关知识，熟练操作各种数字信号仿真和运行机制，促进市场经济平稳较快发展<sup>[3]</sup>。

在工程领域中，涉及虚拟设备的主要应用场景为数字孪生和数字仿真。数字孪生是一种可以完成虚拟世界和现实世界完美同步的一种新兴技术，在工程中有大量的使用需求，尤其是在一些危险的场景下，虚拟设备代替人工实现远端或自动控制，大幅降低了人工直接操作的风险。通过三维建模、遥控遥感、信息交互、程控技术或 AI 技术等电子信息技术的融合，可以在虚拟测试环境中，创建虚拟测试环境，模拟不同的使用场景和条件进行设备性能和安全性测试，降低对物理原型的需求。

通过上述模拟过程，可以在计算机网络中完美实现数字孪生体，通过对数字孪生的运用和研究，提高工程领域的数字化和智能化程度，减少物理风险的发生概率以及物理风险发生时的人员损失。

同时，基于计算机网络的数字孪生和仿真也可以用于培训和教学，其真实程度和安全性与其他培训方法和教学手段相比，具

有不可替代的作用。

### 3.4 提高电子信息工程的安全性

计算机受到木马病毒或者黑客攻击后，信息会出现大量的遗失或曝光，且计算机中剩余信息的真实性也有待考证。为此，应建立数据备份系统，及时维护系统的安全性与完整性<sup>[4]</sup>。

在电子信息工程系统运行中，不同节点的信息监控由独立的MIB（管理信息库）站点实现，这一过程是在网络设备管理系统进行统一分配的基础上，实现网络管理命令的传输、回馈、收集以及存储，在对所有运行数据进行对比分析后，实现网络监管<sup>[5]</sup>。

破坏网络安全常见的因素包括软件漏洞、病毒、黑客攻击、密码简单、配置问题等，网络安全问题的解决是一个系统工程，需要各种设备、管理制度等相互配合完成。第一，利用信息加密技术（如SSL/TLS、AES等）对传输和存储的数据进行加密，确保信息在传输过程中不被窃取或篡改。第二，加强身份验证，实施多因素身份验证（MFA）等方式，确保只有经过授权的用户才能访问系统和数据，增强账户安

全性。第三，增加防火墙和入侵检测系统，监控网络流量，识别和阻止可疑活动，保护网络免受攻击。第四，采取定期安全审计和漏洞扫描，识别系统中的安全隐患并及时修复，确保系统的安全性。第五，定期备份重要数据，并制定数据恢复计划，以防止数据丢失或损坏，确保业务连续性。第六，员工安全意识培训，加深员工对网络安全威胁的认识，减少人为错误导致的安全风险。第七，做好网络监控和日志记录，实时跟踪系统活动，及时发现异常行为并采取措施。通过以上措施，计算机网络能够显著增强电子信息工程的安全性，保护数据和系统免受各种网络威胁。

### 3.5 信息、数据资源共享

在电子信息工程领域，计算机网络技术的应用极大地促进了信息和数据资源共享。通过将网络终端系统化，能够实现数据信息的在线共享，从而推动电子信息工程的高质量发展进程。计算机网络技术还可以对数据信息进行压缩，提升信息传递的时效性、安全性和准确性。借助网络连接，不同设备之间能够迅速进行数据传输。在电子信息工程中，TCP/IP协议充分发挥了其应用价值，基于多样化的信息构建了分层体系，从而有效控制影响信息传输的各种因素，提高信息传输效率。

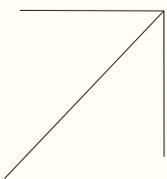
此外，信息终端具有多样性，各类传感器、信号采集器、自控设备的联轴器、计算机、手机等都具有信息互联和共享的需求，而计算机网络的开源性和多协议的支持能够满足终端信息共享需求。

## 结语

将计算机网络技术合理地应用到电子信息工程中，已经成为当前我国社会发展的重要需求，在很大程度上影响着我国科技的发展速度。计算机网络能够积极应对电子信息工程中的各类问题，不断加强各个环节的联系。同时，计算机网络本身所具有的驱动力较强，电子信息工程通过对该技术的依赖所发挥的效能也更大，二者相互影响，相互促进。■

## 引用

- [1] 郭亚杰.浅析计算机网络技术在电子信息工程中的应用[J].南方农机,2019,50(7):138.
- [2] 范芳东,周卫红.计算机网络技术在电子信息工程的应用研究[J].电脑知识与技术,2021,17(26):123-124.
- [3] 张子豪.浅析计算机网络技术在电子信息工程中的应用[J].计算机产品与流通,2019(4):11.
- [4] 蒋智恩.电子信息工程计算机网络技术应用[J].中国新通信,2020,22(21):135-137.
- [5] 黄斌斌.计算机网络技术在电子信息工程中的应用及实例探究[J].电子测试,2021(3):63-64.



# 基于物联网技术的 智慧水电云监管平台的设计与应用

文◆华能澜沧江水电股份有限公司 杨延东 李海峰 梅增荣 吴琼艳

## 引言

目前,我国部分地区水电站信息化建设程度较低,应用基于物联网技术的智慧水电云监管平台不仅有利于提高水电站运维自动化水平,还有利于实现水电站标准化管理。本文基于该平台设计所需关键技术,提出系统总体设计以及详细设计,最后从家庭、企业、城市公共服务3个方面分析系统应用成果,以期为相关工作者提供参考。

## 1 关键技术

通过云计算与大数据数据库相融合的方法,利用 OR-ACLE 构建云计算环境下的云数据库,采集云计算中的图像、状态等信息,将数据传输至执行器。云计算安全管理与容灾由服务商提供,建立与所述移动终端的连接,并将云数据业务提供给移动终端<sup>[1]</sup>。移动互联智能控制系统、远程视频监控系统等向大数据数据库发送视频和状态信息,云工作站通过云端令牌和云链路向云工作站传送数据,对其进行统一状态与视频管理,并对其进行数据服务。为强化安全监督,利用移动互联的云计算技术,构建了一套远程视频监控系统,并通过移动互联的远程智能控制系统完成。同时,还可以通过手机远程触发警报,避免闲杂人等进入水电站安全管理范围内,从而保证水电站安全。基于 H.264 编码和编码无线视频通信系统,采用高清晰度视频编解码和无线通信技术,在 3G 通道上进行视频编码数据传输,并将其发送至移动终端,使监控人员可以在任何时间、任何地点监控水电站监控点状态。

## 2 基于物联网技术的智慧水电云监管平台的设计

### 2.1 系统总体设计

#### 2.1.1 功能需求

(1) 实时监控。构建水电站全站视频监控系统,并在最佳性价比条件下,为用户提供高水平维护服务和维护能力,在手机、水库管理房和管理局内对监控视频进行实时监控,视频高质量存储时间必须达到一个月以上。

(2) 安全巡查。在水电站应设立必要巡视点,每一次巡视都要有一个人在巡视点,并将巡视情况进行记录,如果发现异常巡视记录,将其上传至云工作站,同时,相关人员应及时排除巡视中的异常情况和隐患,保证水电站安全。

(3) 远程语音。当远程视频检测到某人有危害水电厂运行安全的行为时,利用语音或者手机语音来进行远程语音呼叫,达到吓阻的目的,同时还可以在某种程度上防止面对面冲突,保障管理者人身安全。

(4) 智能报警。在手机端和 PC 端对水电站进行实时水位查询,设定警戒水位,当水位超出警戒线后,会通过短信或者微信的方式向有关人员发送警报。

(5) 雨情查询。整理省气象资料,提供移动终端对台风路径、雨量等信息即时查询服务。

(6) 状态监测。利用传感器对水电站和水库的有关工作参数进行查询与智能分析,并通过手机查询水库信息。

(7) 运行日志。管理水电厂工作日志,将其实时报告给云工

【作者简介】杨延东(1977—),男,彝族,云南临沧人,本科,高级政工师,研究方向:水利水电工程。

作站，并通过手机查看有关日志。

### 2.1.2 总体构架

智慧水电站安全管理云平台，是一种特别针对水电站安全生产标准化管理而设计的互联网平台，主要分为7个系统模块，智慧水电云监管平台功能结构如图1所示。智慧水电站将多种信息技术应用于一体，使用标准化智能解决方案，采用Saas架构的软件工作方式，具备很强的可扩展性，总体架构分为感知层、互联层、智能层和应用层<sup>[2]</sup>。可以通过手机终端轻松录入和管理，同时还能配合水电站的安全生产标准化管理，在日常管理过程中，自动生成记录和台账，按照安全生产标准化要求，以表格形式生成报表，并将其打印出来。通过移动电话等终端设备，在任何时间、任何地点，都能对水电站状况进行远程监视。如果一个集团管理多个水电站，那么就可以把中央控制室建在市区内，通过无线遥控大屏幕切换，就能对多个水电站进行实时监控，降低运营和维修费用。

## 2.2 系统详细设计

### 2.2.1 应急事件管理设计

应急事件管理包括事件填报、事件审核和事件查询等功能。这些功能的整合可以帮助应急指挥系统更加高效地管理突发事件，此外，系统通常涉及其他功能，如资源调度、通信协调、信息发布等，以全面支持应对紧急情况的工作。系统设计还应充分考虑用户使用方便和信息安全，并能与其他相关系统有机结合。利用该系统，用户可对突发事件进行查询，并可针对不同情况查询相应的任务信息，及时掌握各项任务，以便为决策和协调

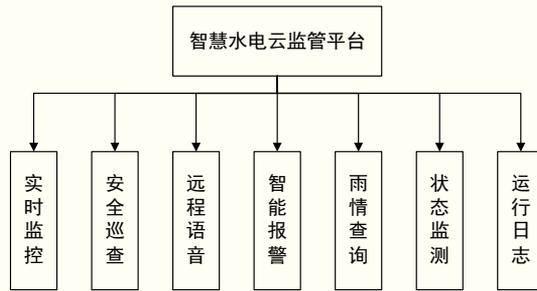


图1 智慧水电云监管平台功能结构

工作提供支持。执行者可定期或在完成工作后提交工作进度报告，包括工作完成情况、遇到的问题和采取的措施等，帮助高层管理者更好地了解任务的实施状况，并及时进行调整与改善。

### 2.2.2 应急任务管理设计

应急任务管理是为了在突发事件发生时，有效地组织、指挥和协调各种应急任务。系统能够对突发事件进行更全面地管理与监督，以保证在突发事件发生时能快速、协调、有效地应对。充分考虑应用的便捷性、安全性和集成性等方面的要求。通过对突发事件或特殊情况的查询，能够及时掌握各项任务，以便为决策和协调工作提供支持。执行者可定期或在完成工作后提交工作进度报告，包括工作完成情况、遇到的问题和采取的措施等。帮助高层管理者更好地了解任务的实施状况，并及时进行调整与改善。

### 2.2.3 预警管理设计

预警管理设计是保障在紧急情况下向公众、相关机构和人员发布及时、准确信息的关键组成部分，有助于应急指挥系统更好地管理和发布预警信息，保证突发事件中的重要信息能快速准确地传递给有关各方。预警解除管理用于传达解除先前发布的紧急预警信息，以确保在突发事件结束或解决后，先前发出的预警信息能够被及时、有效地解除，预警解除的管理程序要求及时、准确，以将最新信息传递给公众和有关机构。预警响应管理用于确保及时、准确地响应紧急预警情况，在突发事件中，系统可以对预警信息进行有效地响应，并协调与引导相关部门和人员采取相应措施。系统设计应充分考虑应急响应速度、用户训练、协同工作与沟通协调等方面的要求，以提高应急响应的效率与质量。

### 2.2.4 即时通信设计

即时通信功能能够确保在紧急情况下，各部门和人员之间可以及时有效地进行交流与协作，系统设计必须将通信速度、可靠性、安全性以及用户友好性考虑在内。系统应提供即时消息传递、语音通话、视频通话等实时通信工具，从而使用户可以迅速地进行信息交换，缩短信息传递的时间，便于在突发事件中快速做出决策。为了协调团队，实现多用户之间的信息交流，系统必须具备群组功能和广播功能，用户可以创建、管理、加入不同的群组，为特定的群体提供统一信息。

### 2.2.5 系统数据维护

每周一次检查与维护，完成应用与地图服务升级，保证应用功能能够正常显示，并供用户查询使用。维护数据交换平台包括维护应用程

序和适配器，确保平台正常运行，数据传输快速无拥堵。每月记录平台数据变化，根据需要及时更新多媒体、空间和其他信息。做好监测数据上报情况统计分析工作，必要时及时补仓。平台图像数据应定期备份保存，为防止图像数据丢失或损坏，可通过移动硬盘或云端存储等方法对数据进行妥善保存。

### 3 基于物联网技术的智慧水电云监管平台的应用

#### 3.1 平台在水电站的应用效果

某水电站的智慧水电云监管平台稳定运行，通过运行维护提高硬件利用率，当出现故障时，平台响应与恢复速度均能在规定时限内完成，并根据相关规范，为水电管理工作提供信息化技术支持。

智慧水电云监管平台采用数字认证技术来确定操作人员身份，利用身份认证技术能够对不同身份的用户进行安全认证，从而有效保护用户安全进入局域网，避免影响平台正常运行。为保证用户口令安全，将MD5算法加密后的口令存入SQL库，提高系统安全性。智慧水电云监管平台网络内部配置了NFOCUS防火墙，收集设备日志。该系统使用Windows 10专业版操作系统服务器，MySQL5.7.39和SQLServer2008版本数据库和Tomcat8.5.64中间件等。所有办公室计算机都安装了杀毒软件，并且对电子信息设备进行了加密保护。

在应用过程中，平台定期备份数据库，根据具体情况，采取全备份、差分备份和事务性记录备份3种方法。在确保数据安全性前提下，使SQL Server能够正常工作，减少数据损毁带来的损失<sup>[1]</sup>。系统能够自动更新软件，并在发现软件包时自动升级，节省人工升级时间。平台采用多种集成技术，实现各种数据自动统计、统计图表自动生成，并将数据上传至智慧水电云监控平台。审核输入资料的完整性、准确性和时效性，筛选和识别错误与遗漏数据。对同一座电站各项资料与上一次更新资料以及前一年同期资料进行对比，对变化幅度超过一定比例突变点的资料进行重点复核。针对数据量大、来源广泛等特点，采用小程序自动检测数据完整性、一致性等，通过人工审核与自动审核双重关卡保障数据准确性。

#### 3.2 平台推动水电行业发展

智慧水电云监管平台的建设和应用有助于推动水电行业的标准化和规范化发展，通过统一的数据采集、处理和分析标准，平台能够提升整个行业的数字化水平和管理效率。再具体到应用方面，某水电站以阿里云为基础，结合水电厂具体情况，设计并实现一套完整的水电厂监控数据库，实现对水电厂、库坝监控历史数据实时传输。在此基础上，研发以物联网为基础的云服务软件，将其与现有自动化系统相连接，并通过手机App、微信公众号等方式与云服务器进行数据交互，让使用者能够在任何时间、任何地点对水电站进行安全监控。在安装、调试完成后，对平台使用者开展应用培训。该平台自投入使用以来，受到水电厂高度赞扬，周边一些水电厂也相继安装，经过调试和使用，各个水电厂的管理水平都有了明显提高。随着物联网技术的不断发展和应用场景的拓

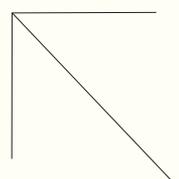
展，智慧水电云监管平台将不断推出新的创新应用和服务，这些应用和服务将有助于进一步提升水电行业的智能化水平和竞争力

### 结语

智慧水电云监管平台的建设运用了云计算、大数据、物联网等信息化技术，有效提高了水电站自动化水平，不仅可以有效地解决目前水电站自动化程度低、投入高、冗余功能多等弊端，还可以将安全生产标准化管理内涵融入其中。水电站应用智慧水电云监管平台后，平台用户可以远程查看视频监控、水位测报等信息，还可以进行安全巡视管理，从而实现水电站运行智慧化管理。<sup>[2]</sup>

### 引用

- [1] 郑凯,潘润霞.基于物联网技术的水电站物资智慧管理平台设计[J].中国设备工程,2024(2):37-39.
- [2] 崔何亮,张秀丽,王玉洁,等.水电站大坝在线监测管理平台的探索与实践[J].大坝与安全,2018(2):31-36.
- [3] 梁庚.水电智慧化系统平台的设计与研发[J].水电与抽水蓄能,2022,8(5):3.



# Frequentis 内话系统 TMCS 的故障分析

文 ◆ 中国民用航空华北地区空中交通管理局 衣健铭

## 引言

FREQUENTIS VCS3020X 系列内话系统目前是华北空管局使用的主流产品。本文主要介绍 TMCS 在 FREQUENTIS 内话系统中的架构及其作用，并结合该内话系统中 TMCS 出现的典型故障，阐述具体的维护经验。

内话是语音交换系统的简称，是空管运行的关键设施之一，承担着管制对空指挥以及协调移交的重要作用。一方面，通过内话系统，可以将甚高频无线收发系统（VHF Radio）的语音进行控制和交换处理，提供给地面管制员使用，以完成“地—空”之间的通信联络。另一方面，内话系统还能发起和接收处理各种电话信息，实现“地—地”之间的管制移交和协调通信<sup>[1]</sup>。作为空管甚高频、高频以及各类有线通信的综合性的交换设施和通信终端，内话系统的出现极大减轻了管制员的工作负荷。

## 1 Frequentis 内话系统概述

Frequentis 内话系统是基于 PCM 编码和时分复用的原理，完成无阻塞、冗余的数字式语音交换系统，主要由核心交换系统、管制员操作席位设备、外围接口设备以

及技术监控系统组成<sup>[2]</sup>。Frequentis 内话系统为北京区管中心所使用的语音通信交换系统，包括主、备、应急 3 套内话系统同时运行，设备型号为 VCS 3020X Rel.7.1。

## 2 TMCS 介绍

VCS 3020X Rel.7.1 系统的管理以及监控终端（TMCS）是整个内话系统的重要组成部分之一。TMCS 的软件运行在 VCS 网关（TMCS 服务器）上。TMCS（Technical Monitoring and Control System）是 VCS 3020X Rel.7.1 内话系统的监控管理系统，FRQ 内话系统 TMCS 连接图如图 1 所示，通过双 IP 链路系统与系统核心处理单元 Comm server 相连接。TMCS 工作站上的应用是系统平台上的独立应用，VCS 和 TMCS 的配置数据均储存在 TMCS 工作站的 ORACLE 数据库。值得注意的是，即使断开 TMCS 与内话系统的连接，内话系统本身仍然可以正常运行。

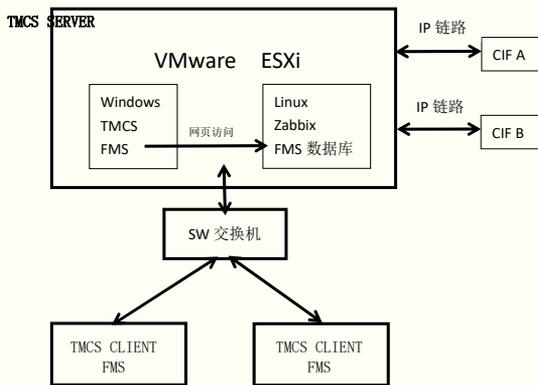


图 1 FRQ 内话系统 TMCS 连接图

TMCS 主要特征包括系统配置参数和软件管理（包括软件下载）、生成系统日志和报告（反映系统运行状态和现行故障）、故障诊断功能、采集反映系统活动的静态数据<sup>[3]</sup>。

## 3 实际故障案例分析

### 3.1 故障现象及处置过程

2023 年 11 月 29 日，北京区域管制中心的维护人员在巡视时发现应急内话 FRQ7.1 系统 TMCS 监控提示某频率和席位 D06 有告警，但未显

【作者简介】衣健铭（1998—），男，北京人，本科，助理工程师，研究方向：民航空管内话。

示告警内容，怀疑为席位 PTT 卡阻告警。分别点击频率和席位告警项均可跳至频率和硬件所在位置，但未显示具体的告警项目。约 2s 后，一楼应急内话系统 TMCS Client 弹出与 TMCS Server 断开连接的弹窗，点击 Restart 键后无法自动完成监控重启，检查二楼和机房内监控均有此现象。尝试重启 TMCS Client 主机后再次打开监控，仍然无效。

检查机房内应急内话系统机柜核心板卡指示灯状态，CIF 板卡指示灯状态图如图 2 所示。CIF 右侧第三行指示灯处于熄灭状态，查阅资料得知此指示灯为 TMCS 状态灯，正常情况下应为亮起状态。检查 TMCS Server 主机与 CIF 之间网线接口指示灯，发现指示灯处于恒亮状态（正常情况下应为闪亮状态）。重新插拔 TMCS Server 主机与 CIF 卡之间的网线无效。检查应急内话系统的业务板卡指示灯正常，监听频率正常。

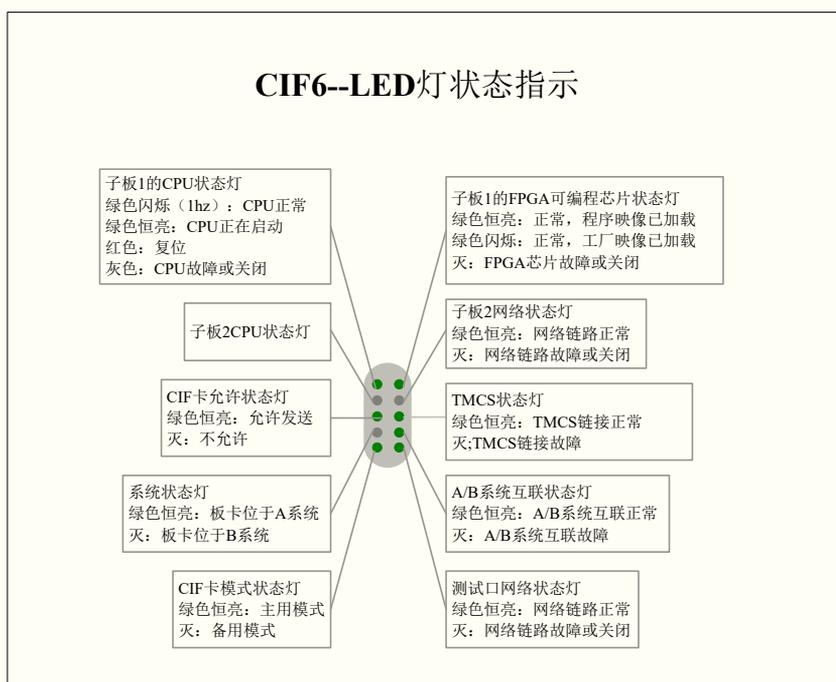


图 2 CIF 板卡指示灯状态图

重启 VMware 中 TMCS Server 上带载的 ACCE-TMCS-01 虚拟机后，TMCS Server 网线接口指示灯恢复为闪亮状态，CIF 板卡指示灯恢复正常。同时，TMCS Client 与 TMCS Server 连接得到恢复，可以正常登录并进行监控。

维护人员在客户端和服务器的 TMCS Event logs 中查询日志时，发现均没有重启之前的某频率和席位 D06 告警日志，且三天前的日志也均无记录。

### 3.2 原因分析

TMCS Client 恢复后，在 TMCS Event log 中未找到 11 月 29 日 20 : 30 提示的席位和频率长触发警日志。进一步检查 TMCS SERVER 时，发现以下提示。

persistence.log 文件提示：

```
2023-11-26 07:59:10,456 [p: default-threadpool; w: Idle] WARN -SQL Error: 17002, SQLState:08006
```

```
2023-11-26 07:59:10,456 [p: default-threadpool; w: Idle] ERROR -Io exception: Softwarecausedconnection abort: socket write error
```

```
2023-11-2607:59:10,456 [p: default-threadpool; w: Idle] FATAL- org. hibernate.exception. JDBCCon nectionException:error executing work
```

```
2023-11-26 07:59:10,456 [p: default-threadpool; w: Idle] ERROR - JDBC rollback failed java.sql. SQLException:Closed Connection
```

11 月 26 日 07:59:10 出现 SQL Error 错误提示，oracle 数据库便出现异常情况，怀疑 TMCS SERVER 自 11 月 26 日起日志记录功能出现异常。

Logbook.log 文件（记录 TMCS 运行问题的日志）提示：

```
23-11-26 08:22:49.93 ERR< 0000878>ProcessQueue/AddLog Entries Error:
```

```
23-11-26 08:22:49.96 ERR< 00000878> Result = Database Error:(PER0020)Exception inserting log entries or starting/rolling back transaction.
```

```
23-11-26 08:22:49.96 ERR< 0000B78> ... details: org.hibernate. exception.GenericJDBCException: error executing work
```

11 月 26 日 08:22:49 有记录 ProcessQueue/AddLogEntries Error 异常提示。

Statistics.log 文件（记录内话系统中各种通话数据）提示：

```
23-11-26 07:59:10.45 ERR < 00001340>StatisticsAccess_IF Impl:: run() - could not delete expired entries.23-11-26 07:59:10.48 ERR< 00001340> Result =Database Error: (PER0024) Error opening session.
```

```
23-11-26 07:59:10.48 ERR< 00001340>... details: org.hibernate. TransactionException:JDBC rollback failed23-11-26 07:59:
```

10.50WARN <00001340> Statistics Access\_IFImpl::run() - could not set m\_EntryCount.

11月26日07:59:10起，有DatabaseError异常提示，指示未能删除过期的日志条目等信息。且该时间与数据库出现故障的时间吻合。

VcsStatus.log文件（VCS系统日志）提示：

```
23-11-29 16:00:00.04 INFO <00001198>Message from vcS {1},Node {30000-A}:{Systemwide Frequency Test started (periodic)}
```

```
23-11-29 20:29:00.52 INFO <00001198>Message from VcS {1},Node{30100-A}:{134.15TY-YJ/TDM: Stuck Ptt}
```

```
23-11-29 20:29:01.36 ERR<00001198>
```

```
WriteAlarmTo Database(): [307C0-A, VCS 1][15] Unable to store alarm in database!
```

```
23-11-29 20:29:01.36 ERR<00001198> Result =DatabaseError: (PER0121) Error opening session.
```

```
23-11-29 20:29:01.38 ERR<00001198>... details: org.hibernate. TransactionException: Transaction not successfully started
```

11月29日，席位Node {30100-A}：出现Stuck Ptt告警，并显示Write AlarmToDatabase，Unable to store alarm in database!异常提示，表明无法将告警信息记录在日志数据库中。

通过日志分析，发现TMCS监控软件于11月26日07:59:10起与数据库连接丢失。此时，TMCS软件已经无法呈现完整的日志信息，但由于内话系统无任何故障，TMCS监控软件运行正常。初步分析判断，内话系统在删除超

过30天的统计文件时失败，导致数据库异常，进而无法正常写入日志，属于软件故障。为进一步调查造成TMCS监控断开连接以及日志记录异常的原因，将上述告警日志和文件反馈至飞坤厂家。

日志路径：This PC/C盘/TMCS2000/TmcsServer/log

经厂家调查，FREQUENTIS Rel.7.1内话系统数据库中存储的日志条目上限为1000000条，超过时将立即删除10000条，且每24小时，系统自动删除超过30天的系统日志和统计文件。如果不删除或删除失败，将导致数据库错误。同时，由于这是源于服务器内部的进程错误，TMCS监控软件无法监控到该错误。

### 3.3 建议及措施

(1) TMCS故障有软件与硬件区别，需要第一时间区分是软件还是硬件故障，以明确排查思路。(2) IRMC ESX-01页面可用于监控TMCS SERVER主机硬件状态以及设备的网络连接情况。同时，也可通过网页打开虚拟机的方式进行查看，且通过网页访问虚拟机可查看SERVER与CIF卡的网络连接情况。(3) 建议用户定期导出TMCS事件日志，以保持数据库稳定，避免日志达到1000000的最大容量。(4) 建议用户的ESXI软件必须按照VMware的建议定期更新，并且在软件更新后重启ESXI Server。(5) 建议定期检查TMCS event log，确认是否有成功删除过期日志或其他内容的新增日志记录。如果发现删除记录或新增日志有缺失，需要重启TMCS服务器或联系厂家，直至新增日志记录正常。Event log中成功删除过期日志的记录如图4中橙色框所示。

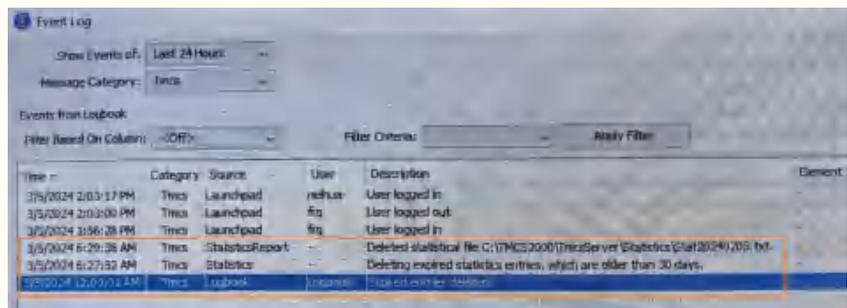


图4 Event log中成功删除过期日志的记录

## 结语

本文通过对FRQ7.1内话系统中的TMCS进行简要介绍，并结合实际工作中典型案例，从TMCS连接情况、排查思路等角度进行全面分析，给出了相应的建议和措施。这些分析和建议对今后避免类似的事件并减轻其影响具有借鉴作用，有助于提高TMCS系统运行的可靠性和可维护性。

## 引用

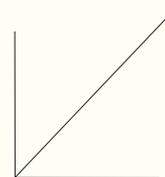
[1] 田园.Frequentis内话系统传输方式与测试平台应用分析[J].电子世界,2020(6):182-183.  
 [2] 陈巧雅.基于内话系统的空管语音通信架构设计与实现[J].中国民航飞行学院学报,2018,29(2):27-30.  
 [3] 内话系统培训教材VCS3020XRel.7.1 Rev. 11.0-培训教材[Z].2020.

# 旋转导向工具载波通信专用集成电路设计

文 ◆ 芯珉微电子（上海）有限公司 苑维旺

## 引言

为了满足不断增长的通信需求，设计和实现高性能的载波通信专用集成电路逐渐成为首要任务。在集成电路设计过程中，使用适当工具可提高设计效率和确保设计的准确性，而旋转导向工具在集成电路设计中属于常用工具，能够提供精确的导向控制和布局规则，辅助完成芯片设计和布局，在载波通信专用集成电路设计中，旋转导向工具能够帮助设计师实现芯片的功能模块，并提高设计的效率和准确性。



## 1 专用集成电路芯片

为载波通信设计的专用集成电路芯片属于各种通信设备中的重要组成部分，为满足运营商通信系统的要求而定制，能够提供高效和可靠的通信能力，该芯片可以使载波网络和终端用户设备之间进行可靠和有效的通信设计，确保最佳性能，遵守行业标准<sup>[1]</sup>。

专用集成电路芯片设计包含以下 8 个方面。第一，无线连接。芯片配备特定的无线通信协议，如 GSM、CDMA、LTE 或 5G，允许与运营商网络无缝连接，支持多种频段，保证信号的可靠接收和传输。第二，信号处理。芯片采用先进的信号处理技术，提高载波信号的质量和稳定性，如噪声消除、均衡化、回波消除和调制/解调等功能。第三，数据管理。芯片管理着对载波数据的高效处理，如分组交换、数据压缩、错误检测和校正等功能，确保可靠和快速的数据传输。第四，安全性。内置的安全功能可保护运营商通信系统免受潜在威胁，如加密和解密算法、身份验证机制以及保护网络和用户数据的防火墙功能。第五，功率效率。芯片的设计旨在减少功耗，使其适合电池驱动的设备，如智能手机或用于运营商通信的便携式路由器，电源管理技术如电源门控、自适应电压缩放和睡眠模式，能够优化能量使用。第六，接口支持。芯片与载波通信系统的其他组件进行接口，如天线、微控制器、内存模块和用户接口，如 SPI、I2C、UART、USB、PCIe、以太网或射频天线连接器，取决于具体要求。第七，可靠性和质量。芯片经过严格的测试和验证过程，确保高可靠性和质量标准，能够设计应用于恶劣环境中，具有抵抗温度变化、电磁干扰和物理阻力的能力。第八，尺寸和集成。芯片被设计为紧凑型，并集成在载波通信设备中，允许更小的形式因素和有效地利用空间。

## 2 芯片功能模块

芯片功能模块是集成在集成电路（IC）或微芯片中的专用组件，以提供特定的功能，该功能模块旨在增强集成电路的整体性能，通常是为特定应用程序量身定制<sup>[2]</sup>。芯片功能模块涵盖以下几方面。第一，模数转换器（ADC）。一个 ADC 功能模块将模拟信号转换为数字数据，能够对集成电路内的模拟信号进行数字处理，该模块通常用于传感器接口、音频处理和数据采集等应用程序中。第二，“数字—模拟”转换器（DAC）。DAC 功能模块将数字数据转换为模拟信号，允许数字设备与模拟系统或设备接口连接，并被广泛应用于

【作者简介】苑维旺（1983—），男，上海人，本科，中级工程师，研究方向：集成电路设计。

音频处理、通信系统和控制系统中。第三，计时器/计数器。计时器/计数器功能模块能够提供集成电路中的计时和计数功能，可用于各种目的，如产生精确的时间延迟，测量时间间隔、划分时钟频率等，计时器/计数器通常用于实时操作系统、电机控制和通信协议等应用程序中。第四，通用异步接收机—发射器（UART）。UART 功能模块支持 IC 和外部设备之间的串行通信，处理数据的序列化和反序列化以及串行数据的同步和框架，UART 通常用于 RS-232、RS-485 或 USB 等通信接口。第五，内存控制器。内存控制器功能模块管理 IC 和外部存储设备之间的交互，控制 IC 和存储器子系统之间的数据传输、地址生成和定时同步。内存控制器用于与各种内存技术进行接口，如 RAM、闪存或 EEPROM。第六，脉宽调制（PWM）发生器。PWM 功能模块产生脉宽调制信号，广泛应用于电机控制、功率调节和音频应用，允许精确控制信号占空比，并经常用于诸如直流电机速度控制、LED 亮度控制或 D 类放大器等应用。第七，以太网控制器。以太网控制器功能模块在 IC 内启用网络功能，处理以太网帧的传输和接收，允许 IC 与以太网网络上的其他设备进行通信。

### 3 旋转导向工具载波通信专用集成电路设计实现与性能测试

#### 3.1 设计实现

载波通信的专用集成电路芯片的设计和实现涉及多个阶段和考虑事项，在设计初期首要任务便是针对需求展开深入分析，确

定芯片需要满足的具体需求和功能，如考虑目标载波通信系统、无线协议、数据速率、功耗、安全措施和接口要求。

在对体系结构进行设计时，应基于需求分析，设计芯片的体系结构，确定实现功能所需的各种块和模块，如定义无线连接性块、信号处理块、数据管理块、安全块、电源管理块和接口支持等，设计要点如下。第一，无线连接性块。射频接收器工作频率范围为 2.4GHz ~ 5.8GHz，接收灵敏度为 -90dBm，支持多种调制方式（如 BPSK、QPSK、16-QAM）。射频发送器工作频率范围为 2.4GHz ~ 5.8GHz，传输功率可调，支持多种调制方式（如 BPSK、QPSK、16-QAM）。第二，天线。天线增益为 5dBi，工作频率范围与无线连接性块相匹配。第三，信号处理块。数字信号处理器 32 位浮点数运算，主频为 500MHz，内置多个算法库（如 FFT、滤波等）。调制解调器支持半双工和全双工通信模式，支持多种调制方式（如 BPSK、QPSK、16-QAM）。误码率测量器能够测量误码率低至 10<sup>-6</sup>。第四，数据管理块。数据缓冲区缓存大小为 2MB，支持 FIFO 和循环缓存模式。数据传输控制器能够实现数据的复制、存储和校验，支持 DMA 传输和中断服务机制。数据存储容量为 64MB，支持闪存和 EEPROM。第五，安全块。加密器支持 AES、DES 和 RSA 等对称和非对称加密算法；解密器支持 AES、DES 和 RSA 等对称和非对称解密算法；密钥管理器支持密钥生成、存储和更新。第六，电源管理块。电源管理器支持输入电压范围为 3.3V ~ 5V，能够监测电源电压、电流、温度等，并提供过压、过流和过温保护。功耗控制器能够根据需求调整芯片的工作模式和频率，实现功耗的优化。第七，接口支持。通讯接口支持 UART、SPI、I2C 等通信接口标准；数据总线支持 32 位或 64 位数据总线。

在实施块级设计时，应对芯片的每个块进行详细设计，考虑具体要求和约束条件，如设计电路，选择适当的组件以及定义块之间的互连，设计要点如下。第一，射频块设计。设计射频前端电路，如射频放大器、混频器、滤波器和振荡器，设计应考虑目标载波通信系统，如 5G 或 WiFi 及其各自的频带。所选的组件应提供低噪声数字、高线性度和适当的增益，确保最佳的信号接收和传输。第二，基带块设计。该块负责对接收和传输信号的处理和调制/解调，如数字信号处理器（DSP）、数模转换器（DAC）和模数转换器（ADC）等组件。该设计应考虑所需的数据速率和所使用的无线协议，应选择低功耗的高速 DAC 和 ADC 进行高效的信号处理。第三，电源管理设计。该模块涉及设计电源电路和管理功耗，如调压器、电源开关和电池管理电路等组件，确保有效功率传输至芯片的不同块，同时减少功率损失，采用功率门控和电压缩放等技术优化功耗。第四，安全措施设计。该块侧重于将安全特性集成到芯片中，如设计加密/解密模块、认证协议和对敏感信息的安全存储，设计应考虑基于应用程序和可能的安全漏洞所需的安全级别，选择具有内置安全特性的组件，如硬件加密引擎，以增强安全性。第五，接口设计。该块处理设计芯片和外部组件或系统之间的接口，选择适当的通信协议，如 SPI、I2C 或 UART，并设计必要的电路支持该接口，该设计确保可靠的数据传输与现有系统的兼容性。此外，在设计 RTL 时，应使用

如 VHDL 或 Verilog 这样的硬件描述语言 (HDL) 创建芯片的寄存器—传输级别 (RTL) 表示形式, 定义芯片中每个模块的内部行为、数据流和控制流。

### 3.2 性能测试

首先, 制定测试计划。制定全面的测试计划, 概述评估性能指标、执行测试场景以及测试设备和软件工具。确定性能测试的具体目标, 如评估芯片的吞吐量、延迟、数据包丢失率和其他性能指标, 该目标应与芯片所需的预期规格和要求相一致<sup>[1]</sup>。

其次, 测试设置。第一, 电子元器件测试。对芯片所使用的电子元器件进行测试, 测试其性能、稳定性和可靠性。第二, 电路测试。对芯片的各个电路模块进行测试, 如射频接收器、射频发送器、信号处理器和数据管理等, 测试内容如输入输出波形、功耗、工作频率范围、灵敏度、信号处理能力等。第三, 功能测试。对整个芯片的功能进行全面测试, 如无线连接性、信号处理、数据传输和安全等, 测试内容包括信号质量、通信速率、误码率、加密解密性能等。第五, 功耗测试。测试芯片在不同工作模式和频率下的功耗特性, 如静态功耗和动态功耗。第六, 稳定性测试。对芯片进行长时间运行测试, 以验证其稳定性和可靠性。第七, 接口测试。测试芯片的通讯接口和数据总线的兼容性和可靠性。第八, 温度测试。测试芯片在不同温度条件下的性能和可靠性。

最后, 测试结果。第一, 无线连接性测试结果。信号质量经过测试, 芯片的信号质量稳定, 无明显的抖动或失真, 满足要求的无线连接性。通信速率在 2.4GHz ~ 5.8GHz 频率范围内, 芯片能够支持每秒传输速率高达 100Mbps 的数据, 满足目标的通信速率需求。灵敏度芯片的接收灵敏度达到 -90dBm, 能够接收到弱信号, 并保持较好的通信质量。第二, 信号处理测试结果。首先是处理速度方面, 芯片内置的数字信号处理器能够以 500MHz 的主频进行运算, 处理速度较快, 满足实时信号处理的要求。其次是功耗在进行信号处理时, 芯片的功耗较低, 为 3.3V ~ 5V 的输入电压范围内, 功耗仅为 X mW。最后是处理精度方面, 经过测试, 芯片能够以高精度完成不同算法, 满足信号处理的要求。第三, 数据管理测试结果。数据传输速度和容量芯片的数据缓冲区大小为 2MB, 在进行数据传输时, 能够实现高速的数据传输, 满足大容量数据的传输需求, 还能长期保存数据, 从根本上避免数据丢失、损坏等问题的发生。第四, 安全性测试结果。首先是加密解密性能方面, 芯片的加密解密性能较高, 能够支持 AES、DES 和 RSA 等对称和非对称加密算法, 实现快速的加密解密操作。其次是密钥管理性能方面, 芯片的密钥管理器能够实现密钥生成、存储和更新, 并且具有较好的安全性和可靠性。第五, 功耗测试结果。静态功耗芯片在不进行任何操作时的静态功耗较低, 为 X mW; 动态功耗芯片在不同工作模式和频率下的动态功耗较低, 能够实现功耗的优化。第六, 稳定性测试结果。经过长时间的运行测试, 芯片表现出较好

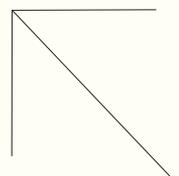
的稳定性, 工作稳定且不容易出现故障。第七, 接口测试结果。通信接口和数据总线的兼容性和可靠性都较好, 能够稳定进行数据传输和通信。

### 结语

旋转导向工具载波通信专用集成电路的设计和实现, 如专用集成电路芯片和功能模块构建, 借助旋转导向工具提供精确的导向控制, 性能测试可评估通信速率、信号质量和功耗等指标, 经过详细测试, 最终确定旋转导向工具有助于提高集成电路设计的准确性和效率。<sup>[2]</sup>

### 引用

- [1] 闫恒宇, 李雪, 白玉新, 等. 旋转导向工具载波通信专用集成电路设计[J]. 科技资讯, 2023, 21(9): 17-21.
- [2] 张宁远. 低功耗电源管理在集成电路设计中的应用与优化[J]. 你好成都(中英文), 2023(32): 70-72.
- [3] 黄懿强. 新型智能旋转导向工具在南海东部探井的应用分析[J]. 河南科技, 2023, 42(9): 65-68.



# 基于 UWB 定位技术的 煤矿井下电子围栏应用研究

文◆中煤华晋集团有限公司王家岭矿 张宁波

## 引言

超宽带无线通信技术是一种无载波通信技术<sup>[1-3]</sup>,即“Ultra-Wide-Band”,简称UWB技术。近年来逐渐在定位中应用成熟,通过UWB技术,收发器发送和接收精度非常高的时间戳,使定位精度能够轻松达到分米级,实现对位置的高精度定位。UWB技术具有精度高、功耗低等优点,非常适用于煤矿井下定位,因此成为目前井下人员接近系统、电子围栏等技术的首选。

## 1 概述

井下安全问题频发,如冒顶、爆炸、透水、机电设备事故等,尤其是机电设备事故,通常是人员在附近的情况下,设备运行造成的各种伤害,严重甚至发生人员遇难事故。一旦发生事故,造成的人员伤亡和经济损失都无法预估。掘进工作面中掘进机、掘锚机、梭车、锚杆机、破碎机、两臂锚杆机在作业过程中应交替循环作业,生产期间粉尘浓度大,设备移动过程中存在视觉盲区,易发生人员挤伤事故。为防止移动设备伤人,应在掘进工作面移

动设备上安装移动设备人员接近防护系统,当人员接近移动设备时可自动减速或停机,从而保证人员安全。

### 1.1 UWB 技术

超宽带(UWB)技术最初在1960年代被开发出来,主要用于雷达系统。随着时间推移,技术改进并使用了正交频分复用(OFDM)技术,使传输速率达到了惊人的480Mbps。尽管UWB在数据传输能力上与WiFi竞争,但WiFi的高速数据传输功能很快超越了UWB,导致UWB在数据传输领域的作用有所减弱。

与常见的无线通信技术不同,UWB通过在宽广的频率带上发射一系列短促的脉冲无线电信号运行。因此,UWB也被称为脉冲无线电UWB或IR-UWB(脉冲无线电超宽带)。常见的卫星通信、WiFi和蓝牙等技术则在较窄的频率带上使用调制的正弦波来传递信息。

UWB脉冲具有显著的特点。首先,脉冲非常陡峭且狭窄,类似尖峰波形,这样在充满噪声的环境中也可轻易识别。其次,脉冲在密集的多径环境中更适合进行时间飞行(TOF)测距。由于物体会引起信号的反射或阻断,导致多个路径上的信号到达接收器,在UWB系统中,从主信号路径分离出这些多径信号变得相对容易,而在窄带系统中这一过程则相对复杂和耗时。

在标准的功率级别下,UWB的有效工作距离是10m。如果加大脉冲功率,那么UWB的通信距离可以达到200m。此外,UWB还能够传输数据,以7Mbps的速度发送数据,并且有潜力进一步提升速度,最高可达32Mbps。

UWB的其他部分工作避开了2.4GHz这一拥挤的频段。用于定位和测距的UWB脉冲在6.5~8GHz的频率范围内工作,不会干扰其他频段的无线传输信号。因此UWB能够与目前广泛使用的各种无线技术和谐共存,如卫星导航、WiFi和蓝牙等。美国联邦通信委员会(FCC)对UWB技术的频带规定为在3.1~10.6GHz频段中占用500MHz以上的带宽。

### 1.2 UWB 定位原理

UWB定位原理是在被定位区域布置UWB定位基站,被定位对象携

【作者简介】张宁波(1987—),男,山西运城人,本科,工程师,研究方向:煤矿机电。

带 UWB 定位标签。通过测量定位标签与定位基站的距离，获得定位标签的位置。UWB 目前应用效果较好的定位方法主要有 3 种，即 TOA 方式、TOF 方式和 TDOA 方式。

TOA (Time of Arrival) 方式通过测量信号从发射源到达接收器所需的时间来确定发射位置，TOF (Time of Flight) 通过测量信号从发射源发出到被接收器接收并返回发射源的总时间来确定发射位置。TOF 定位方法与 TOA 定位方法本质上相同，而 TOF 测距不依赖基站与标签的时间同步，故没有时钟同步偏差带来的误差，但 TOF 测距方法的时间取决于时钟精度，时钟偏移会带来误差。

到达时间差 (Time Difference of Arrival, TDOA) 是一种利用移动点到达不同基站时间的差值进行定位的方法。定位标签 (下称“标签”) 对外广播 UWB 信号，不同定位基站 (下称“基站”) 在不同时间接收到此 UWB 信号，根据不同基站收到同一信号的时间差，进而计算到达基站之间的距离差，以确定标签的位置。

相比 TOF 和 TOA 方式，TDOA 方式一次定位的通信次数少，由于采用时间差而非绝对时间进行测距，精度也更高。因此，本文采用 TDOA 作为电子围栏场景下的测距算法。

## 2 电子围栏

“电子围栏”又称人员接近预警防护系统，是一种安全防护系统，广泛应用于掘进工作面、煤仓、密闭墙、带式输送机井下关键危险区域的安全预警。

### 2.1 电子围栏的组成

电子围栏由 UWB 基站 (读卡器)、UWB 标识卡、声光报警器以及控制软件系统等组成，电子围栏的组成如图 1 所示。

### 2.2 电子围栏的原理

通过 UWB 测距技术，利用标识卡和基站的距离来设置不同报警逻辑或控制逻辑，来保障以 UWB 基站为中心的区域的的安全性。设置以 UWB 基站为圆心的报警区域和停机区域实现人员防入侵。当人员闯入报警区



图 1 电子围栏的组成

域，报警灯发出黄色报警信号，并有“人员靠近请注意”声音提示。当人员闯入报警区域，报警灯发出红色报警信号，并有“人员危险请停机”声音提示，同时输出停机信号，通过控制器控制设备停机。防护范围如图 2 所示。同时，工作人员离开工作岗位时，系统发出报警提示，输出相应的控制信号控制设备停机 (注：为了使系统安装后达到理想的使用效果，安装位置尽量位于设备的中心且受金属等物体信号遮挡较少的地方)。



图 2 防护范围

## 3 电子围栏应用研究

电子围栏可以设置到掘进工作面、矿井主运输以及带式输送机驱动部分和机尾滚筒等部位、煤仓上、下口或者溜煤眼等部位、密闭墙外部、采煤工作面转载机部位等。本文就电子围栏在掘进机、两臂锚杆钻车的实际应用进行研究，针对掘进机、两臂锚杆钻车的电子围栏设置位置和功能需求进行了探讨。

### 3.1 掘进机的电子围栏应用

#### 3.1.1 安装方式

掘进机人员接近防护系统安装示意图如图 3 所示。

UWB (超宽带) 基站安装在综掘机的设备中心位置，声光报警器安装在车体上显眼位置。

#### 3.1.2 区域设置

掘进机人员接近防护系统区域分为报警区、停机区、工作区区域。报警区是在外来人员进入此区域时，设备触发报警，可设置声光报警器工作。停机区是在

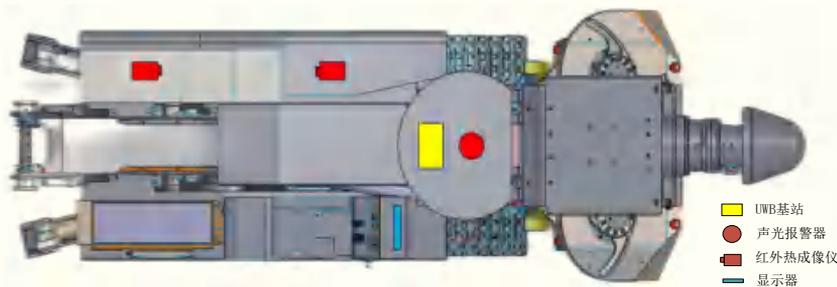


图3 掘进机人员接近防护系统安装示意图

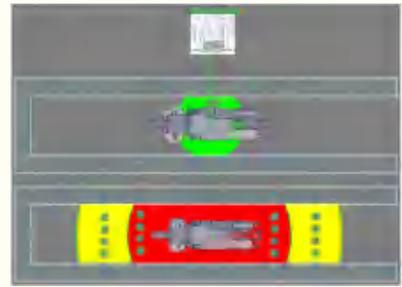


图4 掘进机区域设置

外来人员闯入此区域时，触发设备停机，可将此区域细分为不同的停止功能，首先外围停机区设置截割部停止工作，其次运输机停止工作，最后油泵停止工作。工作区以掘进机司机为中心设置的区域，允许司机在一定范围内活动，观察割煤效果，不触发人员接近预警系统工作。

掘进机区域设置如图4所示，图中黄色区域为报警区、红色区域为停机区、绿色区域为工作人员工作区。外来人员进入报警区，系统自动触发掘进机报警提示；外来人员进入停机区，系统自动触发掘进机报警提示并停机。本机工作人员离开工作区时，系统自动触发掘进机报警提示并停机。本文将距离掘进机的机头或机尾7m的范围（以UWB基站距离设

备机头或机尾较长侧距离为准）划定为报警区；距离掘进机的机头或机尾3m的范围（以UWB基站距离设备机头或机尾较长侧距离为准）划定为停机区；以UWB基站为圆心，4m为半径的区域划定工作区。针对掘进机单岗作业特性，在工作区域内，有且只有1名工作人员的情况下设备能够正常启动运行。

### 3.1.3 应用效果

通过实际应用，有外来人员在距离设备7m时，系统进行声光报警。在人员接近到设备3m时，掘进机停机。即使在割煤时粉尘较大，无法观察到外来人员的情况下，设备依旧能够实现报警和停机。

## 3.2 两臂锚杆钻车的电子围栏应用

### 3.2.1 安装方式

两臂锚杆钻车安装位置示意图如图5所示。在两臂锚杆钻车驾驶室的侧方安装有UWB基站，声光报警器安装在两臂锚杆机驾驶室左侧，并有相应的防护罩保护措施。

### 3.2.2 区域设置

两臂锚杆钻车区域设置如图6所示，设置黄色区域为报警区、红色区域为停机区、绿色区域为工作人员工作区。两臂锚杆机在打锚杆作业时，外来人员进入报警区或停机区，系统只触发两臂锚杆机报警提示，不停机。两臂锚杆机在行走时，外来人员进入报警区，系统自动触发两臂锚杆机报警提示。外来人员进入停机区，系统自动触发两臂锚杆机

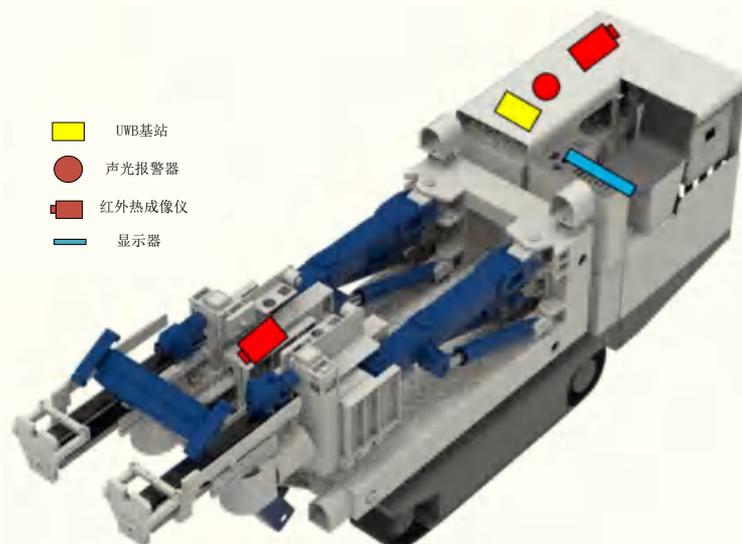


图5 两臂锚杆钻车安装位置示意图



图6 两臂锚杆钻车区域设置

报警提示并停机。本机工作人员离开工作区时，系统自动触发两臂锚杆机报警提示并停机。设备区分支护和行走模式，在行走模式下，人员靠近预警区域，设备预警，人员靠近停机区域后，设备停机。在支护模式下，人员闯入防护系统的报警区和停机区设备只预警不停机。本文将距离两臂锚杆机的机头或机尾 7m 的范围（以读卡器距离设备机头或机尾较长侧距离为准）划定为报警区，距离两臂锚杆机的机头或机尾 3m 的范围（以读卡器距离设备机头或机尾较长侧距离为准）划定为停机区，以读卡器为圆心，2 ~ 4m 为半径的环形区域划定为工作区。

### 3.2.3 应用效果

通过实际应用，有外来人员在离设备 7m 时，系统进行声光报警。在人员接近到设备 3m 时，两臂锚杆钻车停机。即使在打钻时，无法观察到外来人员的情况下，设备依旧能够实现报警和停机。

## 4 单机功能需求及多机协同需求研究

### 4.1 单机功能需求研究

设备应具有启动检测功能、预警 / 停机分级报警功能、司机脱岗报警功能、数据存储功能、手机 App 功能等，具体功能如下。（1）启动检测功能。当设备启动时，系统对设备周围环境进行安全评估，若检测到停机区域除司机外的标识卡（手环）存在，那么设备将无法启动。（2）预警 / 停机分级报警功能。设备周围可设置不同区域大小的报警区和停机区，人员进入报警区后发出相应报警信号，人员进入停机区时设备主动停机。（3）司机脱岗报警功能。通过 UWB 读卡器可设置司机的工作区域，当司机在设备的工作区域时，设备正常运行；当司机离开工作岗位时，立即触发设备停机。（4）数据存储功能。读卡器可采用循环覆盖存储的方式实时存储报警日志、参数配置日志等。（5）手机 App 功能。通过手机可设置读卡器报警、停机距离，实现人员信息增减等功能。（6）临时检修授权功能。当设备需要多人检修时，可对临时检修人员进行定时授权，授权检修时间内，被授权检修人员不触发报警和停机，检修时间结束后，被授权检修人员自动恢复原来身份。（7）分级权限管理功能。不同人员所具备的权限不同，根据权限不同可进行有限范围的参数设置、检修人员授权、数据读取等操作。（8）读卡器免开盖维护功能。读卡器内置 WiFi 模块，不开盖的情况下，便可以实现参数配置、数据提取等操作。（9）人机双向报警功能。人员进入报警区或停机区时，声光报警器发出相应报警信号；当设备在运行状态时，标识卡（手环）发出声音或振动报警信号。

### 4.2 多机协同需求研究

多设备协同工作时，应避免靠近的两设备产生干扰，具体要求的功能如下。（1）设备之间相互靠近报警屏蔽功能。当司机驾驶本机设备（即司机在工作岗位）进入另一个设备的报警和停机范围时，不会触发相应的报警和停机。（2）多机双向报警功能。当多机相互进入报警区，声光报警器发出相应报警信号并进行设备减速；当设备进入停机区时，多个设备运行速度进一步减速，直至停机。（3）远程无线急停功能。当工作面任一佩戴标识卡（手环）的工作人员发现有危险情况发生时，可通过按下标识卡（手环）的无线急停按钮，控制设备远程停机。

无线急停触发后，必须由特定授权管理人员执行解除操作方可恢复正常。（4）热成像 AI 相机联动功能。本文研究的人员接近预警防护基于所有井下人员均佩戴 UWB 标识卡的假设，如果遇到未携带标识卡、标识卡欠压等场景，则无法触发报警停机，因此，可通过联合热成像、AI 技术的方式，进一步增强电子围栏的可靠性。

## 结语

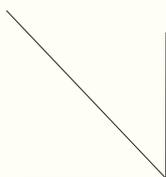
利用基于 UWB 的人员接近预警防护系统，无论设备操作者是否观察到闯入者，在外来人员距离设备一定距离时，都能够有效提醒设备操作者小心操作。当外来人员到设备设定的危险区域时，设备及及时停机，避免设备伤人事件的发生。通过将掘进工作面的掘进机、两臂锚杆钻车安装电子围栏，可以有效保障设备的正常运行和人员的安全。经过在中煤华晋集团王家岭矿的现场试验，测试结果与预期目标基本一致。未来还将在此基础上，增加 AI 检测、红外热射电等手段，增强防护系统的可靠性，同时，还可将其推广至采煤工作面转载机、带式输送机驱动、井下密闭等场所，进一步拓展电子围栏实用场景。<sup>[8]</sup>

## 引用

- [1] 弓楠.超宽带(UWB)无线通信技术分析[J].电子元器件应用,2009,11(8):83-86.
- [2] 刘芳,潘宇.超宽带(UWB)无线通信技术应用及其发展[J].白城师范学院学报,2007,21(6):35-37,48.
- [3] 周薛雪.超宽带(UWB)通信技术的特点及其应用[J].西部广播电视,2005(12):15-16.

# 核电站反应堆压力容器 顶盖检测机器人仿真平台研究\*

文◆国核电站运行服务技术有限公司 郑怡廷 赵琛 李思颖 余勤元 顾铭



## 引言

核电站反应堆压力容器顶盖（Reactor Pressure Vessel Head, RPVH）长时间暴露在高温、高压和辐射环境中，其中 CRDM 管（Control Rod Drive Mechanism，控制棒驱动机构）和放气管等部件容易产生裂纹和缺陷。通过每次大修期间的检查，及时发现这些缺陷，从而确保反应堆的安全。由于顶盖的高放射性，必须使用机器人代替人工进行检查工作。在检查过程中，如果出现检测机器人与顶盖发生碰撞，那么会导致顶盖表面损伤，如产生划痕、凹痕或裂纹，这些损伤会影响顶

盖的结构完整性和密封性能，增加放射性物质泄漏的风险，同时，检测机器人本身也会因干涉而受损，导致关键部位失灵，从而无法继续进行检测任务。此时，操作人员需要介入处理，增加了作业人员在辐射环境中的所受的剂量。因此，保证反应堆压力容器顶盖检查工作的安全性极为重要。其中，一项重要措施是通过仿真技术，在检查工作前对各个需要检查的 CRDM 管和放气管等进行模拟仿真，验证现有的机器人路径规划和姿态是否合理，是否会产生干涉问题，从而确保检查工作的安全可靠。

本研究开发了一套基于 RoboDK 仿真软件的核电站反应堆压力容器顶盖检测机器人仿真平台。该平台通过构建三维模型和仿真环境，对检测机器人的检测路径、操作过程进行全面模拟，并利用仿真软件的碰撞检测功能，实现检测过程的优化。通过这一仿真平台的研究和应用，旨在为核电站反应堆压力容器顶盖的高效、安全检测提供坚实的技术支撑。

## 1 机器人仿真技术与数字孪生技术

机器人仿真技术的发展可以追溯到 19 世纪 70 年代，随着计算机技术和虚拟现实技术的进步，工业机器人仿真技术开始逐渐走向成熟。在 19 世纪 70 年代，机器人仿真软件开始出现，主要用于模拟机械臂的运动和路径规划。随着计算机性能的提升和仿真技术的成熟，运动学仿真软件开始得到广泛应用，这类软件能够更准确地模拟机器人的运动学特性，实现复杂的路径规划和轨迹分析。随着机器人应用场景的复杂化和对仿真精度的要求增加，动力学仿真和控制技术逐渐成为研究热点。动力学仿真软件能够考虑机器人的惯性、摩擦和外部力等因素，实现更真实的仿真模拟和控制算法验证<sup>[1,2]</sup>。

近年来，数字孪生技术迅速发展，在各方面都展现出巨大的潜力。随着传感器技术的发展，大量的实时数据被采集到数字孪生模型中，为数字孪生技术的发展提供了数据基础。云计算和边缘计算技术的发展使数字孪生模型可以在云端或边缘设备上部署和运行，实现对实时数

\*【基金项目】反应堆压力容器顶盖自动检测控制系统软件优化（GHYX-NB-2315）

【作者简介】郑怡廷（1984—），男，上海人，本科，工程师，研究方向：机器人仿真及深度学习技术。

据的高效处理和分析。人工智能和机器学习技术在数字孪生中的应用日益广泛，通过对大量数据的学习和分析，可以实现数字孪生模型的优化和自适应调整，提高模型的精度和效率。数字孪生技术需要实时的数据支持，而机器人仿真技术可以提供高度准确的模型和仿真环境。机器人仿真通过收集、模拟和分析大量的实际数据，可以构建数字孪生模型所需的精确模型和参数，从而为数字孪生技术的发展提供数据基础。同时，数字孪生技术可以将实时采集到的数据与机器人仿真模型进行对比和分析，实现对设备运行状态的实时监测和预测维护<sup>[3,4]</sup>。

## 2 仿真平台结构

核电站反应堆压力容器顶盖检测机器人仿真平台主要由 RoboDK 仿真软件和自行开发的上位机软件两大部分组成。上位机软件通过仿真端通信子系统与 RoboDK 仿真软件进行数据交互，并通过机器人端通信子系统与检测机器人进行数据交互。此外，上位机软件还包括人机交互子系统，用于与用户进行互动，数据处理子系统和数据记录子系统分别负责数据的处理分析和记录存储工作。核电站反应堆压力容器顶盖检测机器人仿真平台结构图如图 1 所示。

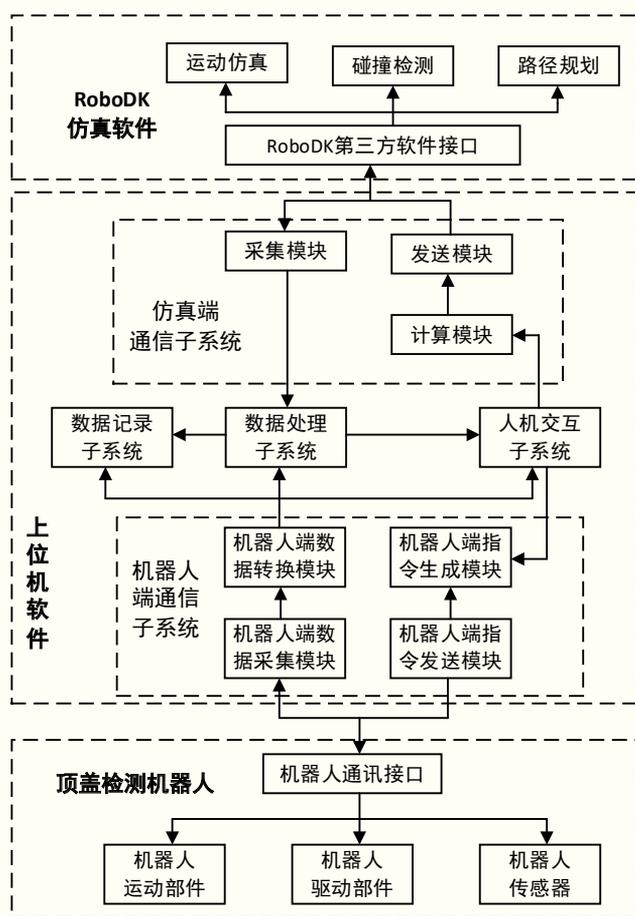


图 1 核电站反应堆压力容器顶盖检测机器人仿真平台结构图

## 3 RoboDK 仿真软件

RoboDK 是一款功能强大的工业机器人仿真软件，广泛应用于机

器人设计、模拟、调试和优化。RoboDK 软件主要由人机交互界面、仿真引擎、机器人库、建模工具等部分组成，且提供了接口供第三方调用<sup>[5]</sup>。

人机交互界面提供了一个直观易用的操作环境，用户可以通过界面中的图形化工具和控件进行建模、仿真、编程和控制。用户界面包括菜单栏、工具栏、对象浏览器、3D 视图等组件以及为用户交互的各种功能和操作界面。

RoboDK 的仿真引擎是软件的核心组件，负责实现工业机器人的运动仿真和路径规划。该仿真引擎基于先进的数学模型和算法，能够准确模拟机器人的运动学和动力学特性，实现对复杂场景的精确仿真和优化。

RoboDK 提供了多种建模工具，包括机器人建模、工具建模、环境建模等，用户可以使用这些工具创建仿真场景中的机器人、工具、工件等对象，并进行参数设置和优化。此外，RoboDK 支持与真实机器人控制器的通信和集成，用户可以将仿真场景中的程序直接上传到真实机器人控制器，实现对实际机器人的远程控制和执行。

RoboDK 还支持自定义插件和脚本功能，用户可以根据需要编写自己的插件和脚本，扩展软件的功能和应用范围，实现个性化的仿真和控制任务。同时，RoboDK 提供了数据管理和导出功能，用户可以保存和管理仿真场景中的数据和参数以及导出仿真结果和程序文件，方便后续的数据分析和应用。

RoboDK 提供了数据接口，支持 Python、C# 等语言，第三方软件可通过该接口调用 RoboDK 软

件的功能，实现仿真环境加载、机器人移动、作业模拟仿真、碰撞检测等功能。本套仿真平台采用 C# 语言进行开发，通过调用 RoboDK 的数据接口，实现与 RoboDK 的数据交互，从而完成仿真平台的构建<sup>[6,7]</sup>。

#### 4 上位机软件

上位机软件由人机交互子系统、仿真端通讯子系统、机器人端通信子系统、数据处理子系统、数据记录子系统组成，各子系统的的功能如下。

##### 4.1 人机交互子系统

人机交互子系统是上位机软件的核心，主要作为用户与机器人系统、仿真软件之间的桥梁。通过直观、友好的用户界面，用户能够轻松地与机器人和仿真软件系统进行交互，执行各种控制命令，并监控机器人的操作状态，进行各种仿真操作。该子系统主要包括仿真环境加载模块、状态界面模块、机器人操作模块、模式切换模块、配置模块。

仿真环境加载模块负责加载仿真软件的环境，上位机既支持加载默认的模板，也支持加载自定义的环境。

状态界面模块负责展示核反应堆压力容器顶盖检测机器人、仿真软件及上位机软件本身的状态。具体展示内容包括仿真软件连接状态和工作状态，核反应堆压力容器顶盖检测机器人各轴的位置、速度、负载， $i$ 以及机器人在极坐标下的半径和角度等数值。

机器人操作模块负责对核反应堆压力容器顶盖检测机器人进行操作。上位机提供手动控制界面，用户可以通过界面上的按钮控件直接控制机器人各轴的运动和操作。同时，该模块支持用户

执行自动控制功能，可在不同的场景下进行一键自动操作，实现检测工作的自动化操作。

仿真软件操作模块负责对仿真软件发送各项指令，提供仿真运行的启动、暂停和停止功能。该模块支持仿真速度调节功能，用户可以根据需求调整仿真运行的快慢。此外，通过 RoboDK 软件，仿真模块可以模拟机器人各轴的单步移动和自动操作功能，并在仿真软件上进行碰撞测试，提高机器人作业的安全性。

模式切换模块负责切换上位机软件的视图模式和运行模式。

配置模块用于用户对上位机软件的各项功能进行配置。

##### 4.2 仿真端通信子系统

仿真端通信子系统主要用于上位机软件和仿真软件间的数据交互。该子系统主要包含指令计算模块、数据发送模块、数据采集模块。

指令计算模块负责根据上位机软件的控制逻辑和用户输入进行相应计算，生成相应的仿真指令。这些指令将指示仿真软件模拟机器人的运动和操作行为。同时，该模块还会对生成的指令进行逻辑校验，确保指令合法且能够被仿真软件正确执行。

数据发送模块负责调用相应的仿真软件的第三方接口，将指令计算模块生成的指令数据发送至仿真软件。该模块会实时监控指令的传输状态，确保指令成功到达仿真软件，并处理传输过程中的异常情况。

数据采集模块负责从仿真软件接收实时运行数据，包括仿真状态、输出结果和其他相关信息。接收到的数据将被发送至数据处理子系统进行进一步处理。

##### 4.3 机器人端通信子系统

机器人端通信子系统用于上位机软件和核反应堆压力容器顶盖检测机器人之间的数据交互。上位机通过以太网与核反应堆压力容器顶盖检测机器人进行交互。该子系统主要包含指令生成模块、数据发送模块、数据采集模块、数据转换模块。

指令生成模块负责根据用户在人机界面的操作和上位机软件的需求生成相应的控制指令，以便在机器人上执行特定任务，并对生成的指令进行逻辑校验，确保其合法性和有效性。同时，该模块还会根据任务的优先级和执行顺序对指令进行排序，确保重要指令优先执行。

数据发送模块负责根据上位机生成的指令进行打包，确保数据格式正确。通过机器人通信接口将打包后的指令发送至机器人，并确保指令成功到达机器人。在传输过程中，该模块还负责处理异常情况，对传输过程中发生的错误进行校正，确保数据的完整性和正确性。

数据采集模块负责从核反应堆压力容器顶盖检测机器人接收实时运行数据，包括传感器数据、状态信息等。在数据阻塞时，该模块会将实时接收到的数据临时存储在缓存中，以备进一步处理，从而确保数据有序存储和及时更新。

数据转换模块负责将接收到的机器人数据转换为上位机软件能够处理的格式。该模块会将来自不同传感器或不同模块的数据进行整合，生成统一的数据格式。最后，将转换后的数据传输至数据处理子系统进行进一步处理。

#### 4.4 数据处理子系统

数据处理子系统在上位机软件中起着关键作用，负责对从仿真软件和核反应堆压力容器顶盖检测机器人获取的数据进行处理和分析，并将结果展示给用户。该子系统主要包括数据转换模块和异常检测模块。

数据转换模块负责将不同来源和格式的数据转换为统一的标准格式，确保后续处理的一致性和兼容性，便于后续分析和处理。同时，该模块还将数据中的单位转换为标准单位，确保数据的可比性和准确性。

异常检测模块根据预定义的规则和设定的阈值，对转换后的数据进行深入分析。识别出数据中的异常点，利用算法识别数据中的异常模式和异常行为。一旦识别到异常数据，该模块会立即触发报警机制并通知用户，以便及时处理。

#### 4.5 数据记录子系统

数据记录子系统在上位机软件中负责记录和管理从仿真软件和核反应堆压力容器顶盖检测机器人获取的数据，确保数据的完整性和可追溯性。该子系统主要包括数据存储模块和数据查询模块。

数据存储模块负责将数据以数据库或文件形式进行存储，对数据进行压缩存储，以减少存储空间占用，优化存储结构，提高数据存储和访问效率。

数据查询模块负责支持用户对历史记录进行查询，既支持根据单一条件进行数据查询，又支持复杂条件查询，包括多条件组合查询、范围查询和模糊查询。查询结果会以分页的形式展示给用户，方便用户查看。

### 5 碰撞检测

仿真平台进行碰撞检测的步骤如下。

(1) 打开核反应堆压力容器顶盖检测机器人仿真平台。

(2) 根据需要仿真的堆型，加载相应的仿真环境。

(3) 调整机器人的初始位置。

(4) 进入碰撞检测模式。

(5) 在仿真过程中，用户可选择手动操作或按照预设的自动规划路径进行仿真。

(6) 若仿真软件检测到机器人与反应堆压力容器顶盖存在碰撞风险，模型将变为红色，并在人机界面做出警示。

正常仿真状态如图 2 所示。碰撞时状态如图 3 所示。

用户通过设定好的自动扫查模式，在 RoboDK 中进行碰撞检测仿真，以此检验预设的扫查方式是否合理以及扫查路径是否会产生干涉。如果在仿真过程中出现碰撞干涉，用户则需要通过调整机器人的扫查装置、修改扫查路径等方式，重新优化机器人系统。随后，再次进行仿真碰撞检



图 2 正常仿真状态

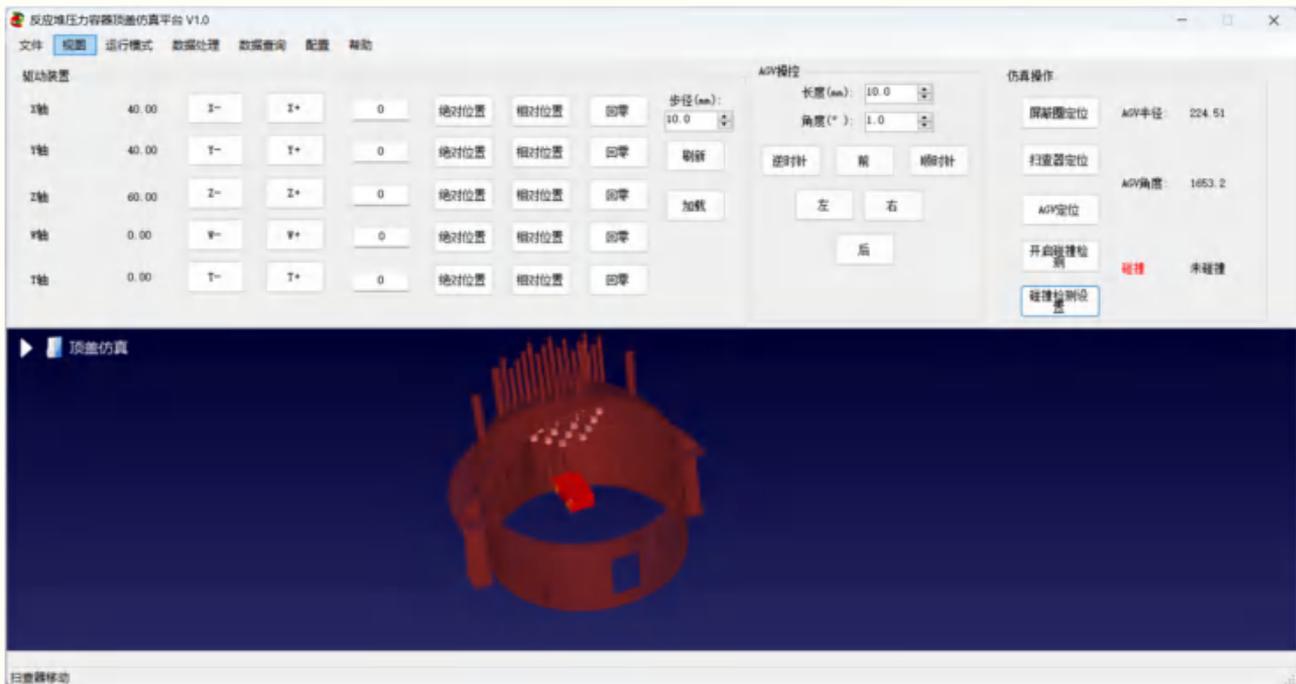


图 3 碰撞时状态

测，直到每一个待检测部件的扫描方式都能通过仿真碰撞检测。

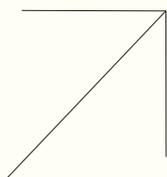
### 结语

本研究开发了一套基于 RoboDK 仿真软件的核电站反应堆压力容器顶盖检测机器人仿真平台。通过仿真验证和优化，仿真平台能够提前发现潜在问题并解决，从而确保检测机器人在实际操作中的高效性和稳定性。不

仅显著提高核电站反应堆压力容器检测工作的安全性和可靠性，还利用平台内置的路径规划算法和误差分析功能，有效优化了检测机器人的操作路径，避免了与顶盖发生干涉，提升了检测效率和安全性。此外，该平台能够模拟顶盖检测工作中的实际作业环境，提供了一个高度逼真的仿真环境，使检测工作更加精确和可靠。通过该仿真平台，为数字孪生技术创新和实际应用提供了重要支持，为进一步提升核电站反应堆压力容器顶盖检测技术打下了坚实的基础。[8]

### 引用

- [1] 刘文艺.六自由度工业机器人的动态特性仿真与实验研究[D].沈阳:东北大学, 2016.
- [2] 柴婷婷,丁言露.机器人仿真及其自动化研究进展[J].制造业自动化,2011,33(12):87-89.
- [3] 陶飞,刘蔚然,刘检华,等.数字孪生及其应用探索[J].计算机集成制造系统,2018,24(1):1-18.
- [4] 陶飞,刘蔚然,张萌,等.数字孪生五维模型及十大领域应用[J].计算机集成制造系统,2019,25(1):1-18.
- [5] 郑明辉,吕俊燕.基于RoboDK的工业机器人焊接工作站仿真设计[J].装备制造技术,2021(5):45-48.
- [6] 李慧.基于RoboDK的工业机器人搬运工作站仿真设计[J].自动化应用,2020(6):76-79.
- [7] 张国栋,洪荣晶,方成刚.智能机器人工作站仿真实时系统构建方法[J].计算机应用与软件,2020,37(12):1-5+12.



# 大学数学与信息技术的融合发展探讨

文◆苏州大学数学科学学院 周芷颖

## 引言

在信息技术飞速发展的背景下，大学数学教学正经历深刻变革。传统的教学模式逐渐无法满足学生对灵活、高效学习的需求，数学与信息技术的融合成为提升教育质量的重要途径。通过有效整合信息技术，不仅能提升教学效果，还能增强学生的实践能力和创新思维。基于此，本文重点探索了大学数学与信息技术的融合发展趋势，并提出了融合教学建议，以供有关人员参考。

## 1 大学数学与信息技术融合的优势

大学数学与信息技术的融合为教育领域带来了显著变化，特别是在增强学习效果、提高实践能力和促进创新思维方面，不仅提升了教学质量，还为大学生的未来发展奠定了坚实基础，推动了大学数学教育的现代化进程。

第一，增强学习效果。大学数学学习涉及复杂的理论和抽象的概念，使学生在理解和掌握知识时面临一定的困难。信息技术的引入极大地改善了这一状况。例如，借助多媒体教学工具，数学知识可以通过图形、动画和视频等多种形式展现，帮助学生更直观地理解抽象概念；动态几何软件允许学生实时观察几何图形的变化，从而加深对几何性质和定理的理解；在线学习平台提供了丰富的资源，包括视频讲座、互动练习和实时反馈，使学生能够在课外自主学习，并根据自己的节奏掌握知识点，弥补传统教学的不足，提高学生的学习效果和学习积极性。

第二，提高实践能力。数学不仅是一门理论学科，还需要实践操作来检验和应用理论。信息技术提供了丰富的数学软件和工具，包括数学建模软件、统计分析软件以及编程环境，使学生能够在模拟环境中进行实际操作，将数学理论应用到实际问题中，进行数据分析、模型建立和结果验证。例如，学生利用数学建模软件进行复杂的矩阵运算，运用编程工具进行数据挖掘，不仅能够帮助学生掌握数学技能，还能够培养学生在实际应用中解决问题的能力。信息技术的应用使学生在解决实际问题时更加得心应手，从而显著提高了他们的实践能力<sup>[1]</sup>。

第三，促进创新思维。信息技术的迅猛发展为数学研究和教学提供了新的视角与方法。通过计算机模拟和数据可视化，学生可以探索数学

问题的新解法和新思路。例如，计算机代数系统可以帮助学生解决复杂的代数方程，绘制复杂的函数图形，探索数学对象的性质，这种对数学现象的深入探索和实验，可以激发学生的创新思维。信息技术还促进了跨学科合作，如数学与人工智能相结合，推动了新兴领域的研究，包括数据科学和机器学习，在这些领域，学生不仅需要扎实的数学基础，还需要掌握信息技术工具，促使学生在传统数学思维之外，进一步发展更具前瞻性的创新思维能力。

## 2 大学数学与信息技术的融合发展趋势

### 2.1 人工智能与数学教育的深度融合

当前，人工智能（AI）与数学教育的深度融合正在引领教育领域的改革。AI技术的快速发展为数学教育提供了前所未有的机会和工具，使教学方式和学习体验发生了深刻变化。第一，个性化学习和自适应教学系统的应用，极大地提高了数学教育的效率和效果。传统教学模式无法满足每个学生的个性化需求，而AI可以通过分析学生的学习数

【作者简介】周芷颖（2001—），女，江苏常州人，本科，研究方向：数学、信息与计算科学。

据，了解他们的学习习惯、优点和不足，从而制定出最适合每个学生的学习计划。同时，系统可以实时调整教学内容和难度，使学生在合适的挑战中不断进步<sup>[2]</sup>。例如，基于AI的数学学习平台，可以根据学生的答题情况，动态调整题目难度，确保学生既不会因过于简单而感到无聊，也不会因过于困难而丧失信心，这种个性化的学习体验不仅提高了学生的学习效果，还激发了学习兴趣和积极性。第二，智能辅导和评估工具的出现为数学教育提供了强有力的支持。传统的辅导和评估方式往往依赖教师的经验和主观判断，容易出现误差和偏差。AI技术则通过大数据和机器学习算法，更客观、准确地进行辅导和评估。智能辅导系统可以24h在线，随时解答学生的疑问，提供详细的解题步骤和思路，帮助学生更好地理解和掌握数学知识。智能评估工具通过分析学生的作业和考试数据，自动生成详细的评估报告，指出学生的知识盲点和薄弱环节，帮助教师和学生及时调整学习策略，提升教学质量<sup>[3]</sup>。

## 2.2 大数据和数学模型的结合

大数据与数学模型的结合正在为数学研究和教育带来深刻变革，不仅推动了数学研究的创新和进步，也在教育实践中展现了巨大潜力。第一，数据驱动的数学研究和应用。借助大数据技术，能够收集、存储和分析海量数据，从中提取有价值的信息和规律。利用数学模型，对复杂系统进行建模、模拟和预测，从而揭示其内在机制。数据驱动的数学研究，不仅提高了各领域的科学研究水平，还推动了新技术和

新产品的开发，为社会发展提供了强大动力。第二，大数据分析在数学教育中的应用正在逐步深入，为教育方式和效果带来了显著提升。通过对学生学习行为和学习数据的分析，教师可以更全面地了解学生的学习状态和需求，从而制定更加科学和高效的教学策略。例如，分析学生在数学学习平台上的数据，教师可以发现学生在哪些知识点上存在困难，及时进行针对性的辅导和练习。大数据分析还可以帮助教师评估教学效果，发现教学中的薄弱环节，从而优化教学方法，提高教学质量。

## 2.3 在线协作和开放教育资源的发展

在线协作和开放教育资源的发展正在为数学教育带来新的机遇，为教育公平和教学质量提升做出了重要贡献。第一，各地区的数学教育合作，借助在线协作平台变得更加紧密和高效。通过互联网和云技术，教师和学生可以跨越地域限制，共享教学资源和教学经验，不同地区的学校可以联合组织在线研讨会、教师培训和学生竞赛，促进教育资源的共享和互补。第二，开放课程和教材的普及，使优质教育资源更加可及和公平。随着开放教育资源的不断发展，越来越多的数学课程和教材，通过互联网免费向公众开放，学生可以随时随地访问这些资源，自主学习和复习，满足个性化的学习需求。教师也可以利用这些资源，丰富课堂教学内容，提高教学效果。例如，知名大学和教育机构纷纷推出在线数学课程，覆盖从基础数学到高级专题，学生可以根据自己的兴趣和需求选择学习，不仅拓宽了学习途径，还能激发学习兴趣和自主性。

## 3 大学数学与信息技术融合的教学建议

### 3.1 优化课程设置，增加实践教学环节

优化课程设置并增加实践教学环节是促进大学数学与信息技术融合的关键策略，不仅能提升学生的学习效果，还能增强实践能力和创新思维，具体策略如下。第一，课程内容整合。在课程设置中，数学理论与信息技术应用应紧密结合。例如，将数学建模、数据分析等实际应用内容，融入传统数学课程中。在课程设计阶段，教师应根据学生的学习进度和技术掌握情况，将相关的数学软件和工具引入课程内容中，使学生在理论学习的同时，能够进行实际操作，不仅有助于增强学生对数学知识的理解，还有助于提高对信息技术的应用能力。第二，引入实践项目。在课程中增加实际项目环节，有效地将理论与实践结合起来。例如，设置与行业相关的数学建模项目、数据分析任务或软件编程实践，让学生在实践项目中运用所学知识解决真实问题，这种实践项目不仅能够激发学生的学习兴趣，还有助于培养问题解决能力和团队合作精神。通过这些项目，学生可以更好地理解数学理论在实际中的应用，提高综合素质。第三，利用实验室和模拟环境。建立专门的数学实验室和模拟环境，为学生提供更多的实践机会。例如，利用数学软件进行仿真模拟实验，帮助学生探索数学模型的实际效果。实验室配备各种数学工具和技术资源，供学生自主学习和实验。通过这些实验和模拟，学生能够深入理解数学理论，并在实际操作中提高自己的技能。第四，持续评估与反馈。建立有效的评估机制，以便及时了解学生在实践环节中的表现。通过定期的评估和反馈，教师可以掌握学生的学习进度，发现问题并进

行调整，不仅有助于提高教学质量，还能帮助学生不断改进实践能力。

### 3.2 推动教学方法创新，采用线上线下混合教学模式

推动教学方法创新，采用线上线下混合教学模式，结合传统面授教学和现代信息技术的优势，更好地满足学生的学习需求，提升教学效果。第一，线上资源的有效利用。在线学习平台提供了丰富的资源和灵活的学习方式，教师可以通过在线课程、视频讲座、互动讨论区和电子教材等形式，将数学理论和实践内容提供给学生。学生可以根据自己的时间和地点访问这些资源，进行自学和复习。这种方式不仅打破了传统课堂的时间和空间限制，还允许学生根据自己的节奏进行学习，提高了学习的灵活性和自主性。第二，线下课堂的互动与指导。尽管在线学习提供了灵活的学习方式，但面对面的线下课堂仍然具有不可替代的优势。线下课堂提供了师生互动、即时反馈和课堂讨论的机会，教师可以在课堂上进行实时讲解、解答疑问和组织互动活动，帮助学生更好地理解复杂的数学知识。线下课堂还能够实现团队合作和实践操作，弥补了在线学习难以完全实现的方面。第三，混合教学的实施策略。在混合教学模式中，教师应精心设计课程结构，将线上和线下学习有效结合。例如，将理论讲解和基础知识的学习安排在线上进行，将问题讨论、案例分析和实践操作安排在线下课堂进行，这种安排可以使学生在课堂上更专注于应用和讨论，减少基础知识讲解的时间，提高课堂的互动性和效率。第四，学习管理与评估。建立有效的学习管理和评估系统，教师利用在线平台进行作业布置、进度跟踪和成绩评估，确保学生在线学习阶段的进展和表现。通过定期线上测试和线下考核，全面了解学生的学习情况和掌握水平，及时调整教学策略。

### 3.3 鼓励学生参与科研项目，培养创新能力

鼓励学生参与科研项目是培养创新能力的重要策略，尤其在大学数学教育中，这种做法可以极大地提升学生的综合素质和实际应用能力。第一，提供科研机会。教师应注重设计与课程内容相关的科研课题，鼓励学生在课外参与实际研究，课题涵盖数学建模、数据分析、算法设计等方面，让学生在实际操作中应用理论知识。高校与企业和研究机构合作，提供真实的项目和研究问题，让学生在解决实际问题的过程中提高创新能力。第二，指导和支持。学生在参与科研项目时，需要专业的指导和支持，教师应积极担任学生的科研导师，提供技术支持和方法指导。教师不仅要帮助学生制定研究计划，还需在研究过程中提供反馈和建议，这种指导可以帮助学生更好地了解科研流程、掌握研究技能，并且提高独立思考和解决问题的能力。第三，激励和展示。为了激励学生参与科研项目，高校可以设立科研奖学金、科研竞赛等激励措施。定期组织科研成果展示活动，如学术论坛、研究成果展览等，给予学生展示其研究成果的机会，这些活动不仅能够激发学生的研究热情，还能够增

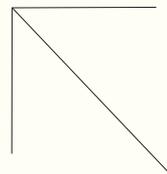
强他们的自信心和创新意识，通过与同学的交流和比较，进一步完善自己的研究，激发更多的创新灵感。

## 结语

大学数学与信息技术的融合发展是重要趋势，推动了教育事业变革，带来了新的机遇。通过优化课程设置、创新教学方法、鼓励科研参与、建立完善的评价体系、加强教师培训等措施，不仅有助于提升教学质量，还能全面提高学生的综合素质，为他们未来的学习和职业发展奠定坚实基础，推动数学教育的现代化进程。<sup>[5]</sup>

## 引用

- [1] 冯歆然. 信息化技术与高校教学融合的应用模式探究——评《高校信息技术与课程教学融合研究》[J]. 中国高校科技, 2022(10):102.
- [2] 张平奎. 信息技术在高校数学教育中的应用——评《现代信息技术与数学物理教育的整合探析》[J]. 中国科技论文, 2020, 15(5):622.
- [3] 张聪华. 信息技术与数学教学的融合应用[J]. 小学教学研究, 2022(36): 43-44.



# 改进的 K-means 聚类算法及在图像分割中的应用

文 ◆ 山东商业职业技术学院 王立英 李嘉颖 亓 越

## 引言

图像分割 (Image Segmentation) [1] 是将图像划分成多个具有相似特征的区域或对象的过程, 是计算机视觉领域一种广泛应用的技术, 图像分割技术能够自动将图像分成若干具有相似性质的区域, 从而提高图像的可分析性。图像分割的方法日新月异, 当前有多种图像分割技术, 如基于图论的分割、基于语义的分割、基于聚类的分割方法。基于聚类的分割方法有着良好的扩展性和较快的计算速度, K-means 聚类算法在这一方面效果尤为显著。K-means 聚类算法的主要思想秉持“物以类聚”的概念, 具体体现在将相似的像素聚类成有相似特征的群组以实现图像的自动分割。K-means 通过将数据点聚类成不同的簇来发现数据的内在结构, 在图像分割中, K-means 聚类算法可以根据像素的颜色或灰度值将图像分割成多个区域, 每个区域代表一个类别或对象。此外, K-means 算法具有很多优点, 算法简单且原理通俗易懂、适合处理大数据集等。但也存在缺点, 如人为干预

$k$  值、对初始聚类中心和噪声数据敏感。在实际应用中, K-means 算法广泛应用于客户分类、犯罪地点识别、球队状态分析、保险欺诈检测、图像分割、社交网络分析等领域。基于此, 本文主要对 K-means 聚类算法进行研究, 并在图像分割领域进行应用, 从而进一步优化图像分割技术。本文首先完成改进的 K-means 聚类算法的介绍, 通过动态调整  $k$  值的方式, 进行轮廓系数计算。其次通过轮廓系数的改变, 再次动态调整  $k$  值完成迭代, 并将其应用于图像分割。实验结果表明, 动态调整  $k$  值可以使分割结果更加精确和符合图像特征, 从而提高图像分割的质量。

## 1 相关工作

### 1.1 K-means

K-means 聚类算法 [2] 是一种常用的无监督学习算法, 用于将数据集中的样本点分为预先定义的若干个簇 (Cluster)。K-means 的基本思想是通过迭代的方式将数据点分配到最近的簇中, 并更新簇的中心, 直到达到停止条件为止。

K-means 算法原理 [3], 给定一个包含  $n$  个样本点的数据集  $X=(x_1, x_2, x_3, x_4 \dots x_n)$  以及预先定义的簇数目  $k$ , 首先随机选择  $k$  个点作为初始聚类中心  $C=(C_1, C_2, C_3 \dots C_k)$ , 然后针对每个点, 计算该点到聚类中心的距离, 如式 (1) 所示。

$$\bar{y}_i = \operatorname{argmin}_j \operatorname{dist}(x_i, C_j) \quad (1)$$

完成计算后, 判断该点与聚类中心的距离, 并将其划分到距离最近的中心点。最后对于每一个类, 计算样本均值, 并将该值作为重新选定的聚类中心, 如式 (2) 所示。

$$\bar{y}_j = \frac{\sum_i I(\bar{y}_i = j) x_j}{\sum_i I(\bar{y}_i = j)} \quad (2)$$

循环以上步骤, 循环终止于聚类中心不再变化或达到迭代次数。

在计算过程中, 通常使用欧氏距离作为衡量距离的方式, 而欧氏距离表示两个样本点之间的几何距离计算公式如式 (3) 所示。

【作者简介】王立英 (1994—), 女, 山东济南人, 硕士研究生, 助教, 研究方向: 数据挖掘。

$$D(x,y)=\sqrt{\sum_{i=1}^n(x_i-y_i)^2} \quad (3)$$

$x(x_1,x_2,\dots,x_n)$  和  $y(y_1,y_2,\dots,y_n)$  分别表示两个点, 这两个点可以表示  $n$  维空间中的任意点。

K-means 应用于图像分割<sup>[4]</sup>的伪代码如下。

(1) 随机初始化  $k$  个聚类中心。

(2) 迭代直到收敛。

(3) 计算每个像素到每个聚类中心的距离。

(4) 针对样本中的每一个像素, 都将其分配至与聚类中心最近的类所属的类别。

(5) 更新聚类中心。

K-means 的本质是最小化目标函数, 即每个点到类中心的距离平方和, 如式 (4) 所示。

$$\text{Cost}=\sum_{i=1}^n\left(\operatorname{argmin}_j\|x_j-c_j\|_2^2\right) \quad (4)$$

式 (4) 中,  $n$  为元素的个数,  $x$  为每个元素,  $c_j$  为类的中心。

## 1.2 K-means 聚类与图像分割原理

K-means 对于图像分割的原理与以上所阐述的基本类似。对于图像分割, 首先将图像转换为可处理的数据表示形式。其次, 选择  $k$  个像素的颜色作为初始的聚类中心, 对于每个像素, 计算其与每个聚类中心的距离并对其进行分配。重新分配后, 计算所有像素颜色的均值, 再分配给距离最近的聚类中心, 再重复以上两步, 直到聚类中心不再发生变化或其已达到预定的迭代次数。最后, 对分割后的结果进行部分后续处理, 如去噪等操作。

K-means 聚类算法将图像像素视为特征空间中的数据点, 通过将像素分为  $k$  个簇, 其中每个簇代表一个颜色或灰度值。该算法通过最小化簇内的方差来确定最佳簇的位置, 从而将像素分组成具有相似颜色或灰度值的区域。

K-means 聚类算法在图像分割中的优点。(1) K-means 算法较为简单也非常方便使用。(2) K-means 算法在处理大规模数据时具有较高的计算效率, 而且计算速度较快, 适用于高要求的场景。(3) K-means 是基于无监督的学习, 即事先不需要进行训练数据的标记, 只需根据图像特征进行分割即可。(4) 对待分割的图像内容或图像领域, K-means 算法不进行过分的要求, 可以分割多类型图像。(5) K-means 算法的分割结果相对直观, 每个簇都对应着一种特定的组织结构或特征区域。结合以上来看, K-means 算法在图像分割中具有简单、快速、无监督、适用性广泛以及可解释性强等优点, 因此在许多领域都占据重要地位。

针对 K-means 算法本身的局限性也要考虑一些问题。例如, 聚类簇内无点, 则可考虑重新随机选择聚类中心。若维度过高计算量太大, 则可以通过 PCA 降维或  $t$ -分布邻域嵌入减少计算量。如果聚类数量  $k$  不作为先知或者无监督的聚类方法, 则可以强化学习应用于确定聚类数量。此外, 轮廓系数 (Silhouette Coefficient)、Calinski-Harabasz 指数、Davies-Bouldin 指数、簇内平方和、簇间平方和等方法进行聚类效果评价, 因

此衍生出了一些改进的 K-means 算法, 如 rough K-means、带权 K-means 与蚁群算法结合等<sup>[5]</sup>。

## 2 改进的 K-means 聚类算法及在图像分割中的应用

K-means 算法在图像分割中具有简单、快速、无监督、适用性广泛以及可解释性强等优点, 但在实际应用中也存在诸多问题, 如  $k$  值的选择问题、初始化聚类中心问题, 简单的随机选择会导致结果出现偏差。针对以上问题, 提出了本文算法。

为了提高 K-means 聚类算法在图像分割中的效果<sup>[6]</sup>, 可以考虑以下优化方法。

(1)  $k$  值选择对于图像分割效果至关重要, 通过动态调整  $k$  值以应对不同数据的变化。

(2) 简单的随机选择初始化聚类中心存在不稳定性, 会导致结果出现偏差, 因此可以使用 K-means++ 算法来改善初始化过程。

### 2.1 K-means++

K-means++<sup>[7]</sup>是在 K-means 算法基础上的一种改进, 主要改进了初始聚类中心的选择方法, 提高了算法的性能和聚类质量。在 K-means++ 的过程中, 初始化聚类中心不再是简单选择而是通过迭代选择每个聚类中心, 使初始聚类中心更加分散, 得到更好的聚类结果, K-means++ 流程图 RU 图 1 所示。

K-means++ 的概率公式如式 (5) 所示。

$$\frac{D(x)^2}{\sum_{x \in X} D(x)^2} \quad (5)$$

假设随机生成 1 个样本数为 300、聚类中心为 4 个、标准差为 0.60 的数据集, 使用 K-means++ 算法来初始化聚类中心, 绘制了

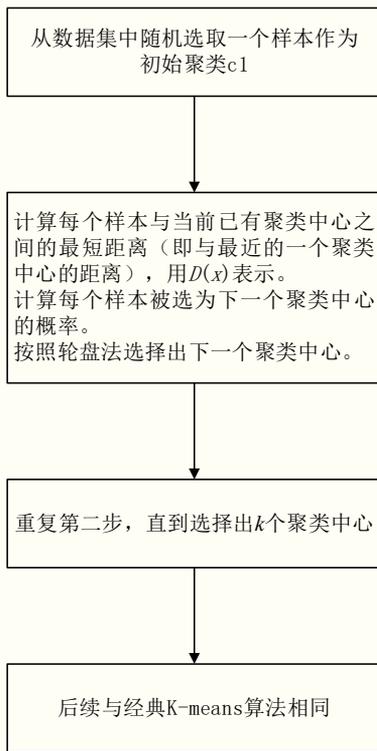


图1 K-means++ 流程图

数据点的散点图，并标记了聚类中心。K-means++ 聚类效果图如图2所示。

本文对比了K-means聚类算法与K-means++聚类算法，K-means与K-means++对比如图3所示。图3中，可以看到K-means++充分考虑了数据的分布性，具有更好的聚类效果。

### 2.2 动态调整k值

动态调整k值<sup>[8]</sup>旨在根据数据的特征和结构，在不同数据集上动态地确定k值，从而提高算法的适应性和聚类效果。

常见的动态调整k值的方法

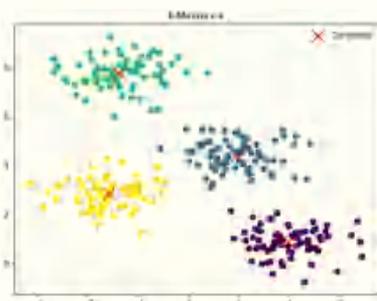


图2 K-means++ 聚类效果图

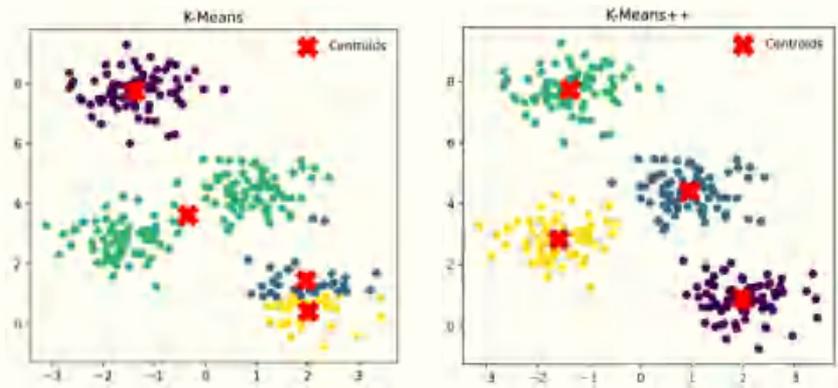


图3 K-means与K-means++对比

包括肘部法则 (Elbow Method)、Gap 统计量法 (Gap Statistic Method) 以及本文所应用的轮廓系数法 (Silhouette Method)。轮廓系数法算法原理为计算每个数据点的轮廓系数，综合考虑簇内距离和簇间距离，最终选择使整体轮廓系数最大的k值。

在动态k值选择中，通常通过聚类有效性度量或者数据分布的特征来确定最佳的k值。就目前研究来看，常用的聚类有效性度量是轮廓系数，它可以衡量数据点与其所属簇内数据点的相似程度以及其他簇中数据点的差异程度。对于每个数据点，轮廓系数的定义如式(6)所示。

$$S = \frac{b - a}{\max(a, b)} \quad (6)$$

轮廓系数的计算公式如式(7)所示。

$$SC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(b_i - a_i)}{\max(b_i, a_i)} \quad (7)$$

式(7)中，a表示数据点与其所属类其他数据点的平均距离，b表示数据点与其他最近簇中的数据点的平均距离。轮廓系数的取值范围在[-1,1]，通过计算不同k值下的轮廓系数，选择使轮廓系数达到最大值的k值作为最佳的簇数量。轮廓系数法如图4所示，图4中是k值与轮廓系数的折线走势，通过观察峰值，可以选择适合的k值。

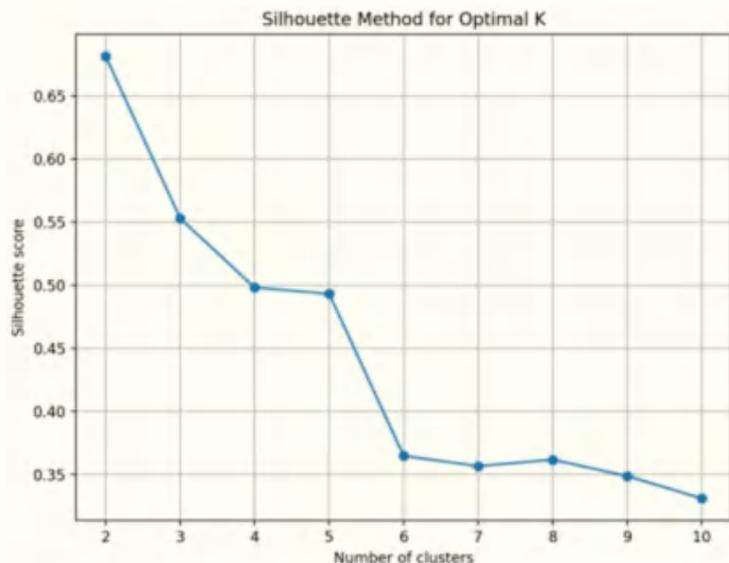


图4 轮廓系数法

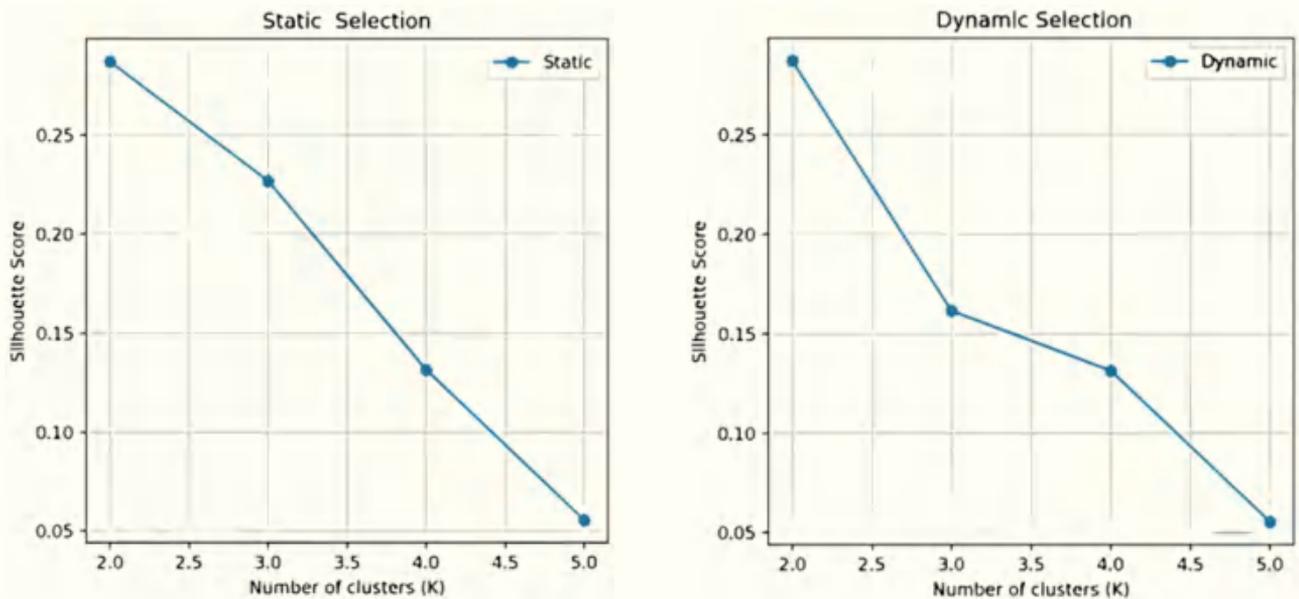


图5 静态选取  $k$  值与动态选择  $k$  值的轮廓系数对比

为了显示本文提出算法的优越性，本文进行了如下实验，该实验验证了动态选择  $k$  值的轮廓系数明显优于静态选择  $k$  值。

静态选取  $k$  值与动态选择  $k$  值的轮廓系数对比如图 5 所示，在这个简单的实验中，首先设置了固定的数据，其次静态选择  $k$  值范围，对每个  $k$  值进行聚类，并计算轮廓系数，随后动态选择  $k$  值范围，对每个  $k$  值聚类，计算轮廓系数，然后生成对比。通过简单的对比图，可以适当地比较静态选择  $k$  值和动态选择  $k$  值在聚类的效果。由图 5 可知，动态选择  $k$  值的轮廓系数明显优于静态选择  $k$  值，说明动态选择  $k$  值的方法在这个数据集上效果更好。

除此之外，本文还将动态调整  $k$  值与传统 K-means 实现进行了对比。动态调整  $k$  值方法与传统 K-means 实现对比如图 6 所示，首先生成随机数据集，然后再使用两种方法进行对比，右图中的轮廓系数更高，说明动态调整  $k$  值方法在这个数据集上优于传统 K-means 算法。

### 3 实验及结果分析

本文介绍并改进 K-means 聚类算法， $k$  值的选择对于图像分割效果至关重要，通过动态调整  $k$  值以应对不同数据的变化。随机选择初始聚类中心，一般会出现结果偏差。使用 K-means++ 算法来改善初始化过程，将该改进的算法应用于图像分割领域，完成图像分割技术的优化。该实验分为 3 种对比，即基于 K-means 完成图像分割、基于 K-means++ 完成图像分割和基于

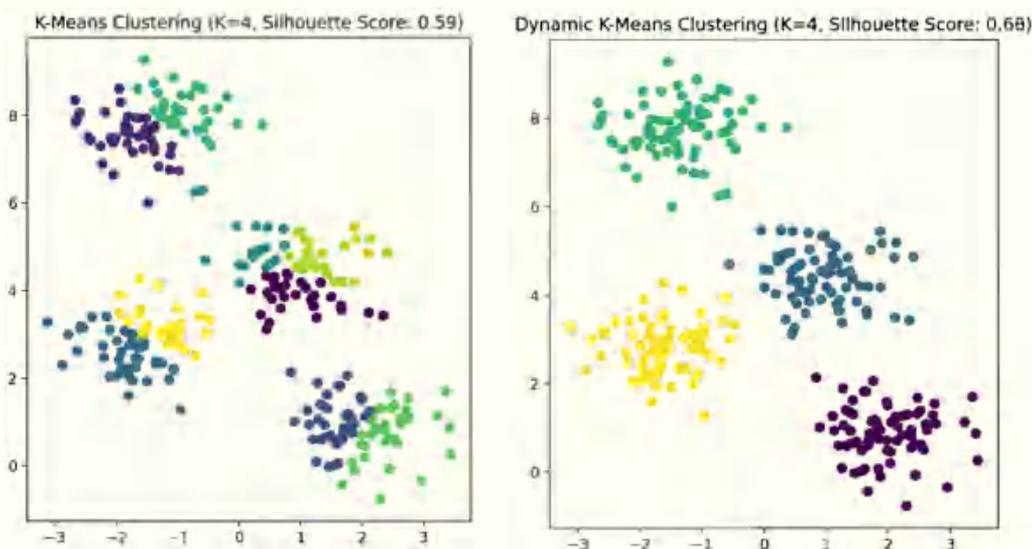


图6 动态调整  $k$  值方法与传统 K-means 实现对比



图 7 原始图像



图 8 K-means 图像分割



图 9 K-means++ 图像分割



图 10 动态调整  $k$  值图像分割

本文提出的动态调整  $k$  值技术完成图像分割，得到图（7 ~ 10）所示结果。

如图 7 所示为原始图像，图 8 为 K-means 图像分割，由图 8 可知图像分割效果较差。简单的随机选择存在不稳定性，会导致结果出

现偏差，因此使用 K-means++ 算法来改善初始化过程。在上述实验中，首先读取了图像，将图像转化为二维数组，再使用 K-means++ 初始化聚类中心，随后将每个像素点分配到最近的聚类中心所属的类别。再利用传统 K-means 方法与 K-means++ 方法进行图像分割，并生成效果图。K-means++ 能更好地选择初始聚类中心，提高 K-means 算法的效果。图 9 即为 K-means++ 图像分割。 $k$  值选择对于图像分割效果至关重要，图 10 为本文提出的动态调整  $k$  值图像分割，在上述实验中，先读取图像，将图像转换为二维数组，进行聚类，将每个像素点分配到最近的聚类中心所属的类别。随后是动态分割，在每次迭代中根据当前的  $k$  值计算轮廓系数，并根据轮廓系数的变化动态调整  $k$  值，在达到条件之后停止迭代，将每个像素点分配到最近的聚类中心所属的类别。随后利用算法完成图像切割，并将结果显示出来。

综上所述，针对以上的 3 个实验生成效果图进行对比，虽然 K-means++ 初始化聚类中心是改进 K-means 图像分割的不错方法，但对于以上生成的效果图来看，本文提出的算法在图像分割这一方面优于 K-means++。

## 结语

本文详细阐述了改进的 K-means 聚类算法并在图像分割领域完成了应用和优化，其中对 K-means++ 初始化聚类中心、动态调整  $k$  值两方面进行了实验验证。通过对比实验效果图，可以得到本文提出的动态调整  $k$  值这一优化方法在效果呈现上要明显优于传统 K-means 算法，在一定程度上优于 K-means++ 算法。■

## 引用

- [1] 黄鹏,郑淇,梁超.图像分割方法综述[J].武汉大学学报(理学版),2020,66(6): 519-531.
- [2] 杨俊闯,赵超.K-Means聚类算法研究综述[J].计算机工程与应用,2019,55 (23):7-14+63.
- [3] 李恒博,刘静超,吴珂彤.基于改进K-means算法的图像分割[J].现代计算机, 2024,30(2):49-51+91.
- [4] 任恒怡,贺松,陈文亮.一种改进的K-means聚类算法在图像分割中的应用[J]. 通信技术 2017,50(12):2704-2707.
- [5] 杨俊成,李淑霞.基于改进K-means算法的研究与分析[J].计算机与数字工程, 2023,51(7):1469-1473.
- [6] 李恒博,刘静超,吴珂彤.基于改进K-means算法的图像分割[J].现代计算机, 2024,30(2):49-51+91.
- [7] Arthur D,Vassilvitskii S.K-Means++:The Advantages of Careful Seeding[C]//Proceedings of the Eighteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms,SODA 2007,New Orleans,Louisiana, USA,January 7-9,2007.ACM,2007.
- [8] 王建仁,马鑫,段刚龙.改进的K-means聚类k值选择算法[J].计算机工程与应用.2019,55(8):27-33.