

面向软件系统资源的长期保存架构设计与实现^{*}

王 蕾 方 安 王 茜 杨晨柳 胡佳慧 陈凌云

(中国医学科学院/北京协和医学院医学信息研究所 北京 100020)

〔摘要〕 利用微服务和容器技术,设计面向长期保存系统建设的微服务应用架构,构建基于 Docker 容器的资源保存流程,实现对软件系统资源长期可靠保存。

〔关键词〕 长期保存;微服务;容器;软件系统;数字资源

〔中图分类号〕 R-058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2021.09.004

Design and Implementation of Long-term Preservation Architecture for Software System Resources WANG Lei, FANG An, WANG Qian, YANG Chenliu, HU Jiahui, CHEN Lingyun, Institute of Medical Information, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100020, China

〔Abstract〕 By using micro service and container technologies, a micro service application architecture for the construction of long-term preservation system is designed, and a resource preservation process based on Docker container is built to realize long-term and reliable preservation of software system resources.

〔Keywords〕 long-term preservation; micro service; container; software system; digital resources

1 引言

1.1 研究背景

确保对数字信息的永久性访问是数字保存面临的挑战之一。相较纸质资源,获取和保存数字资源

在人力、空间和材料等方面都更为复杂、困难和昂贵^[1]。美国国立医学图书馆(National Library of Medicine, NLM)于1999年发布的长期规划^[2]指出NLM将发挥其在医学电子出版物编目、长期保存需求和标准方面的作用,开展医学数字资源长期保存。面向大数据时代的医学领域资源建设和信息服务发展需求,中国医学科学院医学信息研究所建立医学大数据长期保存系统(Long-term PREServation System for Medical Big Data, MedPRES)^[3]。针对复杂多样的医学数字资源,MedPRES以健全医学信息资源保障及服务能力为宗旨,提供医学数据全生命周期保存服务,保障重要医学数据真实性、完整性、可靠性及长期可解释性。

〔收稿日期〕 2021-02-02

〔作者简介〕 王蕾,硕士,助理研究员,发表论文3篇;通讯作者:胡佳慧,博士,副研究员。

〔基金项目〕 国家人口与健康科学数据共享服务平台后补助项目“人口与健康科学数据长期保存”(项目编号:NCMI-KD07N-201905);中国医学科学院医学与健康科技创新工程服务“一带一路”战略先导科研专项“卫生信息服务研究”(项目编号:2017-I2M-B&R-10)。

1.2 研究意义

作为人类文化遗产的重要组成部分, 软件系统资源不仅凝聚研究和实践过程中的重要科学和技术知识, 具有内在研发价值, 而且还是拯救人类数字遗产的关键因素^[4], 对软件系统资源进行保存是支撑科学研究成果再利用以及向未来传递知识的重要条件^[5]。以往医学科研和实践活动中建设的各类信息系统和业务平台积累了大量宝贵数据, 但由于软件系统自身固有的复杂性和对操作环境的高度敏感性特点^[6], 相比数据和图像等数字对象, 保存用于创建、解释、呈现、处理和管理数据的软件系统更具挑战性, 完整地保存这些系统平台及其数据以供长期利用具有重要意义。基于此本文在 MedPRES 基础上, 针对软件系统资源保存需求开展基于微服务架构的长期保存系统构建研究, 以实现软件系统资源长期可靠保存。

2 相关研究

2.1 标准制度

随着数字资源长期保存实践的深入推进, 业界对于保存的关注点逐渐由文本文档、图像、科学数据等资源保存扩展到软件资源保存^[7]。联合国教科文组织 (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO) PERSIST 项目倡导信息社会主要利益相关方围绕维护数字文件可执行性有关活动展开对话和联合行动^[8]。鉴于软件系统与数据、数字对象的不可分开性, 软件可持续性研究所 (Software Sustainability Institute) 提出在数字资源长期保存过程中将软件和数据一起保存以支持数据的可访问性^[9]。牛津大学图书馆将牛津大学研究人员出版物、研究数据和软件等数字研究成果确定为长期保存范围之内^[10]。

2.2 保存实践

Inria 与 UNESCO 于 2016 年联合启动软件遗产项目, 目标是收集、保存和共享所有以源代码形式公开提供的软件资源, 实现从软件遗产到工业及研

究的大量应用, 已经保存来自大约 1.5 亿个项目的 96 亿源代码文件^[11]。美国国家科学基金会计算机与网络系统部通过 OCCAM 项目建立学术软件工具平台。美国国家软件参考图书馆 (National Software Reference Library, NSRL) 收集各种软件, 通过开发工具、方法和相关模型确保软件正常运行、识别软件缺陷, 帮助业界提高软件开发和维护质量^[12-13]。E-ARK 和 KEEP 项目则通过汇聚一定数量参与者以确保软件系统仿真器具有可移植性和长期可行性^[14-15]。瑞士联邦档案馆已开发针对关系数据库软件的独立存档系列工具 SIARD^[16]。目前我国国家数字科技文献长期保存体系已将软件与数据库保存纳入其中^[17]。

2.3 微服务

软件资源长期保存已受到业界高度重视并开展相关探索。相比一般的软件资源保存, 系统软件具有研发和持续更新价值, 系统级软件保存不仅需要长期可呈现, 还需要满足被解释、研究或修改的需求^[4]。软件系统在文件结构上不仅包括操作规范、源代码及二进制组件等多个具有依存关系的组件, 还对操作环境变化较为敏感。微服务的高解耦性架构为系统级软件保存提供良好的灵活可扩展性支持^[18-20]。有关项目的开展^[21-23]表明采用微服务有益于确保系统使用寿命。因此本文基于微服务架构开展针对系统级软件资源的长期保存研究。

3 微服务架构

3.1 概述

微服务具有服务组件化、技术多样性、存储独立性、部署自动化、开发敏捷性等特点^[24], 具备良好的灵活性和可替换性, 支持分布式和动态扩容组件模式部署, 基于微服务架构进行系统设计可不影响现有业务运行服务。系统整体利用 SpringCloud 和 Docker 容器技术^[25]实现应用微服务和功能插件化, 重点实现资源和应用的快速灵活组配模式。搜索引擎采用 Elasticsearch, 支持多语种和分布式部署, 支持海量数据毫秒级检索服务; 大数据仓储层支持对

关系数据库的分布式存储方案,采用 Fedora 技术实现资源长期利用与保存。微服务应用架构,见图 1。

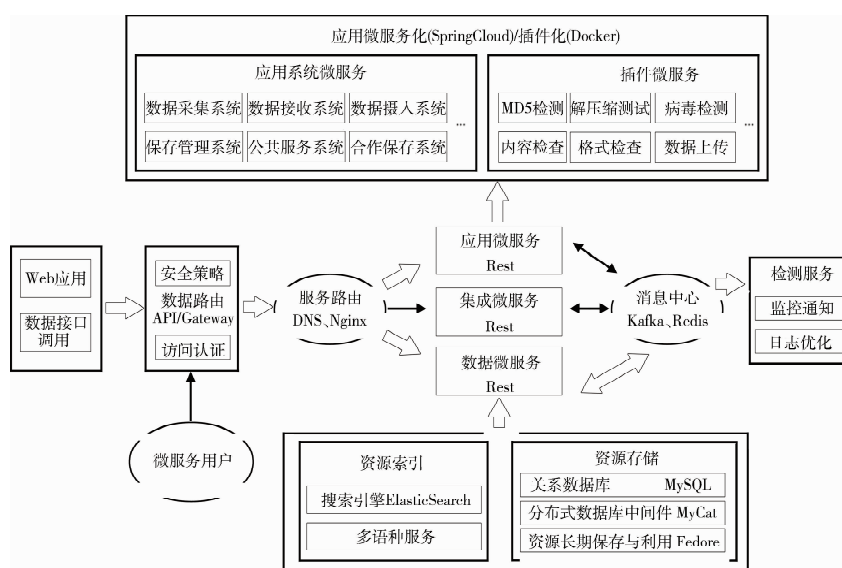


图 1 微服务应用架构

3.2 应用微服务

应用微服务以已建设的系统为基准,通过 SpringCloud 实现应用系统/模块微服务化。该方式既保证 MedPRES 单个系统或模块间的独立性,同时支持系统和模块间数据通信。例如采集系统对网络资源进行采集,采集的文件封装为数据包形式保存至本地磁盘,接收系统对规范数据包任务化和批次化接收数据,支持流程化校验数据包的过程中,采集系统和接收系统都可独立运行且接收系统支持对采集后的数据包进行接收。

3.3 集成微服务

目的是实现系统之间的集成(包括内部和外部系统)。集成微服务采用表现层状态转移(Representational State Transfer, REST)接口和消息定义。REST 接口的核心是统一资源定位器(Uniform Resource Locator, URL)定位资源并提供超文本传输协议(Hyper Text Transport Protocol, HTTP)操作(如 GET、POST、DELETE、DETC)。REST 接口支持多种编程语言,能够降低系统研发人员的编程语言学习成本。同时集成框架通过利用 REST 接口也能保障微服务系统内组件同步、异步通信。

3.4 数据微服务

实现对已建设系统提供数据访问服务,以及数据检索与浏览、分面汇总和统计分析汇总接口;数据访问支持权限控制,分配不同用户群体访问权限,同时支持传输加密,为安全性提供保障。

4 实践与应用

4.1 基于 Docker 容器的软件系统保存流程

4.1.1 概述 Docker 是开源应用容器引擎,能够实现打包应用及其依赖包到一个可移植的容器中,发布到任何流行的 Linux 系统上。Docker 容器不使用硬件虚拟化,而是直接运行在宿主机内核上,减少额外中间层,具有秒级快速启动、性能接近物理机、体积小、可跨平台、可复制的特点。因此 MedPRES 使用 Docker 技术实现软件系统长期保存,见图 2。

4.1.2 资源上载 资源上载核心是明确软件系统运行环境以及数据存储方式。运行环境指操作系统名称与版本、系统运行必备的软件环境(如 Tomcat、Ngnix 等)。数据存储方式包括热数据与冷数据两种模式。热模式数据存储需要上载数据库软件、Web 应用等软件应用资源;冷模式数据存储只需上

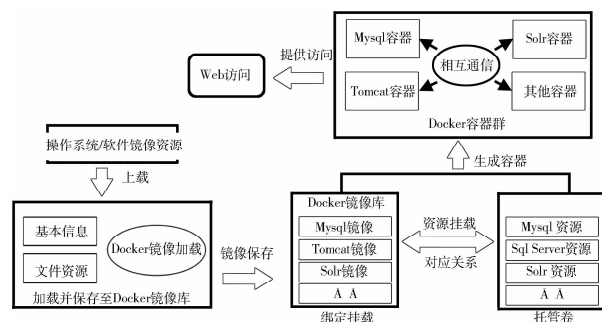


图2 基于 Docker 容器的资源保存流程

载数据库数据（如 Mysql 数据、索引、表定义文件）、Web 日志等信息。运行环境以及热模式数据通过资源上载模块上传至长期保存系统进行保存；基本信息存储于数据库；冷模式数据（资源文件）存储于服务器。

4.1.3 镜像保存 Docker 提供绑定挂载（Bind Mount）和托管卷（Managed Volume）两种存储模式。绑定挂载是将本地目录或文件映射到 Docker 容器内；托管卷不需要指定源而需要指定挂载源。为了软件系统长期保存的可靠性，MedPRES 采用绑定挂载和托管卷两种存储模式进行主备资源存储，实现软件系统可靠保存。软件系统运行环境上载后，在将软件保存至存储中的同时将软件系统形成镜像保存至 Docker 镜像库中。冷模式数据（资源文件）经过资源上载后，通过托管卷形式进行存储，利用长期保存系统进行周期性资源审计以保证数据长期可靠、可信。

4.1.4 对外服务与容器群通信机制 当接收到用户使用保存对象对外服务需求后，MedPRES 先获取保存对象配置信息，如操作系统、操作系统版本、必备软件名称、必备软件版本、数据资源情况等。MedPRES 根据配置信息，通过进程方式启动镜像库中的操作系统、必备软件、热数据文件等镜像资源。当保存对象存在匹配的冷数据资源时，MedPRES 再挂载保存对象的冷数据资源至容器群。为保证软件系统经过长期保存后能够进行对外服务并且数据与功能运转正常，MedPRES 容器群采用内部以及对外双向通信服务机制。Docker 容器提供 3 种网络模式，即主机（host）、无网络（none）和桥接（bridge）模式。主机模式下每个容器没有独立 IP 地址，而是使用宿主机 IP 地址和端口；无网络模式

下容器不具有 IP 地址，无法连接外网；桥接模式下容器通过创建虚拟 IP 地址和端口号进行连接。容器间的内部通信还可细分为基于链接实现的单向通信和基于桥接实现的双向通信。MedPRES 容器群中各模块采用桥接网络模式，通过桥接方式实现容器间的双向通信。容器群正常运转后，如保存对象需要进行对外服务则 MedPRES 利用 HTTP 协议、IP 地址等提供对外服务。软件系统各方可以通过域名与 MedPRES 提供的 IP 地址进行映射，快速、稳定地提供对外服务，保障特殊情况下系统准确、稳定运行。

4.1.5 镜像管理 MedPRES 支持对操作系统（如 Centos、Windows 等）和系统运行所需软件（如 MySQL、Tomcat、Solr、Zookeeper 等）多版本镜像的增删改以及查询功能，实现对绑定挂载模式中镜像内容的管理与查询。在管理界面设置修正的系统信息并上传系统镜像文件后，后台对数据库中的描述信息进行修正，同时生成新的镜像信息，构建新版本系统信息（操作系统、描述信息）与保存对象的对应关系。对于冷模式数据文件，MedPRES 支持数据上传功能并修改原有数据文件与保存对象的挂接关系，构建新版本数据与保存对象的关系。在获得保存允许的前提下 MedPRES 支持物理删除旧版本镜像资源，直接保存最新版本操作系统或数据资源。

4.2 应用效果

中国医学科学院医学信息研究所作为世界卫生组织卫生与生物医学信息合作中心，承担世界卫生组织西太平洋地区医学索引（Western Pacific Region Index Medicus, WPRIM）系统^[26]的期刊数据管理工作，需要保障文献检索系统全天候不间断稳定运营，面向全球用户提供生物医学领域文献检索服务。WPRIM 作为全球卫生图书馆（Global Health Library, GHL）的重要组成部分，收录西太平洋区域成员国出版的生物医学领域文献资源（含灰色文献资源）。截至 2021 年 1 月 WPRIM 文献总量超过 85 万篇，年文献访问量超过 2 386 948 次。为保障系统长期稳定运行，MedPRES 对 WPRIM 系统开展软件系统级长期保存，以确保在 WPRIM 服务出现宕机等意外情况时，WPRIM 系统仍能快速稳定启动

并对外提供服务。通过在 MedPRES 系统保存模块提交待保存对象描述信息、上载软件版本管理以及保存对象, MedPRES 对 WPRIM 提供的操作系统、软件工具、数据文件、Web 日志等的镜像或数据资源进行长期保存。WPRIM 定期提交软件工具、系统代码、数据文件、Web 日志最新版本信息。当接收到 WPRIM 对外服务请求后, MedPRES 构建 WPRIM 所需软件容器群并挂载相应题录数据、Web 日志资源, 快速通过预先配置的 HTTP 地址提供对外服务。WPRIM 通过配置 HTTP 地址与对外服务域名的映射关系可快速、稳定、准确地进行对外服务。

5 结语

软件系统是重要数字资源, 其对环境变化较为敏感, 一旦对计算机或操作系统进行软件更改通常将停止正常工作。本文针对软件系统类数字资源, 开展基于微服务架构的长期保存系统构建研究, 通过综合利用微服务和容器技术, 设计面向长期保存系统的微服务应用架构, 构建基于 Docker 容器的资源保存流程, 实现对资源的保存、访问与利用。

参考文献

- 1 National Library of Medicine. Charting a Course for the 21st Century – NLM’s Long Range Plan 2006 – 2016 [EB/OL]. [2021 – 01 – 16]. <https://www.nlm.nih.gov/pubs/plan/lrp06/report/planfor20062016.html>.
- 2 National Library of Medicine. National Library of Medicine Long Range Plan [EB/OL]. [2021 – 01 – 16]. <https://www.nlm.nih.gov/od/trackrecord.pdf>.
- 3 胡佳慧, 钱庆, 方安, 等. 医学大数据长期保存系统的设计与实现 [J]. 中华医学图书情报杂志, 2019, 28 (9): 18 – 25.
- 4 Software Heritage. We Are Building the Universal Software Archive [EB/OL]. [2021 – 01 – 16]. <https://www.softwareheritage.org/>.
- 5 Roberto Di Cosmo, Stefano Zacchiroli. Software Heritage: why and how to preserve software source code [C]. Kyoto: Proceedings of the 14th International Conference on Digital Preservation, iPRES, 2017: 1 – 10.
- 6 Matthews B, Shaon A, Bicarregui J, et al. A Framework for

- Software Preservation [J]. International Journal of Digital Curation, 2010, 5 (1): 91 – 105.
- 7 Edward M C. Software Preservation: an introduction to issues and challenges [EB/OL]. [2021 – 01 – 16]. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07317131.2019.1584983>.
- 8 UNESCO. About PERSIST [EB/OL]. [2021 – 01 – 16]. <https://unescopersist.org/about/>.
- 9 Software Sustainability Institute. Digital Preservation and Curation – the danger of overlooking software [EB/OL]. [2021 – 01 – 16]. <https://www.software.ac.uk/attach/DigitalPreservationAndCuration.pdf>.
- 10 Bodleian Libraries. Digital Preservation Policy [EB/OL]. [2021 – 01 – 16]. https://www.bodleian.ox.ac.uk/_data/assets/pdf_file/0003/249627/policy-digital-preservation.pdf.
- 11 Soft Heritage. Mission [EB/OL]. [2021 – 01 – 16]. <https://www.softwareheritage.org/mission/>.
- 12 NSRL. National Software Reference Library (NSRL) [EB/OL]. [2021 – 01 – 16]. <https://www.nist.gov/itl/ssd/software-quality-group/national-software-reference-library-nsrl>.
- 13 NSRL. Software Quality Group [EB/OL]. [2021 – 01 – 16]. <https://www.nist.gov/itl/ssd/software-quality-group>.
- 14 E – ARK. A European “Showcase” Project [EB/OL]. [2021 – 01 – 16]. <http://www.eark-project.com/>.
- 15 KEEP. keep.eu [EB/OL]. [2021 – 01 – 16]. <https://keep.eu/>.
- 16 Public Record Office Victoria. Software Independent Archiving of Relational Databases (SIARD) [EB/OL]. [2021 – 01 – 16]. <https://prov.vic.gov.au/recordkeeping-government/a-z-topics/software-independent-archiving-relational-databases-siard>.
- 17 陈新兰, 顾立平. 学术软件的长期保存与合理使用的探索性研究 [J]. 情报理论与实践, 2021, 44 (4): 113 – 118.
- 18 Newman S. Building Microservices: designing fine-grained systems [M]. Boston: O’Reilly Media Inc., 2015.
- 19 马海收, 吴振新. 微服务在数字资源长期保存系统中的应用研究 [J]. 图书馆学研究, 2011 (18): 45 – 51.
- 20 董晓莉. 数字资源长期保存可信性研究 [J]. 现代情报, 2012, 32 (3): 62 – 67.

(下转第 73 页)

5.2 仪器 1 次传输 1 个完整结果数据的情况

此场景为理想传输和解析情况,由解析程序日志可以得出解析程序接收到数据并存入数据缓存区后立即激活取线程,由于传输的是 1 个完整数据,取线程获取到完整数据结果交给解析线程,解析成功。

5.3 仪器多次才传输完 1 个完整结果数据的情况

由解析程序日志可以看出,解析程序接收到数据并存入数据缓存区后立即激活取线程,由于取线程在数据缓存区中未找到完整结果数据,所以继续等待,接收到新数据后再查找完整数据。当数据缓存区内有完整数据后,取线程即时取到完整数据结果交给解析线程,解析成功。

5.4 仪器 1 次传输多于 1 个结果数据的情况

由解析程序日志可以得出,解析程序接收到数据并存入数据缓存区后立即激活取线程,由于取线程在数据缓存区中只找到 1 号标本完整结果数据,找到后立即交给解析线程并异步解析成功。等待接收到新数据后继续查找完整数据,当数据缓存区内有 2 号标本完整数据后,取线程即时取到其结果交给解析线程,解析成功。

6 结语

本文从提高检验数据解析效率出发,提出一种基于事件驱动的实验室管理系统数据处理方法,通过构建接收线程、取线程和解析线程 3 个线程,以关键节点事件驱动激活各线程工作,3 个线程通过相互关联又彼此独立的工作模式将不同标准实验室仪器数据以高效、可靠的方式进行处理并提供到 LIMS。在节约操作系统计算资源的同时,可减少数据解析处理时延,为 LIMS 提供准确、完整结果数据,提高医疗机构检验技师工作效率。

参考文献

- 1 陈莉月,杨安兴,潘文晖.实验室信息管理系统发展与国内应用概述[J].中国管理信息化,2020,23(23):194-196.
- 2 张晓,龙伟,卢斌.基于 HL7 的移动式微型临床实验室 Mini Lis 接口设计[J].计算机测量与控制,2015,23(4):1367-1370.
- 3 陈铁英,贺嘉嘉,高育林.基于 ASTM 的检验仪器双向通信控制的研究与实现[J].医学信息,2008(5):577-580.
- 4 郝文化,文自勇,王浩强,等.Windows 多线程编程技术与实例[M].北京:中国水利水电出版社,2005:124-127.
- 5 贾广雷,刘培玉,耿长欣.多线程技术及其在串口通信中的应用[J].计算机工程,2003(1):247-249.

(上接第 21 页)

- 21 Krabbenhoef N, Skinner K, Schultz M, et al. Chronicles in Preservation: preserving digital news and newspapers [J]. Preservation, Digital Technology&Culture, 2013, 42(4): 199-203.
- 22 Van Garderen P, Mumma C C. Realizing the Archivematica Vision: delivering a comprehensive and free OAIS implementation [C]. Lisbon: 10th International Conference on Preservation of Digital Objects, 2013.
- 23 Abrams S, Kunze J, Loy D. An Emergent Micro-services

- Approach to Digital Curation Infrastructure [J]. International Journal of Digital Curation, 2010, 5(1): 172-186.
- 24 肖铮,林俊伟.用微服务架构下一代图书馆服务平台——以 FOLIO 为例[J].图书馆杂志,2018(11): 63-69.
- 25 Jaramillo D, Nguyen D V, Smart R. Leveraging Microservices Architecture by Using Docker Technology [C]. Norfolk: IEEE SoutheastCon 2016, 2016: 1-5.
- 26 方安,杨晨柳,王军辉.WHO 西太平洋地区医学索引收录期刊的数据提交能力分析[J].医学信息学杂志,2016,37(8): 79-83.