

微服务架构在国家级免疫规划信息系统中的应用^{*}

葛 辉 金丽珠 李少琼 杜雪杰 杨 洋 马 睿 苏雪梅

(中国疾病预防控制中心 北京 102206)

〔摘要〕 目的/意义 全民接种疫苗背景下,通过微服务架构技术路线,重构国家级免疫规划信息系统。方法/过程 采用领域驱动方法设计业务模型,基于微服务重构信息系统,详细阐述系统构建过程,包括对象识别与定义、领域重组与聚合、服务拆分、系统部署应用及效果对比。结果/结论 从功能性和非功能性两方面,对系统数据采集、数据解析处理、数据校验、数据消费与存储等多个方面进行总体评价,评价结果显示通过微服务架构的改造,系统功能完善与性能提升效果显著。

〔关键词〕 微服务架构;免疫规划;信息系统

〔中图分类号〕 R-058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2024.03.014

Application of the Microservice Architecture in National Immunization Program Information System

GE Hui, JIN Lizhu, LI Shaoqiong, DU Xuejie, YANG Yang, MA Rui, SU Xuemei

Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China

〔Abstract〕 **Purpose/Significance** Under the background of universal vaccination, the information system of national immunization program is reconstructed through the technical route of microservice architecture. **Method/Process** The domain-driven approach is adopted to design the business model and reconstruct the information system based on microservices. The process of system construction is expounded in detail, including object identification and definition, domain reorganization and aggregation, service splitting, system deployment application and effect comparison. **Result/Conclusion** From the functional and non-functional aspects, the overall evaluation of system data acquisition, data analysis and processing, data verification, data consumption and storage is carried out. The evaluation results show that the system function and performance are significantly improved through the transformation of microservice architecture.

〔Keywords〕 microservice architecture; immunization program; information system

〔修回日期〕 2023-08-01

〔作者简介〕 葛辉,副研究员,发表论文 10 余篇;通信作者:苏雪梅,研究馆员。

〔基金项目〕 国家科技基础条件平台国家人口与健康科学数据共享服务平台公共卫生科学数据中心(项目编号:NCMI-ZB01N-201905)。

1 引言

2020 年 12 月我国首款大规模成人接种病毒疫苗附条件上市,疫苗接种工作跨入全民接种时代,给信息系统建设及疫苗接种工作带来巨大考验。我国人口基数大,疫苗接种要求时效性高,信息系统的访问并发量与数据处理量呈几何式增长,数据校验、清洗、

处理能力要求呈指数提高,进一步重构优化信息系统才能满足数据一致性和及时性的要求。全民健康保障信息化工程(国家级)免疫规划信息系统(以下简称国家级免疫规划信息系统)自 2019 年由中国疾病预防控制中心主导建设,横向通过关联适龄儿童或家长基本信息,实现儿童预防接种档案的统一管理与共享应用;纵向与各省级健康信息平台对接,通过数据交换采集受种者接种档案,实现数据共享与分析利用。该系统虽已实现接种档案采集、交换、跨省(自治区、直辖市)调阅等功能,但主要用于适龄儿童免疫规划疫苗和必要的非免疫规划疫苗接种,并非全民接种。自全民接种工作开展以来,随着数据量激增和算力要求快速提升,业务数据处理流程中的部分集群服务遇到瓶颈。因此,全面重构系统,提升整体处理能力与运行性能迫在眉睫。

由业务部门、信息部门组建团队,在国家级免疫规划信息系统重构之初进行综合分析与微服务重构。重构后的架构支持高并发与弹性扩展,升级改造后的信息系统在功能性和非功能性方面深度契合微服务架构,在大规模接种和应急响应的要求下,具备快速响应变化、弹性部署及横向扩展的能力,完成了高并发数据采集、解析、反馈及分析等任务,取得了良好效果。

2 微服务及其应用现状

微服务概念于 2014 年被正式提出,提倡将应用程序划分为一组细粒度的服务,服务间采用轻量级通信机制进行交互,从而为用户提供最终价值^[1]。通常,这些细粒度的微服务是具有单一职责的小程序,能够被独立地部署、扩展和测试^[2-3]。微服务架构具有高维护性、高扩展性、高适应性、去中心化管理、容器化运行环境等特征,能满足大规模分布式应用对可扩展性、可演化性和可维护性的需求,近年来越来越多云应用向微服务架构迁移^[4]。

作为云原生应用的一种典型形态,微服务架构已在各企业应用系统中广泛使用^[5]。在医疗与公共卫生领域,郑涛等^[6]基于 Spring Cloud 构建医院统一服务平台;吴雨渲等^[7]基于 Spring Cloud 构建个

人健康管理系统。目前研究重点围绕微服务信息技术架构及应用软件生态,对信息系统进行设计建设并取得较好应用效果,但并未介绍微服务架构业务模型构建过程、业务应用流程与微服务的关系及应用前后效果比较等内容。截至 2021 年,全国所有省(自治区、直辖市)均建立了免疫规划信息系统^[8]。例如福建省通过业务模型设计与数据流向分析,采用 3 层架构模式构建了省级与部分地市免疫规划信息系统^[9]。随着云平台的广泛应用,多数省级免疫规划信息系统在升级改造时会涉及微服务架构。但通过沟通调研得知,目前微服务架构的应用主要是为了适应新的技术趋势、云生态部署或提升基础架构健壮性等,尚停留在技术基础服务层面,缺乏业务人员参与,未形成统一的自下而上或自上而下的整体设计,在信息系统中的作用受限,且无法有效评估其效果。

3 微服务架构重建

3.1 领域驱动设计

微服务对服务实例并没有大小方面的要求^[10]。领域模型是将业务逻辑组织为由具有状态和行为的类构成的对象模型。领域驱动设计^[11]通过对业务和问题域的分析,找出领域对象及其业务行为和依赖关系,从而建立领域模型,如今已经发展成为针对大型复杂系统的领域建模与分析方法。领域驱动设计是一个收敛的过程。一是从业务操作或行为中抽象并提取领域对象。二是从众多实体中找出聚合根以及其依赖的实体对象等领域对象,建立聚合模式。三是找出所有聚合后,根据业务职责、业务语义与内容,将聚合划分到不同的边界内,从而实现服务的拆分。

3.2 定义领域对象

使用事件风暴法可有效探索并理解复杂的业务领域。该过程借助可视化大屏使业务专家与技术人员在同一视角下建模,主要由 3 个步骤组成:一是与会者通过“头脑风暴”集体定义国家级免疫规划信息系统在大规模接种情况下的接种、打包、交

换、传输、接收、预处理、解析、校验、日志、反馈等事件，识别这些事件的触发条件，并采用事件的方式查找领域中所发生的关联事件；二是识别事件触发器，当找到事件时，尝试沿着一个时间线对其进行排序，随后添加触发每个事件的命令；三是识别，由领域专家结合相应事件识别使用命令的聚合，对整个系统进行场景、事件推演分析，找到更优设计，对事件模型进行重构，有的放矢，识别并定义对象。

3.3 建立聚合模式

服务聚合模式是最常用的服务组合模式，根据业务流程处理需要，以一定顺序调用依赖的多个微服务，对依赖的微服务返回数据进行组合、加工和转换，最后以一定形式返回给使用方。每个被依赖的微服务都有自己的缓存和数据库，聚合服务本身既可以有自己的数据存储，包括缓存

和数据库等，也可以是简单聚合，不需要持久化任何数据。在传统面向服务的设计中，领域模型由一组类及其之间的关系组成，通常会打成包，缺少每个业务对象的明确边界。例如预防接种是一个典型的业务领域，在传统的应用架构中偏向于将其设计为独立功能模块，满足自身数据采集监测业务需要，易于理解与实现，有独立的数据库与业务逻辑，可以对外提供服务。然而这种服务不能满足其他业务对其多样性的需求，如跨省接种服务、数据查询服务、疑似预防接种异常反应监测调用服务等。因此，要对其进行重新解构与聚合，定义出新的领域模型。

在项目建设的不同阶段，领域的划分原则、划分目标、划分结果也不太相同。通过多次迭代调整，根据预防接种、疑似预防接种异常反应监测、疫苗管理、冷链管理等基本业务“条线”划分子域，见图 1。

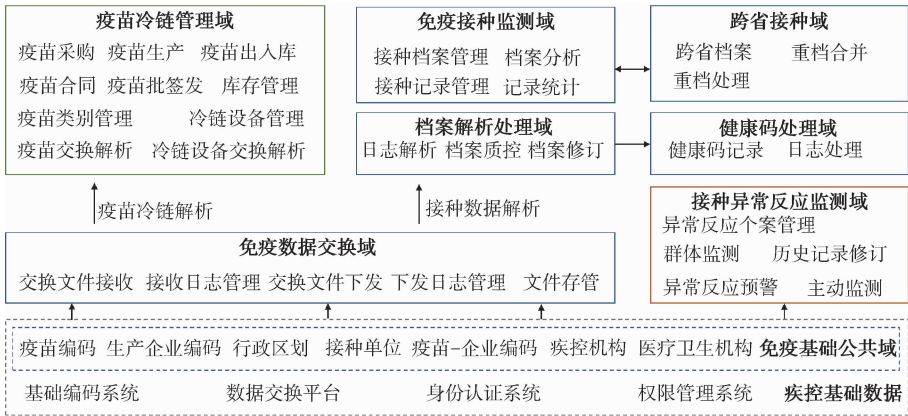


图 1 国家级免疫规划信息系统领域划分

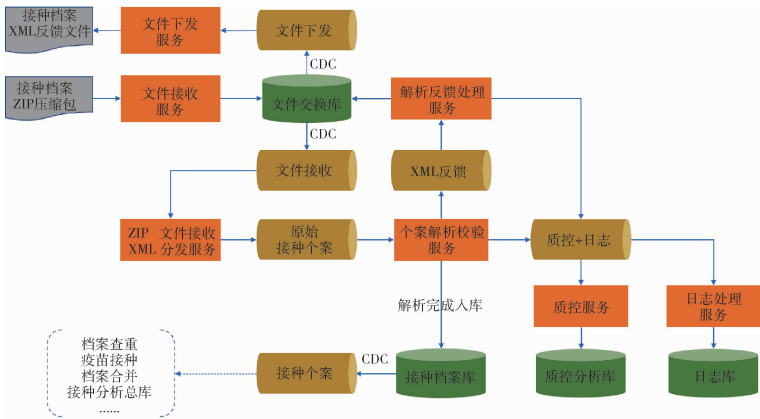
3.4 微服务拆分

服务拆分粒度、聚合设计模式应用是微服务架构设计的基础。面向服务的架构（service-oriented architecture, SOA）同样是组件化的，但是其服务粒度较粗，在一定程度上实现单独运行，具有自治、自描述、可重用和高度可移植等特征^[12]，通过企业总线实现集中管理。而微服务是从原有架构冗杂的子系统拆分出来的微型服务，更关注智能服务和简单路由机制及中心化，具有更好的扩展性、弹性、可维护性

及技术异构性，更适合基于分布式的部署与管理体系统^[13]。预防接种数据服务是国家级免疫规划信息系统核心功能之一，其面向全国的数据处理量大，面向接种业务的校验规则复杂，面向分析挖掘的数据质量和实时性要求高。微服务拆分之前的解析处理环节功能过于集中，资源利用率不高，扩充服务节点不便，整体解析处理存在性能风险。在快速响应采集需求的前提下，针对全民大规模接种数据，支持高并发与弹性扩展的数据采集、解析、反馈与入库流程是贯穿预防接种数据服务的首要任务，是需

求导向的核心要素，是后续跨省交换、数据挖掘等服务的

基础，也是系统微服务架构改造成功与否的关键。以免疫接种从数据采集到入库全流程服务拆分过程为例进行重点讨论，见图 2。



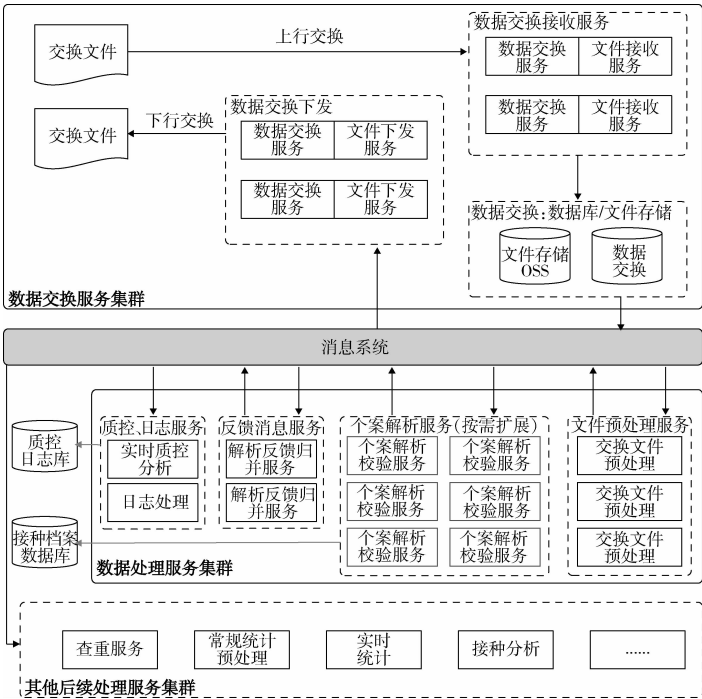
注：CDC 为变更数据获取（change data capture）。

为减轻重构工作对数据库结构的影响，尽量避免服务拆分对系统带来不确定性风险，经评估，现有数据结构与业务域基本架构吻合，因此确定围绕现有 4 个数据库及服务流程进行拆分。其中，4 个数据库分别为交换库、档案库、分析库及日志库，对应数据交换、解析处理和分析应用 3 个服务模块，包括文件接收、文件下发、任务调度（ZIP 文件接收，XML 分发服务）、个案解析校验、解析反

馈、质控及日志处理服务。

4 微服务部署与应用

根据重构后的微服务架构，结合微服务领域，评估算力负担与服务需承载的规模，解构现有基础设施，同时考虑弹性扩展需求，规划部署 3 个主服务集群，见图 3。



数据交换服务集群负责处理全局数据交换，提供文件接收和下发服务，功能清晰，独立性较强。数据处理服务集群核心功能是文件预处理，预处理服务能够提前对不同类型的业务文档进行分拣，由专门服务提供后续处理，且较少的节点即可完成服务。在改造之前，由于接种档案类文件的解析业务规则复杂，经常在此处发生排队现象，改造后由专门服务提供解析处理，避免出现串行系统性能瓶颈。交换文档实时解析的结果通过消息系统中的消息服务发送给其他后续集群，提供接种分析、数据查重等服务。完成日志归档、实时质控分析等功能后，反馈服务则归集各环节产生的反馈结果并将消息发送给文件下发服务。通过重新部署，集群之间相互隔离，各服务可弹性部署，消除解析处理过程中的瓶颈，提升整体解析处理效率，提高服务器资源利用率。

5 效果评价

5.1 系统弹性与可用性提升

通过对国家级免疫规划信息系统领域模型的重新识别与定义、服务的拆分与重组、业务及数据处理各环节降耦重构，按微服务架构重构部署后的信息系统由各业务模块相对串行耦合转变为全业务域一体化异步协作微服务集群，其灵活响应部署能力得到进一步提升。同时，系统某项功能的改造对整个系统影响变小，通过消息提供异步隔离后，系统稳定性得到极大提升。一个服务被拆分为多个服务后，处理环节增多，处理链路变长，单个数据的整体处理时间变长，但解耦后的服务功能直接明确，性能瓶颈减少，处理性能增强，节点无状态依赖，可横向扩展部署，整体稳定性得到提升。

5.2 系统的并发吞吐能力显著改善

微服务架构虽然不着眼于系统性能的改进，但随着微服务分节点部署的深化应用，不仅提升了系统的弹性与高可用性，并发吞吐能力也有了显著改善，见表1。

表1 基于微服务架构重构效果评价对比

指标	重构前	重构后	重构效果评价
文件服务	兼顾收发	收发分离	根据实际需求弹性部署，避免互相影响
解析处理服务	解压、解析、校验、日志、反馈	拆分为多个服务	多个服务通过消息提供协作，各自独立部署，横向扩展
解压预处理	无	独立处理解压	独立于串行流程，加快解压预处理循环周期
解析校验	无	有	只处理解析校验，缩短循环周期，提升应用性能
部署实例	96	32	减少部署节点，保留更多弹性空间
日处理能力	300 万条	5 000 万条	每日接种交换处理能力提升明显
单节点处理	800 条/秒	1 000 条/秒	单节点处理性能提升
处理机制	独占式	抢占式	充分利用资源
整体 CPU	75%	35%	单任务更快完成解析操作，避免集中服务 CPU 线程调度，整体资源负载下降
档案积压	明显，不易调度，手动增加节点	不明显，自动抢占式调度，积压少	大幅度减少档案处理积压情况，确保档案解析反馈效率、统计分析时效
资源利用率	30%	80%	空闲资源减少，自动抢占式调度，充分利用资源

在同等基础设施条件下，部署节点数从每服务器3个减少到1个；数据采集、解析及校验处理能力从300条记录/秒提升至2 000条记录/秒，

综合每日处理能力由300万条接种记录提升至5 000万条；单节点数据消费能力由800条/秒提升至1 000条/秒以上，系统负载总体峰值也由改造

前的 75% 下降到 35%。通过调度服务优化，资源利用率大幅提高，由固定分配升级为资源抢占式，减少按省份分配固定资源导致的资源利用不均衡，使整体资源利用率达到 80%，档案解析积压情况明显改善。

从功能性和非功能性两方面对系统数据采集、数据解析处理、数据校验、数据消费与资源利用率提升等多个方面进行总体评价，通过微服务架构改造，系统功能与性能提升效果显著。

6 结语

本文从微服务的本质入手，从免疫规划业务出发，详细阐述从设计业务领域模型到服务解构拆分、从聚合重组到部署应用再到效果对比的领域驱动设计全过程，探究免疫规划业务、微服务架构方法及信息技术的有机结合。能够维持稳定自循环状态的系统就是一个独立领域，每个领域都不是恒定不变的。信息系统会随着业务、技术的发展而产生、进化、消退、消失。在基于微服务架构的系统重构研究工作中，服务的拆分和定义更像是一门艺术，而不仅仅是技术。“行”与“不行”，“优”与“不优”，没有绝对准确的答案，只有在客观条件下，因地制宜，反复实验，尽量保障各种要素相对平衡，才能得到令人满意的结果，需求导向显得尤为重要。微服务架构要从业务领域出发，避免技术性“重构”，从技术角度出发的微服务拆分往往解决的只是局部问题或者基础资源平衡问题。而信息化绝不等同于信息系统，只有从需求导向出发，业务人员深入参与，才能对系统及未来发展方向进行整体把握，从而构建出健壮性强、生命周期长的信息系统。

利益声明：所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

1 FOWLER M, LEWIS J. Microservices [EB/OL]. [2023 - 03 - 25]. <http://martinfowler.com/articles/microservices.html>.
2 THONES J. Microservices [J]. IEEE software, 2015, 32 (1): 113 - 115.
3 NEWMAN S. Building microservices: designing fine - grained systems [M]. Beijing: O'Reilly Media, 2015.
4 RICHARDSON C. Introduction to microservices [EB/OL]. [2023 - 07 - 13]. <https://www.nginx.com/blog/introduction-to-microservices>.
5 丁丹, 彭鑫. 场景驱动且自底向上的单体系统微服务拆分方法 [J]. 软件学报, 2020, 31 (11): 3461 - 3480.
6 郑涛, 王觅也, 丁仁鑫, 等. 基于微服务架构的医院统一服务平台构建研究 [J]. 中国数字医学, 2021, 16 (9): 73 - 79.
7 吴雨渲, 严张凌. 基于微服务架构的个人健康管理系统的设计与实现 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2020, 32 (15): 97 - 99.
8 曹玲生, 雷红, 曹雷, 等. 2021 年中国免疫规划信息化实施现状 [J]. 中国疫苗和免疫, 2022, 28 (4): 470 - 474.
9 林晖, 张冬娟, 周勇, 等. 福建省居民健康信息系统免疫规划管理子系统的建设与应用 [J]. 海峡预防医学杂志, 2012, 18 (6): 6 - 9.
10 克里斯·理查森. 微服务架构设计模式 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2021.
11 埃里克·埃文斯. 领域驱动设计软件核心复杂性应对之道 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2016.
12 WEI Y, BLAKE M B. Service - oriented computing and cloud computing: challenges and opportunities [J]. IEEE internet computing, 2010, 14 (6): 72 - 75.
13 徐言. 基于微服务架构的 WebAR 服务平台中关键技术的研究与实现 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2019.

欢迎订阅 欢迎赐稿