DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.201811037

动态数学数字资源开放平台的研究与设计

管 皓[1,2], 秦小林[1,2], 饶永生[3]

(1. 中国科学院大学,北京 100049;2. 中国科学院 成都计算机应用研究所,
成都 610041; 3. 广州大学 计算科技研究院,广州 510006)

摘 要: 数字教育资源的共建共享行动已成为当前教育信息化的重要内容和研究热点.经过多年的研究和建设,数字教育资源其价值并未得到充分的利用,反而出现所谓的"资源孤岛"和"数字废墟".究其原因主要是由于现有的资源平台建设未具有足够的开放性以及学科相关性.基于PaaS结构提出了教育资源开放平台模型,并结合动态几何、计算机代数、几何定理自动推理等技术,采用微服务架构设计并实现了一种动态数学教学资源开放平台.该开放平台具有深入数学学科、开放资源与能力定制化、分级授权等特点.利用OAuth2.0技术作为主要的授权流程,为第三方应用和用户提供认证授权、分级定制化的动态数学内容素材和能力.给出该开放平台的相关特点及总体设计,介绍了面向应用及用户权限的分层策略与认证流程及开放资源与工具的定制化流程.根据性能分析,表明该平台已广泛应用于教学活动中.目前该开放平台已为电子教材、通用演示软件及在线备课平台等多个第三方应用提供服务,得到了广泛应用.

关键词: 数字教育资源;动态数学;微服务架构;OAuth2.0;开放平台

中图分类号: TP399 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2019)05-0014-09

Research and design of dynamic mathematical digital resources open platform

GUAN Hao[1,2], QIN Xiaolin[1,2], RAO Yongsheng[3]

(1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;
2. Chengdu Institute of Computer Application, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041;
3. Institute of Computing Science and Technology, Guangzhou University, Guangzhou 510006)

Abstract: In response to the principle of achieving shared improvement through collaboration, relevant actions taken in the aspect of the digital education resources have become important contents and research highlights of the present information and communications technology (ICT) in education. After years of research and construction, digital education resources are still not fully valued. Even worse, comments such as "resource island" and "digital ruins" have emerged. This is mainly due to the fact that existing resource platforms lack sufficient openness and scientific correlation. This paper proposes a model of the educational resources open platform based on the PaaS structure. By combining the techniques such as dynamic geometry, computer algebra and automated geometric theorem proving, a dynamic mathematical educational resources open platform is designed and implemented by means of micro-service architecture. Moreover, the OAuth2.0 technology is applied to provide third-party applications and users with authentication and authorization, hierarchically customized source materials and the capability to edit dynamic mathematical contents. This paper proposes an overall design of the open platform, gives a hierarchical strategy and an authentication process for applications and user permissions thereof and introduces the process of customizing the open resources and the tools. Currently, the open platform serves a plurality of third-party applications and is widely applied.

Keywords: digital education resources; dynamic mathematics; micro-service architecture; OAuth2.0; open platform

数字教育资源的共建共享作为推进教育信息化的基础工程,已成为当前教育信息化工作的重要内容和研究热点.《教育信息化十年发展纲要(2011—2020)》中,将"优质数字资源建设与共享行动"列为"中国数字教育"2020行动计划之一.其中数字教育资源是指经过数字化处理,可以在计算机或网络环境中运行的多媒体材料,它使得学生能通过自主、合作、创造的方式寻找和处理信息,从而使数字化学习成为可能[1].数字教育资源共建共享是借助现代信息技术,基于支撑平台以免费或适当收费的方式提

收稿日期: 2018-11-05
基金项目: 四川省科技计划资助(2018GZDZX0041);国家自然科学基金(11701118);2016年贵州省省级重点支持学科"计算机应用技术"(黔学位合字ZDXK[2016]20号)
作者简介: 管 皓(1991—),男,博士研究生;
秦小林(1980—),男,研究员,博士,博士生导师
通信作者: 秦小林,E-mail:qinxl2001@126.com

供给大家共同使用，是实现教育资源社会和经济利益最大化的有效手段[2]. 近年来相关研究主要围绕教学资源库[3]、教学资源应用[4]、资源共建共享激励体系[5]等方面展开.

然而在教学实践中，数字教育资源的价值大多没能充分发挥和利用，反而出现了“资源孤岛”或“数字废墟”[6]等现象. 资源孤岛的产生是由于各个资源系统之间存在技术异构，且缺乏开放特性. 这些资源系统往往是相互隔离的封闭环境，无法实现跨区域跨平台的应用，限制了资源的可用性. 而数字废墟现象，是指网络教育资源建设存在的资源利用率低、使用效果不佳的状况，这是由于资源本身不具有针对性，没有与学科深度融合，切实辅助特定的学科教学. 另外也未能考虑到不同地区、不同教材版本、不同老师的个性化需求，无法满足实际的教学需要.

1　相关研究

近年来，开放教育资源（Open Educational Resources，OERs）的重要性被广泛讨论和研究. 2002 年联合国科教文组织（UNESCO）针对开放教育举办全球性论坛，接受开放教育资源的概念，并建立了 OER 组织. UNESCO 参与了由若干欧洲机构倡议的开放教育质量会议以制定实践框架. 2008 年，全世界的教育工作者在南非开普敦举行会议，提出“一种新的教学方法，用于教育工作者和学习者共同创造、塑造和发展知识，不断发展他们的技能和理解”[7]. Larsen 等指出，在 OER 社区中，共享的创新影响更大：用户可以自由地揭示自己的知识，从而协同工作[8]. Hylén 定义的 OER 包含：开放的课件和内容、开放的软件工具、用于提高教师能力的在线开放内容、学习内容仓库以及开放的课程等内涵[9].

由美国自然科学基金资助，加利福尼亚州立大学建立的 MERLOT，通过整合几十家系统，依赖志愿者贡献素材，目前已积累超过 40 000 项的共享的用于教学的内容[10]. David 提出了一个完全开放版权的 OER，公开了包括 PLOS 在内的超过 11 000 份期刊，鼓励自由分享研究成果[10]. 麻省理工学院宣布于 2001 年，其课程将在线免费使用. 2015 年美国弗吉尼亚社区学院集团（Virginia Community College System，VCCS）开始了一项 Zx23 项目，在 VCCS 中的 23 所学院实现教材零成本[11]. 以麻省理工学院为代表的大规模在线开放课程（Massive Open Online Course，MOOC）具有明显的缺点，导致了注册率高而完成率低的现状. 为克服该困难，福克斯提出了小规模限制性在线课程（Small Private Online Course，SPOC）. 清华大学也相应推出了智学苑 SPOC 平台，该平台采用知识点框架设计，并融合了丰富的多媒体课件[12].

以上的相关研究和项目，有力的推进了 OER 的发展，但就资源平台的建设而言仍然存在三个方面的问题：一是缺乏对特定学科的深入支持，即缺乏专业性；二是内容缺乏灵活度，交互性不足；三是数字资源过于分散，无法与常用的应用或平台进行合理的整合，即缺乏足够的开放性.

Xie 等提出了 TPACKS 模型[13]，从技术、教学、内容和教学标准等方面对数字教育资源的质量进行评价. 张景中等指出理想的数字教育资源环境，其特点应包括有专业性和可扩展性[14]. 其中专业性即是指数字教育资源应该深入学科，例如在数学教育中常常利用动态几何、代数运算、几何定理自动推理等技术，与学科具有高度相关性；可扩展性则指数字教育资源环境不应是孤立、封闭的，应具有足够的开放性，通过相关的技术标准开放内部的资源和能力，为用户或是第三方应用提供专业化的服务支持.

“网络画板（Netpad）”[15]是结合动态几何系统（Dynamic Geometry System，DGS）、计算机代数系统（Computer Algebra System，CAS）、几何定理自动推理等技术研发的一款跨平台的动态数学工具，利用该工具可制作适用于中小学甚至大学不同阶段的教学资源，可作为演示、探究和自主学习的操作环境，具有深入数学学科的特点. 有相关研究表明，学习者通过专业操作环境交互式地进行学习，有利于降低认知负荷，提高学习效果[16]. 基于专业性、交互性和开放性等方面考虑，在“网络画板”基础上采用微服务架构设计并实现了一种动态数学教学资源开放平台，利用 OAuth2.0 技术为第三方应用和用户提供认证授权、分级定制化的动态数学内容素材和能力.

2　开放平台的特点

2.1　深入学科

虽然有关数字教育资源已有大量研究，但仍普遍存在忽视教学规律和教学系统特点的情况[17]. 现有的教育资源往往使用通用工具制作，虽然从内容上也分学科但缺乏对学科教学特点的支持. 例如 Word 编写的试题、导学案；PPT 制作的演示课件；视频录制软件录制的微课等，这些通用工具表面上看起来能支持所有学科需要，但实际上对数字教育资源的建设并没有实质意义，只是简单地将内容电子化. 对于数学学科而言，最主要的就是作图与计算，其中 DGS 是一类基于约束关系专门用于基础数学教育的作图软件，将图形动态化有利于降低学生的

认知负荷;CAS 支持数值与符号运算,是代数运算的重要支撑工具;而基于数学机械化思想的自动推理技术,可由计算机给出可读的证明过程,更是数学数字资源重要的技术支撑. 网络画板正是结合了以上几种技术,满足基础数学专业性的工具软件. 将网络画板生成的动态数学素材,以及几何作图、代数运算及自动推理等能力作为资源进行开放,当有效增强数字资源专业性.

2.2 开放资源及能力定制化

造成"资源废墟"的一个重要的原因是资源零散且良莠不齐,不便于检索,因此应对数字资源标准化建设,并进行合理的体系化组织能有效提高数字资源的利用率,降低用户使用负担. 该开放平台中,开放的数字资源可分为两大类:一类是由网络画板工具制作的动态数学素材,按照知识点、教材版本或是专题(中高考题、数学探究等)分类整理,形成成体系的资源包;另一类是网络画板作图工具及其子模块功能也可作为动态数学能力开放给第三方应用及其用户使用,大体而言包含二维作图、三维作图、代数运算及自动推理等功能. 该开放平台支持第三方应用或用户定制所需的资源包或是功能模块,提供更具针对性的内容和工具服务.

2.3 分级认证授权

该开放平台分别面向应用、用户进行两级认证授权. 其中应用授权是指第三方应用通过申请获取开放接口使用权限,开放平台为第三方颁发具有应用权限的令牌(Token). 使用该权限,可通过平台的开放接口定制与使用相应的资源或是功能模块,将动态数学的数字资源和工具无缝地整合进应用中,此时其用户不再需要关心资源定制及权限管理问题. 当应用定制的开放资源无法满足用户的需要时,用户可通过 Oauth2.0 授权流程获得用户权限的令牌(Token). 利用用户权限的令牌可进一步定制个人的资源使用权限,获得更丰富的内容、更长的使用时间、更高的权限,并在开放平台中创建个人的创作空间,用以保存个人资源.

3 教育资源开放平台模型

本文提出了基于 PaaS[18] 的教育资源开放共享平台模型,主要结合了平台的开放性、专业性,可适用于移动互联网的教育资源开放特性,如图 1 所示.

在该模型中,UP 层描述的是教育资源开放平台的应用开发者(Developer, Dev),负责在各自的应用中整合和使用开放平台的各种资源;AP 层表示了由 UP 层应用开发者开发的各种类型的第三方应用(Application, App);RP 层中包含了一系列的通用容器(General container, GC),主要包含了各种通用能力如第三方应用开发者的鉴权授权,以及支撑开放业务流程的各种服务如资源定制能力、订单生成支付能力等,开放平台的分级授权及定制化特点即在该层实现;PP 层则包含了该教育资源开放平台的核心能力,是专业性特点的具体体现,是开放平台的核心价值所在,能为第三方应用提供与教育专业密切相关能力,具体到数学学科即为动态数字资源的访问、使用,以及动态绘图、代数运算、推理等与学科教学密切相关的能力.

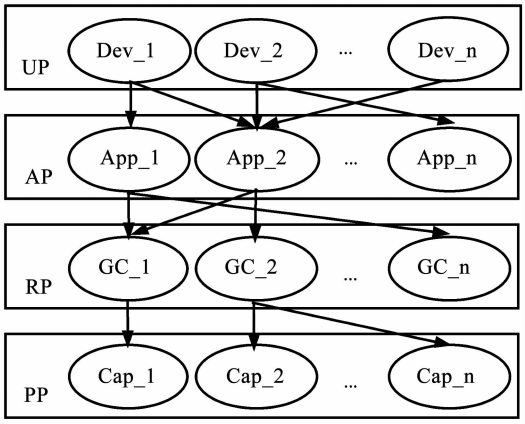


图 1 教育资源开放平台模型

Fig. 1 Model of educational resources open platform

该模型具有清晰的层次划分,各个层次中也包含了各自不同的职责相互独立的模块,在考虑到具体的架构结构时,微服务成了最优的选择方案. 微服务是一种软件架构风格,它把复杂的应用分解为多个微小的服务,这些服务运行在各自的进程中,使用与语言无关的轻量级通信机制(通常是基于 HTTP 的 RESTAPI)相互协调,每个服务围绕各自的业务进行构建,可使用不同的编程语言和数据存储技术,并能通过自动化机制独立部署,这些服务应使用最低限度的集中式服务管理机制[19]. 为实现分布、异构网络信息资源的统一访问,齐惠颖[20] 等提出了一种信息资源集成系统实现方案.

与微服务架构相对的是单体式(Monolithic)应用,相较于单体式应用,服务架构通过将功能分解到各自隔离的服务实现对应用系统进行结构,具有如下明显的优势:

隔离复杂度:每个服务专注于一件独立的业务或功能,并通过定义清晰的接口及描述该服务的职责,这样的服务体积小、复杂度低,提高系统的可维护性和开发效率.

独立部署:微服务具有独立的运行进程,甚至可以部署在不同的物理位置. 当某个服务发生变更需要更新时,无需编译、部署整个应用. 由微服务组成

的应用可分别独立部署和发布，降低更新应用对生产环境引入风险，缩短应用交付周期. Docker 等虚拟化技术的出现，更是为微服务的发布进一步提高效率降低风险.

多样技术栈：针对不同服务特点，选择合适的技术栈，同时也有利于团队协作开发，提高开发效率的同时也可以使开发团队能力得到持续提升.

扩展性强：每个服务都可根据实际需要进行监控与扩展，可更有针对性的进行性能优化及分布式部署.

容错性高：由于服务之间相互隔离，故障被隔离在单个服务中，不会影响整体应用的主要业务流程，避免全局性不可用的状况发生.

4　总体设计与架构

4.1　架构设计

本动态数学数字资源开放平台，其核心资源是由“网络画板”提供的相关素材及能力服务，同时应具备定制化、分级授权等特点. 开放平台具有相当的复杂性，而微服架构正式应对复杂应用的首选架构，本平台的总体架构设计如图 2 所示：

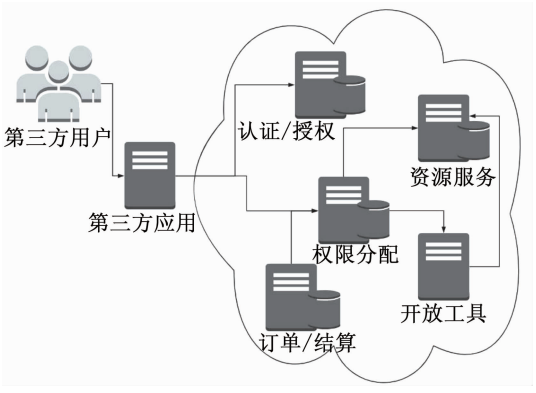


图 2　开放平台总体架构设计

Fig. 2　Architecture design of the open platform

开放平台主要包含认证/授权、权限定制、订单结算、开放工具及资源服务，各个服务之间通过基于 RESET 的轻量级 http 协议进行通信.

认证/授权服务：开放平台具有开放特性，不可避免会遇到各种安全风险，综合分析主要面临如下三类安全问题[21]：开放接口的越权调用、第三方应用加入平台带来的安全非独立性问题、访问终端数据带来的账户隐私威胁. 因此搭建一个可信的开放平台[22]成为最为基础的工作. 本平台采用分级授权方式，分别为第三方应用和用户提供接口调用的权限. 对于第三方应用对接口的合法调用，开放平台与开发者之间会签订一份服务水平协议[23]（Service Level Agreement，SLA），向第三方应用分配 Appid 及 Appkey，授权/认证服务则负责验证 Appid 及 Appkey 并颁发相应的授权令牌（Token），令牌中包含了平台对接口访问的权限信息，用于后续的鉴权为第三方的所有用户提供基础的资源和能力服务. 而在授权给用户访问私有数据及其定制的资源和能力时，则利用开放的授权协议[24]（Open Authorization，OAuth），保障用户账户的隐私安全. 该协议不要求资源拥有者（终端用户）将账户名及密码提交给第三方应用，而是将终端用户引导到认证鉴权服务器进行鉴权，保证第三方应用无法触及到终端用户的账户信息，从而确保了账户的隐私安全，实现了安全的授权.

开放工具：开放工具是开放平台专业性的重要体现，其中核心为结合动态几何、计算机代数系统、自动推理等技术研发而成的“网络画板”. 其动态做图、代数运算、自动推理等功能都可作为开放平台的专业能力对第三方进行开放.

资源服务：动态几何环境与计算机代数系统是广泛应用于数学教育工具软件，利用工具可以生成制作适用于小学、初中、高中、大学等不同学段的资源，其类型也往往包含知识点讲解、探究演示、典型例题、互动实验等，为更适用于一线教学，还可按人教版、北师大版、湘教版等不同的组织方式. 对资源进行多维度的分类和组织，有利于资源的针对性建设、检索和利用，避免形成“数字废墟”.

权限定制服务：该服务为平台和用户定制指定的资源提供接口. 对外可开放的资源和能力，都应在权限定制服务中事先注册，并表明其使用规格. 第三方应用和用户可根据自己的需要，定制某个维度分类下的全部或部分资源的演示、编辑、另存等权限.

订单/结算服务：数字教学资源具有经济价值，其本质上是一种经济品[25]. 资源共建共享归根结底是经济利益分配问题. 国内普遍研究认为，要实现数字教学资源的共建共享，必须依赖一套完整的共享机制. 包括技术支撑体系、资源共享平台、共享实现方式、组织管理结构、激励保障体系[26]. 而订单/结算服务正是这样一种利用技术支撑体系来实现的激励保障体系. 为实现资源的数量持续增长、质量稳定可靠来进一步促进资源的最大化利用，形成数字教学资源共建共享的良性循环生态. 当第三方应用或用户在定制所需的资源或服务时，需经过该服务来创建订单，并支付相应的费用来完成订单，所述的费用可能是平台颁发的虚拟货币.

4.2　业务流程

根据调用主体的不同，业务流程可分为面向应用和面向用户两大类. 而从业务的类型而言主要涉及到

三大业务流程:授权/认证、权限定制及资源调用流程.

图3描述了面向应用调用业务时序图,时序图中包含了第三方应用、授权/认证、权限定制、订单/结算及资源管理几种独立的服务及其互相调用的序列. 其中在授权/认证的流程中,第三方应用使用事先分配好的Appid和Appkey向认证/授权服务发起请求,认证/授权服务验证了合法性后向其颁发相应的平台令牌(Token). 资源定制流程中,第三方应用带上平台令牌向"权限定制服务"发起权限定制请求,在确认定制之前,权限定制服务需向授权/认证服务请求验证令牌的有效性,随后再向订单/结算服务生成订单完成支付流程,在收到订单支付成功的通知后更新应用权限. 而在资源调用流程中,第三方应用同样需要带上平台令牌,向资源管理资源服务发起资源获取请求,资源管理服务首先将令牌发送至权限定制服务,以验证该第三方应用是否对该资源具有访问权限,再决定是否将正常响应第三方资源对于资源的调用.

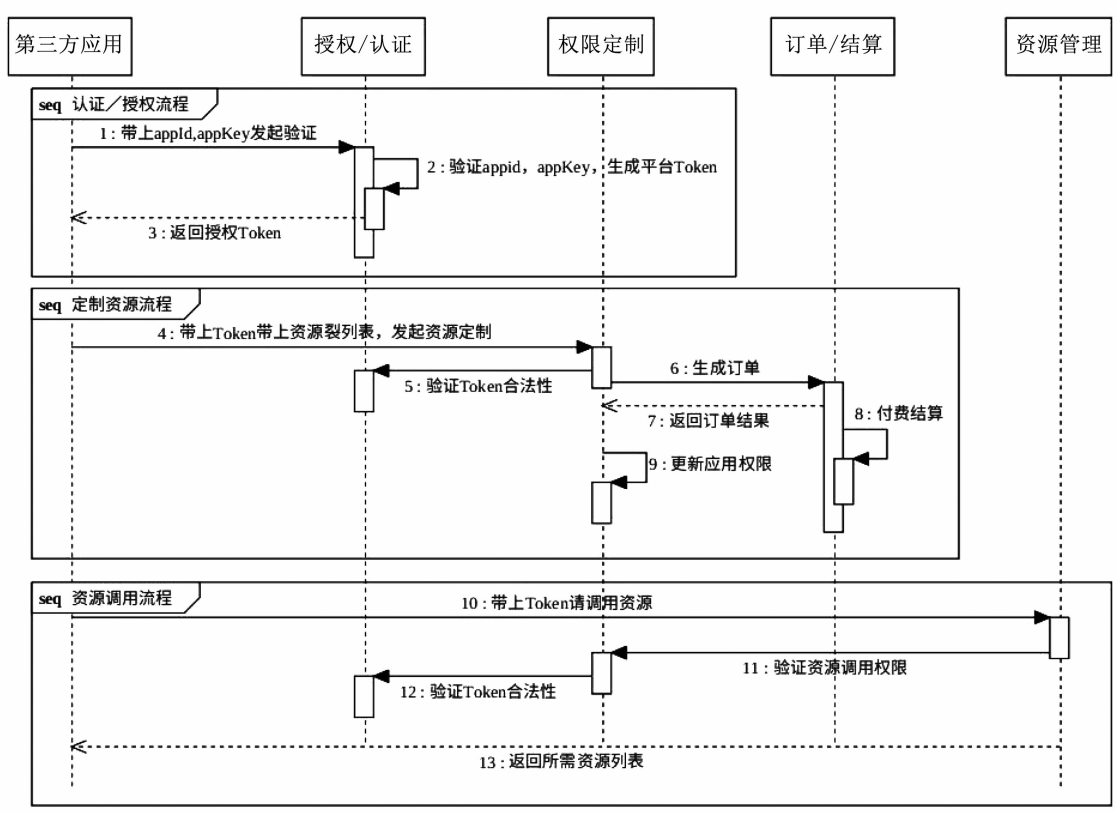


图3　面向应用的业务流程时序

Fig. 3　Application-oriented business process sequence diagram

图4则描述面向用户调用的业务时序图. 与面向应用调用的业务时序图类似,包含三大主要流程. 其主要不同点主要体现在以下两方面:一是面向用户的开放性更高,其中包含了开放工具的调用,即用户有权调用"网络画板"开放工具创作、编辑资源,将资源保存至个人的创作空间便于有针对性的保存和使用. 二是授权/认证的流程相较于应用调用而言更为复杂,使用Oauth2.0授权流程获得用户权限的令牌(Token),可有效保证用户的个人信息安全并完成授权. 利用用户权限的令牌可进一步定制个人的资源使用权限,获得更丰富的内容、更长的使用时间、及更高的权限,并在开放平台中创建个人的创作空间,用以保存个人资源.

4.3　技术框架及选型

后台服务采用Node.js作为基础开发环境,结合Express搭建轻量级的Web服务. Node.js一个基于Chrome V8引擎的JavaScript运行环境. 使用事件驱动、非阻塞式I/O的模型,使其轻量又高效,特别适用于高并发的应用场景. Express是一个保持最小规模的灵活的Node.js Web应用程序开发框架,为Web和移动应用程序提供一组强大的功能.

认证授权采用JWT(Json Web Token)来实现,一种基于JSON的、用于在网络上声明某种主张的令牌(token). JWT通常由三部分组成:头信息(header),消息体(payload)和签名(signature). 具有体积小、传输方式多样、严谨的结构及支持跨域验证等诸多优点,适用于来自不同域名下的第三方应用和用户的认证授权.

在部署中,采用以Docker为代表的虚拟容器技术. Docker可以让开发者打包应用以及依赖包到一

个轻量级、可移植的容器中，然后发布到任何流行的 Linux 机器上，也可以实现虚拟化. 容器是完全使用沙箱机制，相互之间不会有任何接口，具有极低的性能开销.

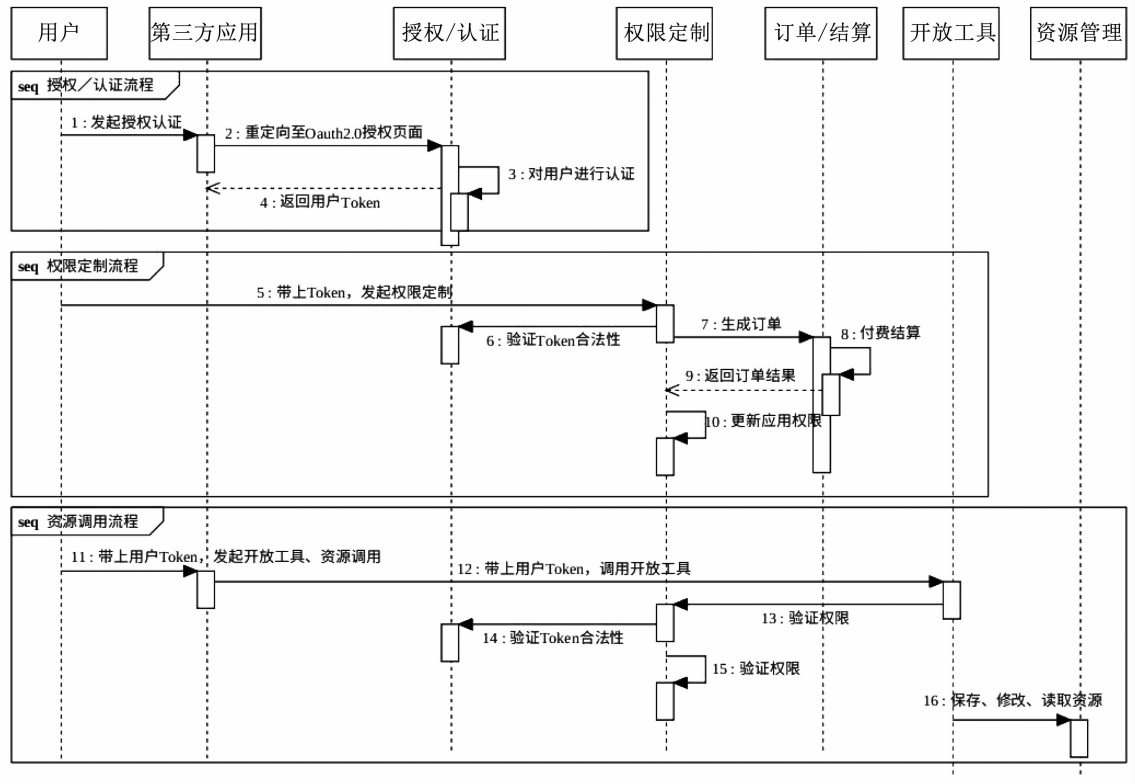


图 4　面向用户的业务流程时序

Fig. 4　User-oriented business process sequence diagram

5　性能分析及应用案例

5.1　性能分析

从 Apdex 指数及吞吐率两个方面在 24 小时内进行该平台性能分析.

Apdex 指数为应用的性能指数，反映用户对当前应用的响应时间的满意度. 分值为 0 ~ 1，分值越高代表用户满意度越好，从图 5 中可见，平均的 Apdex 指数达到了 0.961 表明了该平台得到了比较可观的用户满意度.

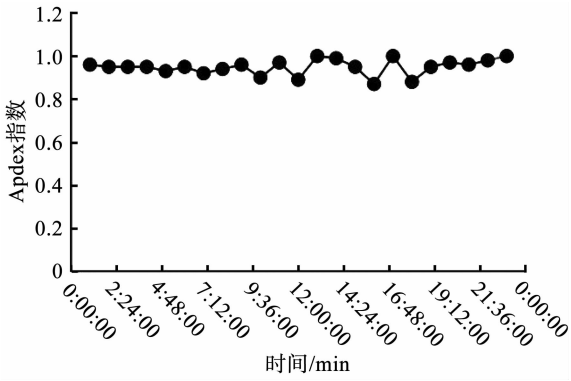


图 5　平台的 Apdex 指数

Fig. 5　Apdex index of the platform

另一个重要性能指标是吞吐率，即反映了每分钟应用处理请求数的能力，同时也反映了用户使用平台的时间特性. 图 6 反映了最近 24 小时应用的吞吐率，从图中可以看出，访问较为密集的时间正是上午及下午开展的课程的时间段，说明该应用已广泛应用于教学过程中.

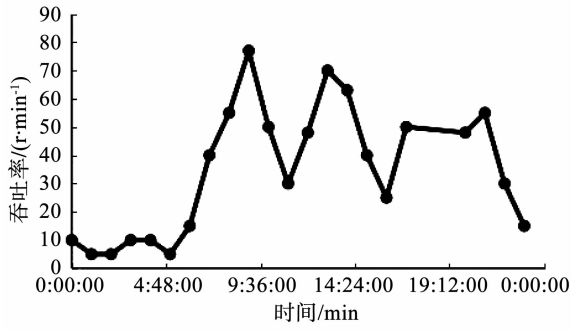


图 6　平台的吞吐率

Fig. 6　Throughput rate of the platform

从以上数据来看，当前开放平台能够充分满足现有的用户访问需求. 随着访问量的增加，微服务架构也为进一步的性能优化提供了良好的可扩展的技术基础.

5.2　应用案例

基于“网络画板”的动态数学数字资源开放平台，截止目前已经汇集了一线老师创作的各类动态

资源超过 6 万个,注册用户超过 16 万,为十多家第三方应用提供动态数学的资源与作图、计算能力的服务. 图 7 展示了近两年来,网络画板作为一个资源汇聚平台所积累的动态资源的统计情况. 通过对这些资源进行合理组织和分类,为第三方应用与用户提供更便利的资源检索. 本开放平台的目标是为所有需要动态数学内容与能力的应用和用户提供服务,下面三个案例分别说明了其开放性在通用演示软件、电子教材与博客以及在线备课授课等平台下的应用潜力.



图 7 近两年来资源累计统计

Fig. 7 Statistics of resources accumulated in the past two years

案例一:PPT 是通用演示软件,其强大的演示功能广泛应用在各个学科教学过程中,然而其缺点也很明显:顺序播放缺乏交互、缺乏对学科的有效支持. 在数学学科教育上主要体现在缺乏动态作图、变换、测量及计算等功能支持. 若能将 PPT 强大的演示功能跟动态数学内容无缝的结合,可有效弥补 PPT 在学科内容支持上的不足. 利用开放平台接口及微软的应用商店,研发了“网络画板” Office-Add-In 组件应用,实现了动态数学与通用演示软件的完美整合,受到广大一线教师和学生的热烈欢迎. 图 8 展示了在 PPT 页面的演示效果,拖动参数滑块 k 时,可直观观察和演示双曲线面积与反比例函数之间的关系.

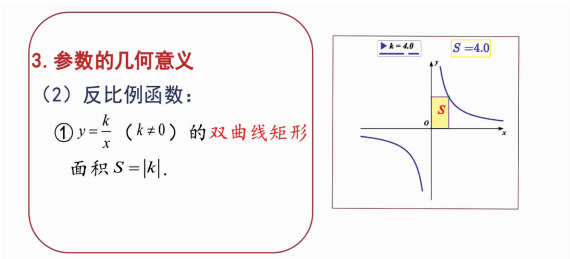


图 8 动态数学资源嵌 PPT 演示

Fig. 8 Dynamic math resource embedded in PPT

案例二:在线博客和电子书特别是电子教材是内容电子化重要途径,目前市面上也出现了各种应用,但对于数学内容的支持还十分有限,往往还停留在支持输入静态的数学公式和图形. 动态数学数字平台为这些应用提供了动态作图与计算的能力,能有效增强这些应用的交互性和可用性. 图 9 展示了某数学爱好者的博客,利用开放平台的接口将内容整合进自己的博客文章中,有效增强了表现力和可交互性. 图中的三维模型可使用鼠标或是触屏设备的手势设备进行交互.

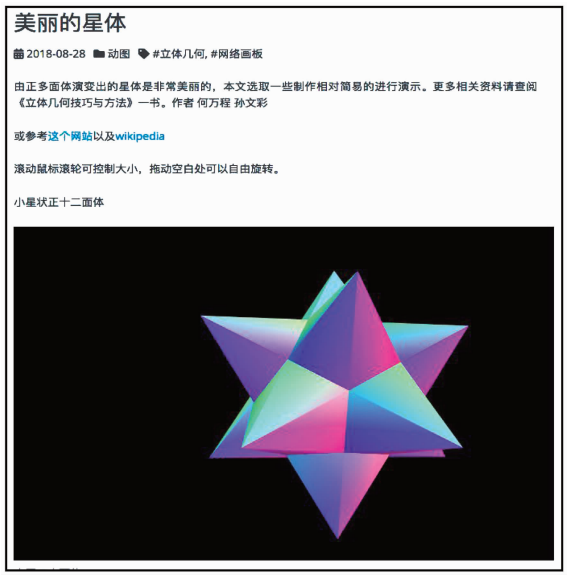


图 9 动态数学资源与博客整合

Fig. 9 Dynamic mathematics resources embedded in blog

案例三：为更好地满足广大老师的教学过程的需要，市面上围绕老师在线备课、授课研发了大量的应用. 这类应用与通用演示软件往往存在类似的问题：缺乏对学科专业化的支持. 图 10 展示了某知名厂商自主研发的针对信息化教学需求设计的互动式多媒体教学平台. 其以多媒体交互白板工具为应用核心，提供云可见、素材加工、学科教学等多种备课、授课常用功能. 其中有关数学学科备课授课的素材即是通过本文的动态数学资源开放平台提供. 如图所示，用户在第三方应用中可调用和使用按一定维度分类的体系资源，这些资源具有一定通用性，旨在满足大部分情况下老师的授课需要；同时也支持用户创建个人创作空间，将符合相关权限的资源编辑、修改、另存为至个人的创作空间，便于满足个性化的教学需要.

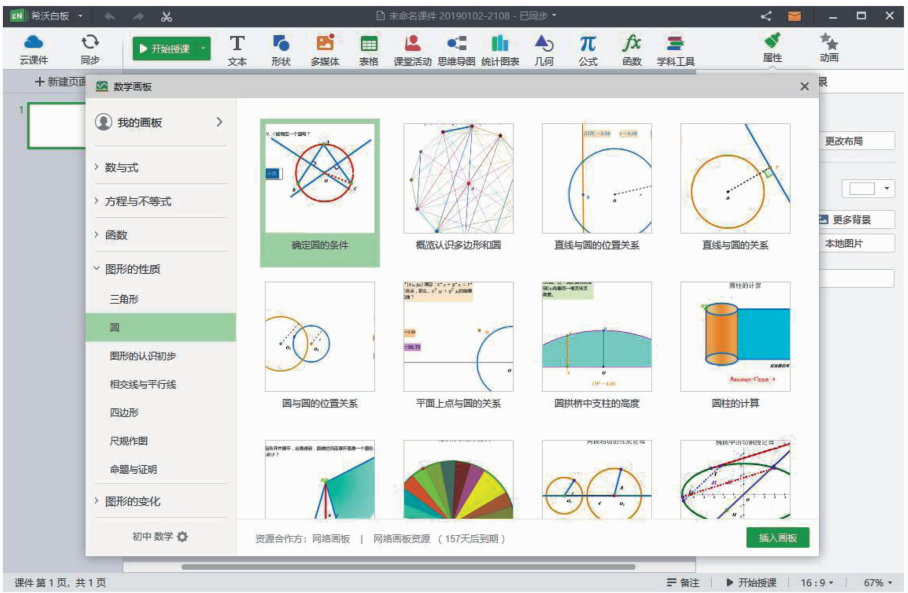


图 10　与某在线备课授课平台整合

Fig. 10　Integration with an online lesson preparing and teaching platform

6　小　结

基于学科软件建立资源开放平台，从技术上能有效改善学科教学资源无法满足教学资源的“资源废墟”及资源无法合理共建共享的“资源孤岛”现象. 网络画板从设计之初就制定了开放共享的基本原则与目标，在研发和整合适用于中小学数学学科的动态几何、计算机代数、自动推理等系统同时，也在积极从理论、技术及规则上探索资源共建共享的机制. 实践证明，广大一线老师在网络画板平台积极贡献才智，创作了大量与一线教学密切相关的优质资源，正是这些优质资源吸引了众多教育信息化厂商前来使用开放平台进行合作，这些厂商大多具有丰厚的资金与推广渠道，有大量通用平台产品并积累了海量的用户，然而缺乏在某个细分领域的深耕细做，无法跟进一步迈向学科信息化. 基于学科数字教育资源开放平台正是为弥补这一不足.

参考文献

[1]李克东. 数字化学习(上)——信息技术与课程整合的核心[J]. 电化教育研究，2001(8)：46. DOI:10.13811/j.cnki.eer.2001.08.045
LI Kedong. Digital learning[J]. e-Education Research, 2001(8): 46. DOI:10.13811/j.cnki.eer.2001.08.045

[2]钱冬明，管珏琪，祝智庭. 数字教育资源共建共享的系统分析框架研究[J]. 电化教育研究，2013，34(7)：53. DOI:10.13811/j.cnki.eer.2013.07.015
QIAN Dongming, GUAN Yuqi, Zhu Zhiting. Research on the system analysis framework of digital Education Resources co-construction and sharing[J]. e-Education Research, 2013, 34(7): 53. DOI:10.13811/j.cnki.eer.2013.07.015

[3]陈宗让，邓少鸿，霍忠民. 基于网络的高校教学资源库的设计与建设[J]. 电化教育研究，2008(4)：61. DOI:10.13811/j.cnki.eer.2008.04.014
CHEN Zongrang, DENG Shaohong, HUO Zhongmin. Design and construction of university teaching resource database based on network[J]. e-Education Research, 2008(4): 61. DOI:10.13811/j.cnki.eer.2008.04.014

[4]吕婷婷，王娜. 基于 SPOC + 数字化教学资源平台的翻转课堂教学模式研究——以大学英语为例[J]. 中国电化教育，2016(5)：85. DOI:10.3969/j.issn.1006－9860.2016.05.014
LV Tingting, WANG Na. A study on the establishment and effect of the flipped classroom mode for SPOC + teaching resource platform as applied in college English teaching[J]. China Educational Technology, 2016(5): 85. DOI:10.3969/j.issn.1006－9860.2016.05.014

[5]丁卫泽，熊秋娥. 高校数字化教学资源共享的困境分析与化解策略[J]. 中国电化教育，2015(1)：93. DOI:10.3969/j.issn.1006－9860.2015.01.015
DING Weize, XIONG Qiue. The plight analysis and defusing

strategies of digital educational resource sharing in colleges and universities[J]. China Educational Technology, 2015(1): 93. DOI:10.3969/j.issn.1006-9860.2015.01.015

[6]王竹立. 网络教育资源为什么存在“数字废墟”——中国网络教育资源建设之难点剖析[J]. 现代远程教育研究, 2015(1): 46. DOI:10.3969/j.issn.1009-5195.2015.01.006
WANG Zhuli. Why are there “digital ruins” in the network education resources[J]. Modern Distance Education Research, 2015(1): 46. DOI:10.3969/j.issn.1009-5195.2015.01.006

[7]Bliss T J, Smith M. A Brief History of Open Educational Resources. Jhangiani R S, Biswas-Diener R[J]. Open: The Philosophy and Practices that are Revolutionizing Education and Science. London: Ubiquity Press, 2017: 9. DOI:10.5334/bbc

[8]LARSEN K, VINCENT-LANCRIN S. The impact of ICT on tertiary education: Advances and promises (is part of: Advancing Knowledge and the Knowledge Economy)[M]. Cambridge: MIT Press, 2006

[9]HYLÉN J. Open educational resources: Opportunities and challenges[J]. Proceedings of Open Education, 2006, 4963. DOI:10.1109/mipro.2015.7160399

[10]DEACON A, WYNSCULLEY C. Educators and the Cape Town Open Learning Declaration: Rhetorically reducing distance[J]. International Journal of Education and Development using ICT, 2009, 5(5): 117

[11]GALE M M. Impacts of open educational resources on enrollment rates, withdrawal rates, and academic performance in the Virginia Community College System[D]. Norfolk: Old Dominion University, 2016

[12]康叶钦. 在线教育的“后 MOOC 时代”[J]. 清华大学教育研究, 2014, 35(1): 85. DOI:10.14138/j.1001-4519.2014.01.001
KANG Yeqin. An analysis on SPOC: Post-MOOC era of online education[J]. Tsinghua Journal of Education, 2014, 35(1): 85. DOI:10.14138/j.1001-4519.2014.01.001

[13]XIE K, DI TOSTO G, CHEN S B, et al. A systematic review of design and technology components of educational digital resources[J]. Computers & Education, 2018, 127: 90. DOI:10.1016/j.compedu.2018.08.011

[14]RAO Y, ZHANG J, ZOU Y, et al. An advanced operating environment for mathematics education resources[J]. Science China Information Sciences, 2018, 61(9): 1. DOI:10.1007/s11432-017-9235-7

[15]RAO Y, GUAN H, CHEN R, et al. A novel dynamic mathematics system based on the internet[C]//International Congress on Mathematical Software. Cham: Springer, 2018: 389. DOI:10.1007/978-3-319-96418-8_46

[16]BOKOSMATY S, MAVILIDI M F, PAAS F. Making versus observing manipulations of geometric properties of triangles to learn geometry using dynamic geometry software[J]. Computers & Education, 2017, 113: 313. DOI:10.1016/j.compedu.2017.06.008

[17]刘新阳. 近年我国高校数字化教学资源建设与应用研究分析[J]. 电化教育研究, 2012(3): 29. DOI:10.13811/j.cnki.eer.2012.03.011
LIU Xinyang. Research on the construction and application of digital teaching resources in Chinese universities in recent years[J]. e-Education Research, 2012(3): 29. DOI:10.13811/j.cnki.eer.2012.03.011

[18]徐鹏, 陈思, 苏森. 互联网应用 PaaS 平台体系结构[J]. 北京邮电大学学报, 2012, 35(1): 120. DOI:10.3969/j.issn.1007-5321.2012.01.028
XU Peng, CHEN Si, SU Sen. Architecture of PaaS for internet applications[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2012, 35(1): 120. DOI:10.3969/j.issn.1007-5321.2012.01.028

[19]SCHWARTZ A. Microservices[J]. Informatik-Spektrum, 2017, 40(6): 590. DOI:10.1007/s00287-017-1078-6

[20]齐惠颖, 王欣. 分布异构信息资源集成系统实现研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010(11): 1838. DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.2010.11.034
QI Huiying, WANG Xin. Research on the realization of distributed and heterogeneous information resources integrated system[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2010, 42(11): 1838. DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.2010.11.034

[21]李敏, 秦志光. 移动互联网能力开放平台的层次安全服务模型[J]. 电子科技大学学报, 2013, 42(2): 289. DOI:10.3969/j.issn.1001-0548.2013.02.021
LI Ming, QIN Zhiguang. Level security service model for capability open platform based on mobile internet[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2013, 42(2): 289. DOI:10.3969/j.issn.1001-0548.2013.02.021

[22]KIM E, KIM K, IN H P. A multi-view API impact analysis for open SPL platform[C]//Advanced Communication Technology (ICACT), 2010 The 12th International Conference on. Cangwon-DO: IEEE, 2010(1): 686

[23]CARDOSO J, SHETH A, MILLER J, et al. Quality of service for workflows and web service processes[J]. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, 2004, 1(3): 281. DOI:10.2139/ssrn.3199022

[24]CIRANI S, PICONE M, GONIZZI P, et al. IoT-OAS: An oauth-based authorization service architecture for secure services in IoT scenarios[J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(2): 1224. DOI:10.1109/jsen.2014.2361406

[25]熊秋娥, 丁卫泽. 基于成本收益的数字化教学资源共享条件分析[J]. 高校教育管理, 2014, 8(2): 104. DOI:10.13316/j.cnki.jhem.2014.02.020
XIONG Qiue, DING Weize. Analysis of conditions for digital teaching resources sharing based on the cost-benefit view[J]. Journal of Higher Education Management, 2014, 8(2): 104. DOI:10.13316/j.cnki.jhem.2014.02.020

[26]李振超, 陈琳, 郑旭东, 等. 建立高校数字化学习资源共享机制的 SWOT 分析[J]. 当代教育科学, 2014(3): 19. DOI:10.3969/j.issn.1672-2221.2014.03.006
LI Zhenchao, CHEN Lin, ZHEN Xudong, et al. SWOT analysis on establishing the mechanism of sharing of digital learning resources in universities[J]. Contemporary Education Sciences, 2014(3): 19. DOI:10.3969/j.issn.1672-2221.2014.03.006

(编辑 苗秀芝)