

# 基于 Cloud-BIM 的工程项目数据管理研究

乐 云<sup>1</sup>, 郑 威<sup>1</sup>, 余文德<sup>2</sup>

( 1. 同济大学 经济与管理学院, 上海 200092 ; 2. 中华大学 营建管理学系, 台湾 30012, E-mail : john.zhengwei@gmail.com )

**摘 要 :** 建筑业动态和碎片的属性导致项目协同团队之间的数据管理在工程项目生命周期内没有获得有效改善。研究提出了工程项目大数据实时处理模型和基于 Cloud-BIM 的模型应用框架, Cloud-BIM 平台对工程项目大数据进行收集、集成、关联、存储和数据挖掘, 实现工程项目数据的再利用和知识管理。基于云计算的应用框架不仅使个人与项目团队之间, 而且使各个项目组织之间以一致的、实时的、可持续、基于项目生命周期的方式进行数据管理, 从而有效提高项目不同组织界面之间的协同工作, 有助于把项目数据转换成组织的信息资产。

**关键词 :** 大数据 ; 建筑信息模型 ; 云计算 ; 数据管理

中图分类号 : TU17 文献标识码 : A 文章编号 : 1674-8859 ( 2015 ) 01-091-06 DOI:10.13991/j.cnki.jem.2015.01.018

## Cloud-BIM Based Construction Project Lifecycle Data Management

LE Yun<sup>1</sup>, ZHENG Wei<sup>1</sup>, YU Wen-de<sup>2</sup>

( 1. School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China ;

2. Department of Construction Management, Chung Hua University, Taiwan 30012, China, E-mail : john.zhengwei@gmail.com )

**Abstract :** Due to the dynamic and fragmented characteristic of construction industry, the construction project lifecycle data management among project collaborative organizations are not effectively improved. This paper presents a big data real-time processing model and Cloud-BIM based application framework for construction projects, which collects, integrates, correlates, stores and mines project big data through Cloud-BIM platform for data reuse and knowledge management. Such a cloud computing based model enables construction lifecycle data management, not only between individuals and project teams but also across different project organizations, in a consistent, real-time, and sustainable manner throughout the construction project lifecycle. By providing real-time and efficient lifecycle data management, it would effectively improve collaboration among different project organization and facilitate transforming construction project data into organization information assets.

**Keywords :** big data ; BIM ; cloud computing ; data management

一个工程项目通常有多个阶段划分, 比如规划、设计、施工、运维等; 涉及多个地理位置分散的专业团队, 比如业主, 建筑师、咨询顾问、承包商、监理、分包商和供应商等; 在每个阶段部署了多个异构的信息系统, 生成涉及成千上万的建筑物构件的海量项目数据。随着建筑企业中的各类重要数据增多, 数据才是企业管理的重要资源逐渐成为共识, 需要用信息化的手段对数据进行合理管理, 促进其在决策过程中发挥作用<sup>[1]</sup>。建筑业的信息化经过几十年的发展正在从集成阶段迈向数据管理

阶段, 其主要目标是使数据互操作性可行, 以便于一方生成的数据能够在所有参与者中顺利地分享<sup>[2]</sup>。但是建筑业中数据管理的复杂性: 包括以项目为中心的工作属性, 行业碎片化的属性和在不同组织中对立的行为<sup>[3]</sup>, 已经严重阻碍了建筑业对信息技术的采用, 并明显落后于其他行业。

BIM 是当前一个非常活跃的建筑业信息化研究方向, 也是用于收集、集成、分析和存储工程项目数据的最前沿技术。与传统的以文档为中心的信息管理方式相比, BIM 有助于以数据为中心的项目管理, 但是当前 BIM 采用一个关键的障碍是项目生命周期数据缺乏整体的数据管理策略<sup>[4]</sup>。各个专业

收稿日期: 2014-10-14.

基金项目: 国家自然科学基金项目 ( 71390523 ).

模型信息常常孤立存放在本地计算机上, 计算性能、网络带宽和存取效能受到极大的限制, 削弱了 BIM 作为项目生命周期数据管理理想载体的能力。随着 BIM 服务器技术发展和云计算的流行, 已经促成桌面版 BIM 软件逐步迁移到云平台, 并正在成为一种新的发展趋势。本文提出了一个工程大数据实时处理模型, 实现生命周期内工程数据的再利用、数据挖掘和知识管理; 构建一个基于 Cloud-BIM 应用框架, 促进项目团队的信息共享、协同工作, 以及对项目业务、决策和战略目标的支持; 最终实现一致的、实时的、可持续的、基于项目生命周期的工程项目数据管理。

## 1 大数据时代下的工程数据

随着云计算、物联网、4G 网络等信息技术的兴起和普及, 以及以微信、Twitter、Facebook 等为代表的虚拟社交网络在移动互联网上广泛运用, 数据正以前所未有的深度和广度影响着人们的生活, 促进社会和行业的升级和变革, 大数据时代已经到来。大数据时代下的工程数据, 需要从根本上转变思维和行为, 把工程数据看成一种基础性和战略性资源, 从中提取有用的知识, 用这种资源和提取的知识协同解决工程项目的管理和决策问题。

### 1.1 大数据特征

大数据尚未有一个公认的定义, 目前比较有代表性的是 3V 定义, 即认为大数据需满足 3 个特点: 规模性 (Volume)、多样性 (Variety) 和高速性 (Velocity)<sup>[5]</sup>。工程数据被认为是一类典型的大数据<sup>[6]</sup>, 因为工程数据具有以下大数据特征:

(1) 数据量巨大。工程项目数据要求作为信息资产永久保存, 导致随着项目的推进, 数据量持续增加。据测算一个典型的 1 亿美元的工程项目会产生 15 万份资料信息, 包括图形资料、法律文件、采购单等, 存储空间需要上百个 10 亿字节<sup>[7]</sup>。随着 BIM 技术和社交网络在工程项目中的广泛应用, 文件的数量和大小有明显持续增长的趋势。

(2) 多样性。结构化数据文件 (Structured Data Files): 如建筑产品的几何尺寸、构件属性、WBS 包含的进度、质量、成本等数据等能存储在关系数据库中进行管理的数据; 半结构化数据文件 (Semi Structured Data Files): 如工程上的施工日志等量化及非量化文件; 非结构化数据文件 (Unstructured Data Files): 如项目上签订的各种合同、会议视频、施工录像、文档、照片、图像等非量化文件。其中

结构化数据文件往往只占建设工程整体信息的 10%~20%, 其余是非结构化的信息<sup>[8]</sup>。

(3) 高速性。工程项目从规划、设计、施工到运维全项目生命周期的需求、内外环境和组织架构快速变化; 试图降低和控制项目风险的各种工程和管理类变更和应对措施频繁出现。上述现象导致了项目数据也快速更新与迭代, 数据之间的关系和结构变得非常复杂, 它们相互关联、作用和影响, 如施工变更会引起工程项目进度、成本和施工方案相关数据的变化, 因此需要实时进行数据处理和版本控制。除此以外, 工程数据也具有大数据另外一个统计学的特征, 数据是全样本, 不再是抽样数据样本, 因此大数据也被称为更好的数据 (better data), 因为它能够呈现传统统计取样方法无法呈现的真实情况。表 1 列举了工程大数据与若干具有代表性的大数据应用比较。

表 1 工程大数据与若干代表性大数据应用比较

大数据应用	举例	用户数量	反应时间	数据规模	可靠性	准确性
科学计算	生物信息学	小	慢	TB	中等	很高
金融	股票交易	大	很快	GB	很高	很高
网络数据	淘宝网	很大	快	PB	高	高
物联网	传感器网络	大	快	TB	高	高
建筑业	建筑信息模型 (BIM)	中等	一般	GB	高	高

### 1.2 互操作性

互操作性 (Interoperability) 是指“两个或多个系统或模块之间交换信息和使用所交换信息的能力”<sup>[9]</sup>。在一个建设工程项目中可能有多个异质的 IT 信息系统, 其产生的数据彼此之间无法做到互联互通, 交互性不强, 其现象表现为一个信息系统产生的数据, 在另外一个系统中无法使用或者信息丢失, 从而导致数据无法有效共享, 增加许多重复工作, 效率低下。虽然专有格式数据文件的使用可以减轻对协同工作的影响, 但由于缺乏基于项目生命周期的数据管理, 数据交换的复杂性将最终导致项目组织之间低效的协同工作。很多研究机构和学者一直试图建立统一的结构化数据标准, 如 IFCs、STEP 和 aecXML 等标准。采用这些标准的系统如 IFC 建筑模型、3D 虚拟设计环境、Web 服务等, 但是这些系统部署复杂、使用成本高, 加上性能的局限, 导致没有在实践中广泛使用和推广<sup>[10]</sup>。

### 1.3 数据处理特点

与 Web 大数据比较, 工程大数据处理有其自身特点。

(1) 生命周期。工程大数据处理跨越整个工程项目生命周期, 从规划、设计、施工、运维直到

拆除,时间跨度可能超过 100 年,对数据的一致性、存储性、可访问性要求较高。而 Web 数据生命周期较短,时间一般 1 年左右就会被新的数据取代。

(2) 处理性能。工程大数据和 Web 大数据都需要强大的数据计算、存储和分析能力,但是工程大数据更强调图形运算能力,从而有效应对三维建模、图形渲染、工程量计算、碰撞检测、环境模拟等所产生的大数据挑战。随着 BIM 的出现和普及,为了满足项目用多个变量和动态情况表现整个建筑系统的需求,它通常要求更精密的和更大范围的模拟,导致数据处理的强度和复杂性指数级增长,产生的信息量和数据量也极其巨大。

(3) 处理机制。工程大数据是工程项目的数字表达,当进行数据的收集、集成和共享时,会涉及到知识产权、组织机构、沟通机制和管理权限等,因此必须进行用户和权限管理。而 Web 大数据主要涉及到个人行为和隐私,数据拥有者是在数据生成者被动和无意识的情况下进行数据处理。

#### 1.4 知识管理

虽然工程项目本身具有唯一性特点,但同类工程项目在组织和管理过程中仍具有较大的相似性。因此,管理过程中如能对历史项目数据进行积累、汇总、整理,为后续待建工程提供良好的借鉴是非常重要的<sup>[11]</sup>。工程项目业务处理系统或平台大多只是建立了文件管理系统,不能动态和实时收集、存储、查询、关联和挖掘数据;少数支持数据库,但也不能集成来自于不同异构信息源的数据,自动地进行数据交换,生成各类分析报告,不能有效支持工程项目的决策分析。其次工程数据没有完整的保存下来,绝大部分知识和经验都存在于项目成员个人的大脑中,数据化和系统化隐性知识并自动转化为企业的核心竞争力目前仍然是一个巨大的挑战。这些数据不仅对于已完工程项目意义重大,而且对于正在规划中的工程项目也有着重要的参考和借鉴作用。如果能够将分散混乱的数据转化成有关联的知识,项目团队将能够借鉴和参考类似工程项目的经验,充分利用以前的知识做出主动的、积极的、有前瞻性的、知识驱动的决策,这对于企业和社会来说无疑是巨大的知识进步。

## 2 工程大数据实时处理模型

随着大数据时代的到来,工程项目数据管理从离线转向了在线。美国 FIATECH 联盟提出实时工程项目管理的路线图<sup>[12]</sup>:“完全集成和高度自动化

的项目流程,这些流程包含了贯穿所有阶段和项目的功能/设施寿命期的非常前沿的技术”。大数据不同的应用领域在数据类型、数据处理方式以及数据处理时间的要求上有极大的差异,在实际的处理中几乎不可能有一种通用的大数据实时处理平台能够应对所有场景<sup>[13]</sup>,比如 Hadoop 是目前最为流行的 Web 大数据处理平台,但是工程大数据不可能和海量 Web 数据采取同样的处理方式,因此在大数据处理的一般流程基础上,本文提出了基于 Cloud-BIM 云平台的工程大数据实时处理模型。

### 2.1 Cloud-BIM

大数据的应用类型有很多,主要的处理模式可以分为流处理和批处理两种,在实际的大数据处理中,常常并不是简单地只使用其中的某一种,而是将二者结合起来。Cloud-BIM 是一种流处理和批处理相结合的工程大数据云解决方案,如图 1 所示它能够生成一个集成的,基于网络的协同 BIM 模型而不是多个文件的集合,通过一个动态服务器组件为项目团队成员提供实时数据协同,利用移动设备上的 APP 实现随时随地的访问 BIM 模型。

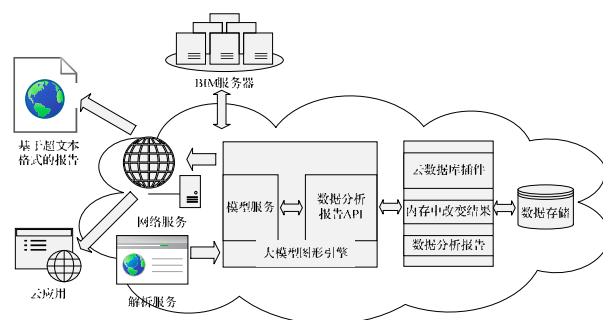


图 1 Cloud-BIM 数据处理框架

Cloud-BIM 在云环境中提供异构的、分布式、可扩展的、广泛访问的存储和计算服务:利用云无限的数据存储能力和图形处理器与多核中央处理器的并行计算能力,加快数据密集型运算,整合数据分析功能,实现高精度图形渲染和大数据处理,并提供精确的模型模拟,这将在工程项目中首先应用的云平台类型之一。目前 Cloud-BIM 的开发有两个重要方向<sup>[14]</sup>:一是基于云的 BIM 应用程序:提供定制的轻量级的模型信息访问,促进运算时间的响应和应用中模型有限配置和升级;二是 BIM 服务器:提供不同组织 BIM 部署的根本战略转型。

### 2.2 基于 Cloud-BIM 的工程大数据实时处理模型

为了便于数据分析和处理,本模型对工程项目数据采用项目工程数据和项目管理数据的分类方

式<sup>[15]</sup>, 分别定义如下: 项目工程数据是与建筑本身相关的几何表达、参数描述和法律法规, 比如构建位置、图层、楼层、费用和清单。项目管理数据是指在整个建筑生命周期中与管理活动紧密相关的控制和沟通信息, 比如计划、控制和工作分配等。该模型如图 2 所示: 对工程项目不同阶段异构的数据源进行实时收集、抽取和集成, 把数据存储在逻辑集中但物理上异构的云存储中, 利用合适的数据分析技术对存储的数据进行分析, 生成丰富的报告和分析数据, 从中提取有益的知识并利用恰当的方式将结果展现给终端用户, 作为工程项目管理的决策依据。模型主要分为以下几个步骤: 数据收集、数据抽取与集成、数据分析以及数据解释。

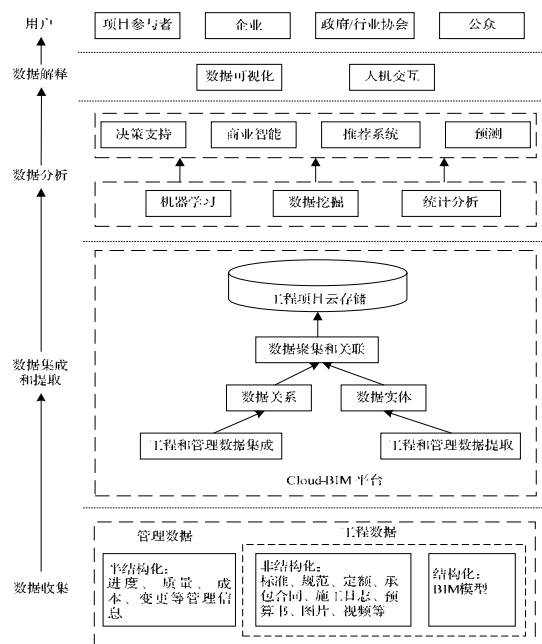


图 2 工程大数据实时处理模型

### 2.2.1 数据收集

工程项目数据呈现多样性和离散性的显著特点, 这意味着数据来源广泛, 数据类型繁杂, 数据分散于不同的系统中, 这种复杂的数据环境给工程项目大数据的收集带来极大的挑战。利用云无限的计算和存储能力, Cloud-BIM 平台在数据收集上的具有以下独特优势:

(1) 基于项目生命周期的数据收集。以 BIM 作为核心信息资源, 建立统一的组织层级的云环境, 支持全生命周期的数据收集, 实时收集散布于不同的软件系统中的项目管理和工程数据, 实现目前以结构化数据为主转向结构化、半结构化、非结构化的数据收集。

(2) 有效应对数据生成方式的多样性。服务

器、图形工作站和台式机是传统的工程数据生成的主要工具, 但这些设备位置相对固定, 不能满足项目团队任意时间和地点生成数据、共享信息和协同工作的需求。随着云技术的快速发展和移动设备在工程项目管理中广泛使用, 基于云的 BIM 应用程序将产生海量的工程数据, 为实时工程项目管理奠定坚实的基础。

(3) 数据存储方式的变化。传统的工程数据主要以文件的形式存储在文件服务器中, 而云平台开始采用数据库的存储方式来应对大数据, 通过集成关系数据库和非关系数据构建一个全新的分布式异构架构: 采用了两层云存储机制和基于数据查询模式的全新的数据分布策略, 实现负载均衡, 高性能, 动态存储可持续发展的工程数据管理。

### 2.2.2 数据提取与集成

Cloud-BIM 对项目工程数据和项目管理数据进行提取和集成, 对数据对象进行分类、组合、关联、聚合, 从中抽取出结构化、半结构化和非结构化数据之间的关系和数据实体, 数据自动关联和聚合之后采用统一定义的结构来存储这些数据。BIM 模型与工作分解结构之间建立关联, 使管理数据如成本分析, 计划控制, 完工率等与三维模型之间建立耦合; 不同组织的多专业团队之间的数据能够相互交换, 使个人, 项目团队, 企业、政府和社会团体更容易共享、交换和处理数据。通过一个统一的大数据处理机制, 在项目工程数据和项目管理数据之间架起桥梁, 实现不同层次的数据集成, 使数据保持一致, 满足从单个项目团队到企业层级的数据管理需求和提高大数据的管理能力。

### 2.2.3 数据分析

大数据的价值产生于分析过程之中, 因此数据分析是工程大数据处理模型的核心。Cloud-BIM 平台集成了项目管理数据和工程数据, 这些数据源存储于关系数据库和非关系数据库中, 用户通过索引可以根据自身的需求进行高效的实时数据查询, 利用数据分析技术如数据挖掘、机器学习、统计分析等从工程大数据中提取出有益的知识, 为工程项目管理和决策提供数据支撑。同时也需要对传统数据算法进行改进: 如消除数据噪音、数据实时性和准确率取得平衡、适应云计算的可扩展性等。

### 2.2.4 数据解释

工程项目数据的使用者包括项目团队、企业、政府和公众。他们可能更关心结果的展示, 而不一定是数据分析的专家, 在复杂的大数据分析工具面

前,他们可能只是初级的使用者;另一方面大数据分析结果往往也是海量的,分析结果之间的关系隐含而晦涩,需要采用适当的解释方法,如引入可视化技术和人机交互技术,把数据使用者从复杂的分析过程和隐晦的分析结果的束缚中解放出来,使所得到的结果更容易让使用者理解,提高从大数据中获取知识的能力。

### 3 Cloud-BIM 应用框架

Cloud-BIM 应用框架如图3所示是建立在文件服务器、云基础架构、软件即服务方案、标准信息交换协议之上,由规划、设计、现场和运维4个模块化子云集群和 BIM 服务器构成。所提出的框架目标是建立一个工程大数据实时处理的业务模型,能够对项目工程数据和管理数据进行实时收集、集成、存储和分析,从而提高工程大数据业务处理的可行性、有效性和敏捷性。

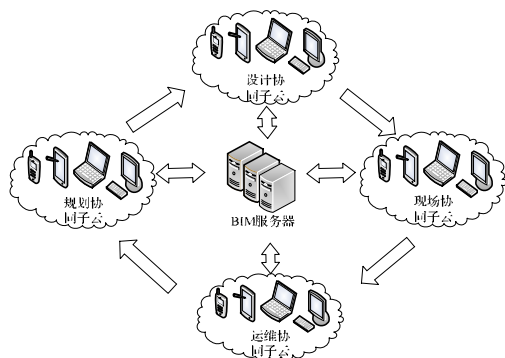


图3 Cloud-BIM 应用框架

#### 3.1 模块化子云

基于项目生命周期的子云聚焦于某一个特定阶段的业务流程和任务,地理位置分散的项目团队从中能够随时随地访问云存储中的信息,利用子云存储的大量数据,进行数据挖掘,生成丰富的报告,作为项目管理的决策依据。规划和设计阶段是模型密集阶段,而施工和运维阶段是文档密集型阶段,因此 Cloud-BIM 部署必须进行系统性的统筹,既要满足每个阶段不同计算能力和数据交换需求,也要保证子云集群和 BIM 服务器之间的联系,还要考虑到云基础架构扩展性和适宜的信息交换协议的可行性。

(1) 规划和设计协同子云。在规划和设计阶段,多专业的项目团队协同工作,解决规划和设计中的问题。规划和设计子云是基于云基础架构的分布式协同工作平台,每个授权项目成员能够在任意时间、地点访问和共享 BIM 模型。BIM 模型通过

BIM 服务器与专业软件进行双向的信息交换,但常常导致互操作性问题,需要用 IFC、扩展标记语言和开放数据库连接等通用信息交换协议和机制进行解决。同步、实时和按需的使用和访问模型将极大减少项目设计,配置和施工前服务的周期:项目团队能更直观地观察到建筑系统的动态变化,有机会尝试不同的方案,优化整体建筑方案的设计,改进建筑性能和提高整体项目效益,最终满足项目干系人在规划和设计阶段的需求。

(2) 现场和运维协同子云。现场云是另一个子云专注于施工现场数据。在施工阶段有大量的项目数据需要收集和处理,目前主要的挑战在于不同项目团队之间数据一致性和施工现场数据的实时处理,比如许多分包商不能够像总承包商一样承担 IT 设施的成本,常常导致数据差异和信息不一致。现场云能大幅降低 IT 基础设施的投入和维护成本,保证不同项目团队之间的数据内容和详细程度的高一致性以及数据高的互操作性。现场数据通过 BIM 服务器反馈给项目成员,从而验证和升级模型数据,使设计模型逐渐发展成为施工模型,最终形成竣工模型并作为项目成果交付给业主。设施子云目前还在研究和开发中,需要进一步探索。

#### 3.2 BIM 服务器

BIM 服务器技术出现之前,BIM 工作流程中信息共享绝大多数是基于文件格式的,意味着整个项目团队在编辑状态时是单一模型文件的整体同步。全尺寸模型同步耗去了相当的时间和带宽,因此变成了一个严重的影响整个工作流性能和生产力的瓶颈,特别是工作流运行在广域网而不是局域网时。BIM 服务器采取了截然不同的方法。它是数据库驱动的,只有改变的模型组件或信息才同步,这极大解决了广域网延迟的问题。

在中央服务器中的核心模型不是一个单一模型而是一个服务器管理的模型中不同数据流的目录。一个数据库结构使它更容易设置访问许可,促进本地数据库的信息与专有 BIM 服务器同步。其中开源 BIM 服务器是基于 IFC 进行开发,集中了工程项目内部信息,然后通过一系列有效控制和文档化的接口,使数据能与客户端应用程序交互。这意味着 IFC 数据通过一个核心对象系统解析,然后存储在一个基础数据库中。另一个商业化的 BIM 服务器方案 Clarity 如图4所示。它是建立在 Autodesk Revit 平台之上的,能够有效地管理 BIM 核心模型,存储、生成、更新、集成项目数据和文档。使用 Clarity



的优势在于它能支持多个中央服务器和用主流数据格式如 DWG 和 IFC 在服务器之间进行信息交

换, BIM 授权服务器和分析服务器各自处理模型创建和配置。

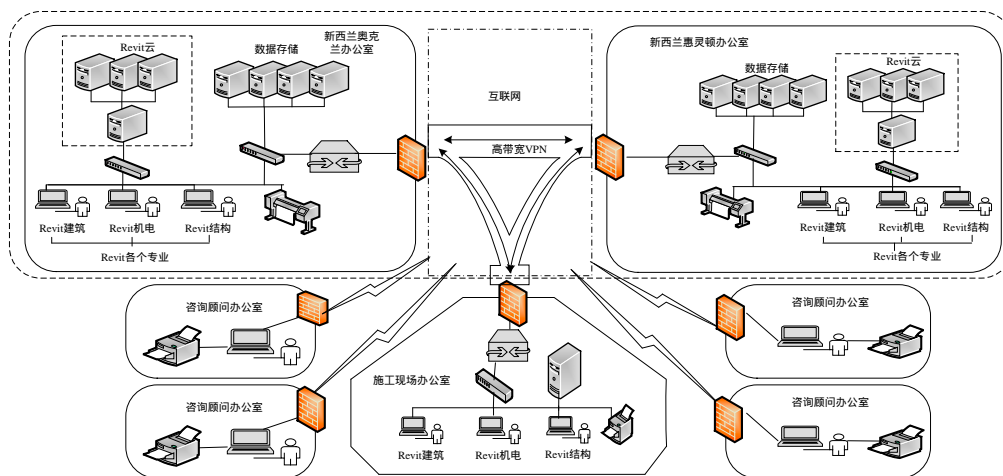


图 4 BIM 服务器 Clarity 框架

#### 4 结语

本文针对工程项目数据呈现体量巨大、格式繁多、关联复杂、变动频繁、成本高、互操作性弱等特点,提出了一个工程项目大数据处理模型,通过工程项目全生命周期数据的实时收集、处理、分析和挖掘,实现工程项目数据的再利用和知识管理。建立了基于 Cloud-BIM 的模型应用框架,利用 BIM 服务器和规划、设计、施工和运维四阶段子云,使工程项目不同阶段、跨地域的项目团队通过基于云计算的工程项目数据管理,实现工程项目不同组织界面之间有效协同工作。越来越多成功的 Cloud-BIM 应用案例表明云计算和大数据将对工程项目的生产方式和管理模式产生革命性的变革,并且将在工程项目中得到很好的发展和广泛的采用,也将成为复杂工程项目成功的关键因素之一。

#### 参考文献:

- [1] 马智亮. 我国建筑业信息化的历史回顾及启示[J]. 中国建设信息, 2009 (18): 27-28.
- [2] Cerovsek T. A review and outlook for a 'Building Information Model' (BIM): a multi-standpoint framework for technological development[J]. Adv. Eng. Inform., 2011 (25): 224-244.
- [3] Bakis N, Aouad G, Kagioglou M. Towards distributed product data sharing environments—progress so far and future challenges[J]. Auto/Constr., 2007 (16): 586-595.
- [4] Tsai M. K. Improving communication barriers for on-site information flow: An exploratory study[J]. Advanced Engineering Informatics, 2009 (23): 323-331.
- [5] Grobelnik M. Big-data computing: Creating revolutionary breakthroughs in commerce, science, and society [R/OL]. (2012). [http://videlectures.net/eswc2012\\_Grobelnik.big.data/](http://videlectures.net/eswc2012_Grobelnik.big.data/).

- [6] The CASA Blog Network. Pedagogy meets Big Data and BIM-Big Data, Sensing and Augmented Reality [EB/OL]. (2013). <http://blogs.casa.ucl.ac.uk/2013/09/09/pedagogy-meets-big-data-and-bim-big-data-sensing-and-augmented-reality-paper-and-key-note-presentation/>.
- [7] 赵雪锋. 建设工程全面信息管理理论和方法研究[D]. 北京交通大学, 2010.
- [8] Linas, Gabrielaitis, Romualdas, Baušys. Electronic document management in building design[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2006 (2): 103-108.
- [9] IEEE. IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries[S]. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1990.
- [10] Xue, Xiaolong; Shen, Qiping; Fan, Hongqin et al. IT supported collaborative work in AEC projects: A ten-year review[J]. Automation in Construction, 2012 (21): 1-9.
- [11] 马天一. 建筑施工企业数据仓库与数据挖掘技术的应用与研究[D]. 北京: 清华大学, 2004.
- [12] FIATECH. Tech Roadmap[EB/OL]. (2014). <http://fiatech.org/tech-roadmap>.
- [13] 孟小峰, 慈祥. 大数据管理: 概念、技术与挑战[J]. 计算机研究与发展, 2013 (1): 148-171.
- [14] Wei Wu, R. R. A. Issa. Leveraging Cloud-BIM for LEED Automation[J]. Journal of Information Technology in Construction, 2012 (17): 367-384.
- [15] Jiao, Yi; Wang, Yinghui; Zhang, Shaohua et al. A cloud approach to unified lifecycle data management in architecture, engineering, construction and facilities management: Integrating BIMs and SNS[J]. Advanced Engineering Informatics, 2013 (2): 173-188.

#### 作者简介:

乐云 (1964-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 项目前期策划, 复杂项目管理, 项目治理;

郑威 (1975-), 男, 博士研究生, 研究方向: 项目管理;

余文德 (1966-), 男, 教授, 研究方向: 商业智能。