

基于 SOA 云架构的电子监察业务平台的设计与构建

张潇元^{1,2} 刘利人¹ 韩海雯³

(广州市监察局 广州 510046)¹ (广州市廉政教育管理中心 广州 510230)²

(华南师范大学经济与管理学院 广州 510631)³

摘要 在分析电子监察业务特点的基础上,设计了一种基于 SOA 云架构的电子监察业务平台。在平台底层采用云计算的虚拟化技术和分布式并行数据处理技术对平台涉及的海量异构资源进行统一而高效的管理,并向上层提供虚拟资源服务、监察业务核心功能开发环境和灵活可伸缩的海量异构数据处理能力;在平台中层采用 SOA 架构把业务核心逻辑、资源和数据封装为标准 Web 服务,实现单项监察业务元服务;在平台高层采用 BPMS 业务协作管理机制,把监察业务间的协作封装为 Web 服务,实现多项监察业务间的协作服务及相关组合服务。元服务、协作服务及组合服务由平台最高层的服务中心统一组织管理,供跨地域分布的各监察部门最终用户使用。

关键词 电子监察,云计算,面向服务架构,分布式并行处理,业务协作

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Supervision Collaboration Platform Based on SOA and Cloud Computing Technologies

ZHANG Xiao-yuan^{1,2} LIU Li-ren¹ HAN Hai-wen³

(Supervision Bureau of Guangzhou, Guangzhou 510046, China)¹

(Anti-corruption Educational Research Center of Guangzhou, Guangzhou 510230, China)²

(School of Economics & Management, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)³

Abstract Through the analysis of the needs and characteristics of the current electronic supervision operations, the collaborative platform of supervision operation was designed based on SOA and cloud computing technologies. In this platform's bottom layer, the virtualization technology and parallel distributed processing technology are adopted to effectively manage the massive heterogeneous resource and provide visual resource service, supervision business core function development environment and feasible massive data processing function to upper layer. In this platform's middle layer, the SOA technology is adopted to encapsulate the business core function, visual resource and data in Web service. In this platform's higher layer, BPMS technology is adopted to encapsulate the collaboration among supervision business in Web service. In service centre, the highest layer of this platform of Web services is open to the terminal users in supervision organizations distributed in different area.

Keywords Electronic supervision, Cloud computing, Service-oriented architecture, Distributed storage, Business collaboration

1 引言

电子监察系统是众多电子政务系统中较为特殊的一个,建立在多个电子政务系统的顶层,收集、处理和存储各种电子政务数据,以开展各种专项电子监察业务。据分析,监察业务具有以下特性:1)动态性。电子监察业务根据临时举报、涉及金额等各种原因临时动态生成,监管对象、部门、业务、数据不断变化。2)协作性。相当一部分的电子监察业务需多个监察部门协作完成。3)复杂性。电子监察涉及的政务业务、政务部门、政务数据均日趋庞杂。4)分散性。根据监察级别、监察对象的不同,电子监察业务的用户和监察对象通常分散性分布在不同地域。目前,随着电子政务业务的大范围普及,电子

监察业务也日趋多样化,同时相关的公文文件、执法文书、审批数据、图像信息、视频监控等各种异构数据的数据规模日益膨胀。由于现有的电子监察系统大多为地方监察部门自建或根据单项监察工作需要独立建设,并采用紧耦合的数据访问方式,直接导致各系统、各部门、各级监察单位间建设标准不一、监察业务各自独立、系统间无法互联互通等缺点,部门间难以协同工作,不能适应于监察业务动态性、协作性、复杂性和分散性等特点。

在日趋复杂的信息环境下,如何消除各种隐患、提供灵活方便的数据并行处理能力和动态的业务协同能力,是拓展电子监察系统的监察范围、深化其监察力度、强化监察业务组合柔性的关键所在。目前,日益成熟的云计算技术^[1-3]和面向服

本文受广州市重大科技专项(13230002)资助。

张潇元(1977—),女,博士,工程师,主要研究方向为电子政务, E-mail: cannycang@163.com; 刘利人(1966—),男,博士,高级工程师,主要研究方向为电子政务; 韩海雯(1973—),女,主要研究方向为云计算、电子商务。

务架构的 SOA 技术为此类问题提供了解决思路。云计算技术中的虚拟化、分布式存储和并行数据处理等关键技术,可为各类监察业务和异构数据提供统一的组织管理架构和灵活可伸缩的计算能力。SOA 技术则可独立于硬件平台、操作系统和编程语言,对业务和数据进行灵活而柔性的封装,构建松耦合的粗粒度 Web 服务,为应用系统提供基本组成单元和统一的信息服务调用接口。如此,云计算和 SOA 技术的结合有效地提供了跨部门、跨组织的信息共享及数据处理和业务协同能力。

本文设计构建了基于 SOA 架构和云计算技术的电子监察业务平台(以下简称监察平台)。在监察平台底层,采用虚拟化技术和分布式数据处理技术等典型云计算技术实现基于海量异构数据存储管理和可伸缩并行数据处理的各项业务功能;在监察平台中层,基于 SOA 架构封装实现各种基本的监察业务;在监察平台顶层,引入业务协作机制,动态、实时构建跨部门、跨组织多项业务协同的复杂监察业务。通过灵活而完备的三层架构,监察平台可为电子监察系统全面、快速、动态地构建面向多部门多系统、异构数据共享、业务全流程监控的各类复杂监察业务。

2 业务平台架构

本文提出的电子监察业务平台由政务资源层、功能服务层、SOA 服务构建层、服务协作层和服务中心组成,其具体架构如图 1 所示。

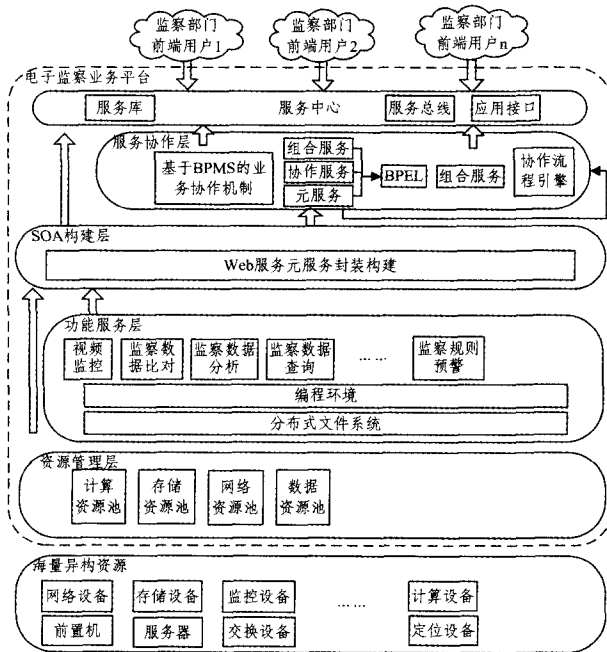


图 1 基于 SOA 云架构的电子监察业务平台架构

如图 1 所示,监察平台从底层向上,层层提供服务,实现按需灵活构建监察业务。其中,在政务资源层应用云计算的虚拟化技术对海量异构资源进行统一高效管理,并以虚拟资源的形式向上层提供标准形态的资源服务;在功能服务层应用云计算的分布式处理技术,向上层提供灵活可伸缩的海量异构数据分布式并行处理功能;SOA 服务构建层面向基本监察业务,根据业务需要对功能服务层提供的计算和数据进行封装,构建标准 Web 服务形式的监察业务元服务,并在服务中心登记;服务协作层面向复杂监察业务,根据业务需要和业

务流程对业务间的协作进行管理,构建业务间协作和协作流程的协作服务,并在服务中心登记;服务中心面向前端用户,实现 Web 服务的动态发现和处理,形成组合服务。如前所述,监察平台组织的、在服务中心中登记的 Web 服务共有 3 种:元服务、协作服务和组合服务。其特点如表 1 所列。

表 1 监察平台 Web 服务的关键特性比较

特性	元服务	协作服务	组合服务
简单描述	包含开展电子监察所涉及的核心业务逻辑	对不同监察业务之间的协作的控制逻辑进行定义、组合、封装而成的复杂 Web 服务	由元服务和协作服务按业务逻辑和流程组合而成的复杂 Web 服务
复杂性	简单	较复杂	复杂
状态管理	无	有	视具体监察业务而定
可重用性	高	较高	低
更改频率	低	低	高

元服务即简单监察业务 Web 服务,只包含由与某项监察业务直接相关联的业务规则提炼而得的核心业务逻辑,其特点是不涉及业务间协作,例如基本数据访问、监察数据交换、监察数据分析统计、监控视频检索、执法文书检索等。复杂监察业务由多个简单监察业务及业务间协作组成,即由多个元服务和协作服务复合而成。用户可通过本平台提供的二次开发接口,开发自己所需要的业务,也可以直接使用本平台提供的应用程序和业务流程,通过组合和集成,直接形成个性化的监察业务。以下给出监察平台各层及监察业务的具体构建。

3 基于云计算技术的监察平台底层

监察平台底层由政务资源层和功能服务层组成,其任务是整合跨部门、跨地域的海量异构政务资源,纳入统一、高效的管理框架中,为上层监察业务提供标准形态的资源服务和业务功能。

政务资源包括分布在各级政务部门及监察部门中的系统资源和数据资源,如政务系统、政务设备和政务数据等。由于建设年代、建设地域的不同,其构建技术、形态、属性、使用方法各异,政务资源具有强烈的异构特征。在政务资源层采用云计算的虚拟化技术,可按资源大类对海量异构系统资源进行统一整合,为上层监察业务提供基础资源和系统资源服务,构造可靠的运行环境。在功能服务层采用云计算的分布式数据并行处理技术,可对海量异构数据资源进行有效管理,为上层进一步构建监察业务提供灵活、可伸缩的数据处理能力和监察功能开发平台。

通过在平台底层统一实现和向上层提供各基本功能,可实现:1)有利于上层监察业务的快速构建和实施;2)优化政务数据存储 I/O 性能,提高电子监察系统的可靠性与可用性;3)消除系统间重复建设、相互孤立和标准不一等各种弊端。

3.1 虚拟化技术及其应用

虚拟化技术包括基础虚拟化技术和系统虚拟化技术,应用在政务资源层,为上层监察业务的运行实现按需提供灵活可靠的运行环境和资源服务,包括基础资源和系统资源。

监察业务所需底层运行资源分散在不同电子政务系统及各级电子监察系统中,如服务器、各级存储设备、网络设备、视频监控设备、监察数据交换前置机等政务和监察设备等。面

对分布范围广、数量众多、硬件型号不一、软件技术各异的运行资源,政务资源层采用 CPU 虚拟化、内存虚拟化、I/O 设备虚拟化等基础虚拟化技术^[4],按照 CPU、内存、存储、I/O、网络等基础资源大类对海量异构资源进行分类整合,形成标准规范下的基础资源池及相应的管理机制,屏蔽同类资源的异构性和故障问题,为上层业务提供统一的资源池抽象接口,供其按需使用各种资源。进一步地,采用系统虚拟化技术^[5]中的虚拟机部署技术实现基于各类基础资源池的灵活的资源调配定制,为不同的监察业务组配其需要的运行环境,即虚拟机。此外,监察平台通过使用虚拟机快速部署、虚拟机在线迁移等其它系统虚拟化技术^[4],进一步管理虚拟机占用资源,加强虚拟机的可用性和可靠性。

通过虚拟化技术提供的资源池和虚拟机机制,政务资源层以资源池这一标准形态为上层监察业务提供了透明、不间断、灵活可靠的运行环境和资源服务。

3.2 分布式数据处理技术及其应用

Apache 基金会组织开发的 Hadoop^[5,6] 分布式数据处理架构由 HDFS 底层数据存储架构和 MapReduce 数据处理引擎技术组成,应用在功能服务层,通过对下层提供的服务资源的有效组织,构建分布式数据处理架构底层,实现对监察平台涉及的海量异构数据的有效管理,为上层进一步构建监察业务提供可靠及可灵活伸缩的并行数据处理能力,为监察业务所需的监察深度和广度提供保证。

HDFS^[7] 文件系统把监察平台的存储资源组织为 Hadoop 集群下的存储节点集合,以大小固定的数据块为单位对数据文件进行管理,采用基于数据块的副本机制和元数据机制对数据块及其副本在 Hadoop 集群各存储节点中的存储进行管理,实现容错的、高可靠性的分布式存储。在 HDFS 分布式存储架构基础上,MapReduce^[8] 数据处理引擎提供分布式编程架构,通过对 Hadoop 集群中各节点的计算资源和数据资源的并行调度和数据同步,实现自动控制的、对用户透明的、可伸缩的数据并行处理过程。面向监察平台涉及的包括行政、办公、公文、审批、招投标、执法、图形、视频等各种异构业务数据,用户可根据开发需要,直接基于特定数据结构定义数据处理过程,开发各种核心政务功能,如执法现场图像数据分析、监察数据分析、监察数据交换、电子证照信息检索、监察监控视频实时预览、执法文书检索、审批数据查询等,并由 MapReduce 数据处理引擎展开对应的分布式并行数据处理,并行度可因数据规模自动伸缩,以应对日益发展的监察数据规模。

Hadoop 架构在功能服务层的整体应用,在提供可靠、高效、可伸缩的分布式并行数据处理功能的同时,屏蔽了底层分布式存储机制的复杂性,简化了异构数据分布式并行处理的编程开发工作。由此,功能服务层向上层提供了一种简单易用、屏蔽下层复杂细节的、使并行调度对用户透明的编程环境和编程模型 SDK。

4 基于 SOA 技术的平台中层及业务封装

监察平台中层采用 SOA 技术,沟通用户监察业务需求,对底层提供的资源服务和业务功能进行封装,构建简单监察业务 Web 服务,即元服务,对上层提供统一的、平台无关的

Web 服务接口。

4.1 SOA 架构

SOA 是一种系统的建模思想和软件构建方法,采用统一的 Web 服务形式构建面向用户的监察业务。SOA 架构^[9-14] 由应用接口、Web 服务、服务库等各部分组成,如图 2 所示。

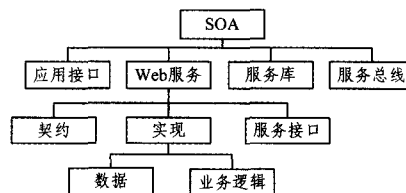


图 2 SOA 架构

Web 服务由契约、实现和服务接口 3 部分组成。实现部分封装了底层提供的数据、业务功能和服务资源;服务接口和契约部分则采用中立的、基于标准的方式对 Web 服务进行定义和描述。从而,Web 服务为运行在不同平台和架构上的监察业务提供了能够互操作的、由特定传输协议和数据编码方式组成的标准和编码机制,并使得 Web 服务的接口定义独立于其具体实现。构建形成的 Web 服务被提供给应用接口和其他 Web 服务使用。服务库存储了各个 Web 服务的相关信息,包括服务契约、服务所有者、访问权限、服务预期性能和扩展性能、服务的事务属性及其各个操作等信息,并提供开发和运行时的绑定功能。应用接口是业务功能的需求方。

服务总线则用于绑定应用接口和 Web 服务。

4.2 平台中层及简单监察业务构建

引入 SOA 架构后,监察平台中层从业务级别组装构建标准 Web 服务,以满足监察业务需求。根据不同监察部门的多元化业务需要,面向监察工作开展时各种临时或长期的业务需求,监察平台对政务资源层提供的资源服务和功能服务层开发的业务功能进行封装,构建 Web 服务,并在上层服务总线中注册、发布,供最终监察用户直接使用,或与其它 Web 服务一起组合形成新的 Web 服务。在这一工作机制下,适应于监察部门、监察业务的动态性和分散性,监察用户随时可产生监察业务需求,服务总线据此生成应用接口,并在服务库中搜索到相应的 Web 服务描述,然后根据监察业务的数据位置和业务情况申请服务资源并与业务功能和业务数据一起封装形成 Web 服务,与应用接口绑定,开始执行。同时,监察平台可以根据用户业务需求的变化,包括业务数据变化和业务功能变化,快速申请或释放资源、构建和组合 Web 服务。监察用户通过统一的使用界面构建自己的监察业务,是 Web 服务的使用者;监察业务平台中层作为 Web 服务的提供者,提供使用界面和应用软件,使得用户不需编程,只要直接使用 Web 服务或通过配置进行组合集成新的应用。

5 基于流程管理的平台高层及业务协作

监察平台高层应用业务流程管理系统^[15,16],构建业务合成机制,通过协作服务实现服务间的协同和互操作,管理其协作流程,支持跨部门、跨系统的监察业务协作,并根据监察需求对元服务和协作服务简单监察业务进行动态组合,构建复杂的监察业务。

5.1 业务流程管理机制

流程管理系统(Business Process Management System)涵

盖业务流程建模语言 BPML(Business Process Modeling Language)、Web 服务编制 WSO(Web Services Orchestration)、Web 服务编排 WSC(Web Services Choreography)、Web 服务编排接口 WSCI(Web Service Choreography Interface)、Web 服务编排描述语言 WS-CDL(Web Service Choreography Description Language)和业务流程执行语言 WS-BPEL(Web Service Business Process Execution Language)等一系列技术。BPML 是一种基于 XML 的模型描述元语言,通过将业务流程描述成控制流、数据流和事件流的结合实现业务流程建模。BPML 按照 Web 服务编制 WSO(Web Services Orchestration)和 Web 服务编排 WSC(Web Services Choreography)两种模式对基本监察业务进行合成,形成协作监察业务和组合监察业务。其中,WSO 模式用于定义某监察单位是如何执行其具体业务流程的,如对并行、条件分支、响应步骤等业务执行顺序流程进行描述、建模抽象和封装。WSO 模式的缺点是仅定义了应调用什么服务以及应该何时调用,没有定义多方如何进行交互与协作,WSC 模式对此进行了补充。WSC 模式用于对监察多方各 Web 服务间大型、全面的协作行为和协作流程中的复杂行为进行定义、描述和封装。这些业务流程可以只是一个监察单位内的,也可以是跨越多个监察单位的。Web 服务编排接口 WSCI(Web Service Choreography Interface)和 Web 服务编排描述语言 WS-CDL(Web Service Choreography Description Language)为此提供了具体实现。其中,WSCI 面向 Web 服务组合时产生的交换消息流展开描述,如基本的请求和回复消息,及监察各方与其它 Web 服务进行同步或异步的公共消息交换过程,即监察多方中对等的消息交换的建模,包括业务间关系描述、业务间信息交换、信息共享、特殊流程中通过 Web 服务实现消息流的交流,以及集合性信息在互动的 Web 服务间的交流等。WSCI 真正地在业务流程管理与 Web 服务之间架起了桥梁。WS-CDL 则从全局的角度,按照流程编排,描述各对等参与方可见的公共或互补行为,包括特定顺序的消息交换、流程执行、角色赋值等。应用 WSCI 和 WS-CDL 可对监察业务间互动、协作等业务流程进行封装,构建协作 Web 服务。WS-BPEL(Web Service Business Process Execution Language)业务流程执行语言是为组合 Web 服务而制定的一项规范,能够描述由 Web 服务参与的复杂业务流程,并对元服务和协作服务进行组合,构建组合 Web 服务。

5.2 平台高层及复杂监察业务构建

在平台高层引入业务协作管理机制 BPMS^[16]后,不再将业务协作流程的信息和规则直接编码到电子监察程序代码之中,而是将这些信息从电子监察业务核心逻辑中分离出来,并将其置于业务协作管理机制 BPMS 的控制之中。同时,SOA 架构作为面向业务协作的支持基础结构,提供 BPMS 需要的后端功能。

高层架构主要包括 BPEL 转换器、基于 BPMS 的协作管理机制、协作流程引擎、监察模型库等部分,如图 1 所示。其中基于 BPMS 的协作管理机制如图 3 所示,监察用户根据监察业务协作需求产生协作定义,采用 WSC 模式封装业务执行顺序控制逻辑,采用 WSO 模式封装如各业务间消息交换、数据共享等业务交互逻辑,形成协作模型。最终采用 WSCI

和 WS-CDL 封装为协作服务 Web 服务,并在服务中心注册和发布。在图 1 的监察平台服务协作层展示的高层架构中,根据实际监察业务需要,采用 BPEL 转换器对协作服务和业务服务(包括元服务和组合服务)进行组合,构建组合服务 Web 服务,并在服务中心注册和发布;协作流程引擎负责执行协作服务中描述的协作流程。

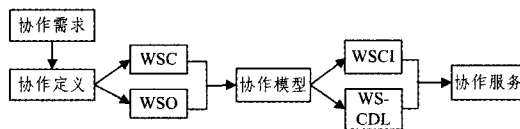


图 3 基于 BPMS 的业务协作管理机制

监察部门能够根据国家、部门制定的各种业务流程(如行政审批监察流程、政府投资项目建设监察流程、行政处罚监察流程),把复杂的监察业务分解为多项核心业务逻辑和业务间协作交互流程逻辑,把核心业务逻辑交由下层开发,构建元服务;在本层按照业务间协作交互流程逻辑定义基于 BPMS 协作管理机制下的业务协作模型,并构建协作服务。最后在本层组装形成组合服务。

例如,在重大项目电子监察业务中,项目编码串联业务协作控制逻辑不包含被监察项目的相关状态,如被监察项目的工程进度情况、具体审批进度、招投标情况、资金支付情况等;但包含与被监察项目串联这一协作过程本身相关的状态信息,如项目各不同进展阶段(立项、审批、规划、建设、支付)的编码、项目拆分组合信息、项目的输入输出和基本规则等,通过将项目不同进展阶段的基本监察业务及其协作流程进行组合,形成重大项目电子监察业务这一组合服务。

5.3 业务构建实例

这里以对政府重大投资项目的工程设计和概算进行监察的业务构建过程作为实例,说明监察平台中各项监察业务及业务协作的构建过程。

政府重大投资项目监察业务流程包括建设工程项目的投资计划制定、工程设计和概算、规划用地审批、工程招投标、资金拨付、工程量变更、竣工验收等多个环节,跨越了发改委、国土局、环保局、规划局、建委、财政局、审计局、招投标中心、项目业主等多个部门的政务业务、数据和资源。在监察平台基于 BPMS 的协作管理机制下,该业务可分为若干个基本业务,每个基本业务被具体分派到发改委、国土局、环保局、规划局、建委、财政局、审计局、招投标中心、项目业主和监察部门自身等多个部门。监察业务的具体实现涉及到各部门内部政务业务的协同,还需要与监察部门现有行政审批监察业务和建设工程招投标监察业务、建设工程交易监控监察业务等业务进行协同。各业务间存在着政务数据资源共享和监察结果交换需求。

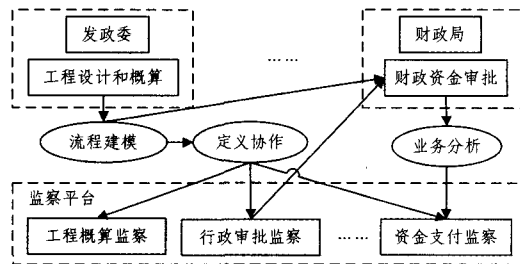


图 4 政府重大投资项目监察业务协作

这里仅以对工程设计和概算进行监察的各项业务及业务协作的实现为例进行说明。如图4所示,监察部门将监察业务需求下达给监察平台,包括监察业务的监察流程、所需要获取的工程项目数据、数据属性、监察业务的计算规则、监察预警规则等。监察平台根据监察业务协作需求,把其细分为工程概算监察、行政审批监察、财政支付监察等多项监察业务及业务协作流程。对各单项监察业务,采用WSO模式封装单项监察业务的私有业务流程逻辑为协作服务,把核心监察逻辑交由监察平台下层开发并封装为元服务,最后在监察平台高层把元服务和协作服务封装为单项监察业务的组合服务,交由发改委、政务办、财政局等应用前端执行;对各单项监察业务间的协作,采用WSC模式对各监察业务与各部门内部政务业务之间监察业务间的协作关系和协作流程进行抽象和封装,形成协作服务,并交由监察局应用前端执行。执行过程中,由协作流程引擎负责各监察业务协同的具体实现,并将各监察结果返回到发改委的工程设计和概算监察业务中,完成业务协作过程。同时,需要强调的是,根据具体监察业务的服务构建需要,组合而成的工程设计和概算监察业务可作为一项新的Web服务在监察平台上进行注册,以供其它业务和应用使用。

6 服务中心

服务中心是监察平台最高层,也是监察平台作为业务服务提供者,向前端用户提供服务的联系纽带和交互界面。服务中心由服务库和服务总线组成。服务库存储SOA构建层和服务协作层封装构建的各种Web服务;服务总线完成Web服务注册、查找、访问、绑定和构建服务工作流,并通过既定的通信协议实现各服务间的互操作,最终提供基于网络的软件应用。通过服务中心,监察用户可以提交服务需求,在服务库中查找已有Web服务并执行,也可以组合已有Web服务,包括元服务、协作服务和组合服务,构建新的组合服务。由监察平台涉及部门的分散性和系统异构性可见,这种可通过网络随时发现和绑定服务的业务管理机制有着重要的实际应用意义。

结束语 构建和谐社会需要夯实监察工作基础,提高监察工作效能。信息技术的迅猛发展,为进一步推进电子监察业务的广度和深度提供了可行性。新兴的云计算技术在海量数据处理及分布式计算能力方面有着独特的优势,适应于电子监察业务对日益膨胀的广域级政务资源的管理控制需求,同时也能充分利用旧有系统资源、保护已有投资。SOA软件构建方法和业务协作机制的引入,为适应形势变化而不断更新的、联合多部门的监察业务提供了动态而灵活有效的软件构建方法。三者融汇而成的监察平台为不断发展的监察业务深度、广度和复杂性提供了有效的解决思路 and 实现方案。一方面,可以把电子政务资源和监察业务分开,监察业务部门不需要去管理平台底层的政务资源,可更加专注于自身的发展;另一方面,底层的涉及多元化业务领域的政务资源可以根据各种新需求、新技术得到快速的部署。基于此种架构,监察业

务将与政务业务并行发展,在提供便利民众的政务服务的同时,不断提高对日益广泛和复杂的政务服务的监察水平。

参考文献

- [1] Armbrust M, Fox A, Griffith R, et al. Above the clouds: A Berkeley view of cloud computing[R]. Technical Report, UCB/EECS-2009-28. Berkeley: University of California at Berkeley, 2009
- [2] Buyya R, Yeo C S, Venugopal S. Market-oriented cloud computing: Vision, hype, and reality for delivering it services as computing utilities[C]//Proceedings of the 2009 9th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid, 2008
- [3] Cloud H. The NIST Definition of Cloud Computing[J]. National Institute of Science and Technology, Special Publication, 2011, 800:145
- [4] Cheng G, Jin H, Zou D Q, et al. Building dynamic and transparent integrity measurement and protection for virtualized platform in cloud computing[J]. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2010, 22(9):1893-1910
- [5] Hadoop [EB/OL]. [2012-03-20]. <http://hadoop.apache.org/core/>
- [6] U. S. Department of Commerce. The NIST definition of cloud computing[J]. National Institute of Standards and Technology, 2011, 15
- [7] Wang Y J, Sun W D, Zhou S, et al. Key technologies of distributed storage for cloud computing[J]. Journal of Software, 2012, 23(4):962-986
- [8] Leverich J, Kozyrakis C. On the energy (in) efficiency of Hadoop clusters[J]. ACM SIGOPS Operating Systems Review, 2010, 44(1):61-65
- [9] 朱志良,苑海涛,宋杰,等. SOA与云计算:竞争还是融合[J]. 计算机科学, 2011, 38(12):6-11
- [10] Birolini A. Reliability Engineering (5th ed)[M]//Theory and Practice. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007:2-24
- [11] 梅宏,陈锋,冯耀东,等. ABC:基于体系结构、面向构件的软件开发方法[J]. 软件学报, 2003, 14(4):721-732
- [12] Oundhakar S, Verma K, Sivashanmugam K, et al. Discovery of Web services in a multi-ontology and federated registry environment[J]. Int'l Journal of Web Services Research, 2005, 2(3):1-32
- [13] 麻志毅,陈泓捷. 一种面向服务的体系结构参考模型[J]. 计算机学报, 2006, 29(7):1011-1019
- [14] 李扬,怀进鹏,郭慧鹏,等. 一个基于服务层叠网的分层服务组合框架[J]. 计算机学报, 2007, 18(12):2967-2979
- [15] Wood T, Shenoy P J, Venkataramani A, et al. Black-box and Gray-box Strategies for Virtual Machine Migration[C]//Proceedings of the 4th USENIX Symposium on Networked Systems Design & Implementation, Cambridge, UK, 2007, 7:17-17
- [16] 刘敏,严隽薇. 基于面向服务架构的企业间业务协同服务平台及技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(2):306-314
- [17] 韩海雯,齐德昱,封斌. 基于云计算的广域级视频监控综合业务平台[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(5):1657-1662