

基于云计算与物联网技术的港口物流综合服务平台架构研究

韩海雯^{1,2} 齐德昱¹ 封斌¹

(华南理工大学计算机系统研究所 广州 510641)¹

(华南师范大学经济与管理学院电子商务系 广州 510631)²

摘要 世界贸易量的不断攀升对港口物流及相关业务提出了新的发展要求。物联网技术在数据自动采集和位置全面感知方面有着天然的优势,云计算平台能够提供强大的资源利用与数据存储处理能力,SOA架构则可实现灵活的服务组合和系统构建。这3种技术在港口物流及相关业务中的综合应用能够满足港口物流在用户数量、用户需求、业务范围、业务复杂度方面不断扩大的需求,推动其从信息平台向服务平台升级。针对当前物流信息平台存在的不足,提出构建港口物流综合服务平台的完整架构,阐述了架构各层的组成及功能目标,详细研究了物联网技术、云计算技术和SOA架构在平台各层构建中发挥的作用。

关键词 港口物流,面向服务的体系结构,云计算,物联网

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Construction of Port Logistics Service Platform Based on Cloud Computing and Internet of Things

HAN Hai-wen^{1,2} QI De-yu¹ FENG Bin¹

(Research Institute of Computer Systems, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)¹

(School of Economic and Management, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)²

Abstract The dramatically increase of international trade goes with the new development to port logistics and its related business in user amount, user business complexity and users business types. New IT technology including things technology, cloud computing and SOA architecture, would bring advantages to meet these increasing requirements and upgrade the port logistic platform from information provider to services provider. Under the consideration of deficiencies of urgent port logistic platform, this paper proposes a full architecture for a new type of port logistics services platform and discusses the construction of its six composed layers coming with the detail utilization of things technology, cloud computing and SOA.

Keywords Port logistics, Service-oriented architecture(SOA), Cloud computing, Internet of things

1 引言

港口连接着陆路运输与水路运输,是整个运输链上货运量最大的集结点。随着近年来世界贸易量不断攀升,港口的物流密度、用户数量、用户需求、业务领域范围和业务复杂程度不断提高,对物流信息平台的建设提出了以下的新要求^[1]:第一,对数量庞大的物流资源的流动性提供支持,保证其频繁移动时数据采集和跟踪监控的时效性及准确性;第二,对物流资源涉及的属性、状态、空间、位置及其所处地理、气象等全方位海量信息的高效处理提供支持;第三,提供服务支持,为大范围多类型的各种用户提供包括物流基础服务和衍生的增值服务在内的多样化综合服务及各用户间的协同服务。在此前提下,如何使用先进的信息技术,整合各种港口资源,对港口物流进行信息管理和集成,以提供高效综合服务,已经成为当前国内外学者关注的热点^[2-6]。

物联网、云计算和SOA体系架构等新兴技术的快速发展为上述问题的解决提供了有效的解决方案。物联网技术^[7]能够通过信息传感设备,按照约定的协议,把物流业务中涉及的

“物”与互联网直接连接,进行信息交换和通信,为物流平台带来状态全面感知和信息自动采集功能。云计算技术^[8]凭借其强大的存储和处理能力,为包括物联网输入信息在内的海量数据信息提供可靠传递、组织存储和智能处理,并最终通过SOA^[9]架构完成应用的构建,为用户提供按需服务,为物流信息系统从公共信息平台升级为公共服务平台提供了技术基础。目前,这几种新兴技术在物流平台应用中的研究方兴未艾。文献^[10]提出把物联网技术集成到物流平台中,但只是偏重对物联网快速获取信息能力的应用,对于如何高效存储及利用平台中的海量信息并提供综合服务没有进行深入研究。文献^[11,12]研究如何应用云计算技术在物流平台中实现灵活的自治和扩展能力;文献^[13]描述如何基于云计算技术构建物流信息平台。但总体来说,这些研究都只停留在信息处理和信息提供的层面,尚不够重视如何按需向各类型用户提供及服务协同,也没有从整个平台架构的角度研究物联网、云计算系统及SOA架构的融合。因此,本文拟深入研究如何建立融合云平台数据中心和物联网终端设备的硬件平台,为精细、动态、全面地管理各种物流业务提供技术基础;

韩海雯(1973-),女,博士生,讲师,主要研究方向为分布式并行计算、云计算、电子商务, E-mail: hanhw@scnu.edu.cn.

并采用云计算技术实现对海量计算资源和数据资源高效的组织管理,完成具备灵活的弹性业务扩展能力服务的构建;最终建立基于物联网和云计算的港口物流综合服务平台(以下简称港口物流平台),向各类型的最终用户提供全面、高效、弹性、按需的综合物流服务。

2 平台总体架构及功能

港口物流平台的构建基于分层体系架构,从底层硬件到最上层的应用系统,各层有其各自的构建目标和构建特点,以下逐一进行剖析。

2.1 平台总体架构及构建目标

港口物流平台由硬件平台层、虚拟层、数据资源层、服务组件层、服务层和应用层组成。具体结构如图1所示。

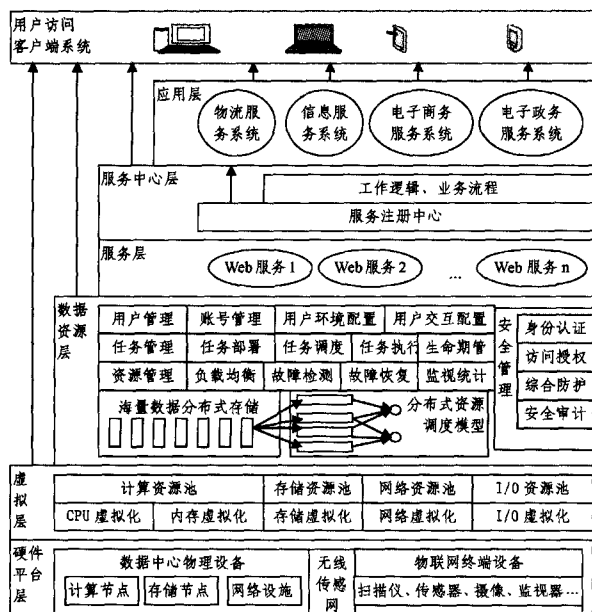


图1 港口物流综合服务平台架构

2.2 各层构建目标

1) 硬件平台层

该层是港口物流平台的最底层,其构建目标是:建设由多个计算机集群组成的、全面连接大量物联网终端设备的数据中心,使平台具备能够对船舶、车辆、货物、集装箱、仓储等各种物流资源实行全面自动化信息采集、全程状态监控及海量数据处理的硬件基础。

2) 虚拟层

虚拟层的构建目标是:应用云计算技术中的虚拟化技术,对硬件平台层中提供的包括物联网终端设备及数据中心物理设备在内的各种基础硬件设施进行统一的组织管理,并将其封装为界面统一的逻辑资源提供给最终用户和上层应用功能。

3) 数据资源层

数据资源层的构建目标是:应用云计算技术中的大数据并行存储管理和资源调度技术,对海量数据资源进行统一、高效、安全的分布式组织、存储和管理,结合分布式并行的计算资源调度方法,形成高性能、可伸缩的数据管理调度模型,支持分布式数据处理功能,并向上层应用提供统一、易用的调用接口。

4) 服务层

服务层的构建目标是:基于数据资源层提供的统一的编程接口,编写基础Web服务,既可完成特定功能,也可提供给上层用于组装Web服务系统。

5) 服务中心层

服务中心层的构建目标是:在SOA架构下,实现对各种Web服务的管理和组装。Web服务的管理是指通过服务注册中心机制完成服务的发布、查找、发现、监控等;Web服务的组装是指通过工作逻辑、业务流程等各种方法提供业务流程层面的数据配置接口,组装实现各项开放和集成的物流及相关服务。

6) 应用层

应用层的构建目标是:为终端用户提供门户网站服务平台,主要包括物流服务系统、信息服务系统、商务服务系统和政务服务系统。分布在不同的地区的用户通过各种终端上的客户端系统便可访问相关服务,而不需要下载、安装或维护任何软硬件。此外,通过提供服务集成接口,港口物流平台可适应用户形态大小,提供多种使用模式。小型企业或个人可直接使用上述应用系统功能;中型企业可根据自己的信息处理流程在平台上选用服务层和服务中心层提供的各种服务组件直接构建信息系统;大型企业则可通过服务中心层提供的配置接口,灵活地选择自己所需的服务,并集成到企业已有的信息系统中。

3 系统功能

从功能服务的角度,港口物流平台共包含物流服务系统、信息服务系统、电子政务服务和电子商务服务系统4个子系统。

1) 物流服务系统

物流服务系统主要完成各项实际物流业务的实施和运行,并对其具体情况进行跟踪和监督,保证整个物流运作流程的畅通运行和顺利完成,为港口物流提供安全、可靠、高效、方便和科学的管理手段。具体业务包括船舶引航、码头智能化装载与管理、集装箱智能闸口管理、装卸设备智能化管理、船舶自动识别、港口车辆监控调度、冷链物流管理、辅助决策功能及业务流程跟踪等。在先进信息技术的支持下,物流服务系统除提供传统物流服务,如随时获得货物的即时信息、动态掌握物流运作的进度等,还通过各种辅助决策功能,如船舶运输路线选择、运力分析、箱量分析等,充分提高物流服务的质量,使客户获得更高的满意度。

2) 信息服务系统

信息服务系统主要通过信息的标准化和规范化,解决异构数据格式之间的格式转换问题,通过单证及数据的EDI电子化和标准化、EDI单证格式衍生与协议标准转换等业务保证信息流转通畅,以实现本平台与物流企业、保税区、货主企业、政府部门、中国电子口岸、外贸通关以及金融服务机构等相关部门的数据交换,为港口物流提供信息转换、传递、存证等增值服务。

3) 商务服务系统

商务服务系统提供交易平台,实现货物采购、网上招标、定单、退货等一系列在线交易管理功能,以便各类企业开展标准化、电子化的国际贸易和电子商务。

4) 政务服务系统

政务服务系统主要提供各种进出港口的政务服务,包括报关服务、通关服务、货物检验检疫等一系列处理过程,以便港口、海关、外经贸、检验检疫等政府各相关部门便捷、高效地进行服务和监管。

4 平台各层组建及关键技术

物联网技术提供了构建精细、动态的全面感知体系的物理手段,云计算技术能够基于对软硬件资源的合理组织和充分利用实现强大的数据计算能力,SOA 架构能够实现灵活的服务组装和功能提供,这 3 种技术在构建功能强大的港口物流平台各层的构建中发挥了重要和关键的作用,以下一一对其进行剖析。

4.1 硬件平台层和虚拟层的关键技术

4.1.1 无线传感网

物联网与数据中心融合的关键是保证来自物联网终端设备的大量数据和信号能够从物联网的终端设备向数据中心实时性传输与汇聚,实现围绕数据中心的各种物理资源间的全面互联、感知与反馈控制。基于港口物流业务中的终端设备根据船舶、车辆频繁移动的特点,能适应多类型障碍,满足港口连通与覆盖目标,并支持 RFID、EPC 和移动数据终端等多种数据采集和交换方式的港口无线传感网络的建设,是数据中心与物联网终端设备融合的关键。

如图 2 所示,港口无线传感网络设计采用基于 Zigbee 协议和成簇拓扑系统的自适应自组织网络体系,包括汇总数据节点、区域路由节点和传感器节点 3 类节点类型。其中,每个传感器节点都具有自我修复能力,不仅可以实现数据采集功能,而且兼有实现数据转发和自检功能。通过网络配置,所有无线传感器节点都可以直接互相通信,且每个传感器节点都有多条路径到达基站节点。每一次网络传输都会选择一条或者多条路由进行多跳传输,将所要传输的数据信息传给基站,以增强网络信息传输的可靠性。

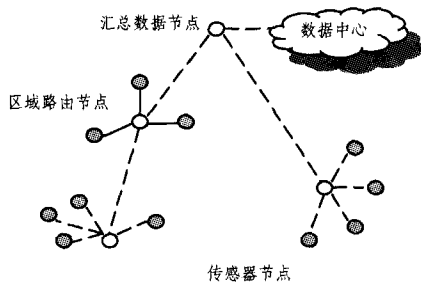


图 2 港口无线传感网络

进一步地,通过在数据中心应用寻址技术,可对各种物流资源实现寻址,从而达到对物流资源的全面感知与控制。在这一技术支持下,本平台对货物不再是成批次进行空间分析与查询,而是可以具体到某一货物,可实现物流管理的精细化,准确地表达单件商品的位置与完备性,并预知包括运抵时间在内的各个准确的关节点时间。

4.1.2 虚拟化技术

虚拟化技术是将底层物理设备与上层操作系统、软件分离的一种去耦合技术,其目的是实现资源的利用效率和灵活性的最大化。

虚拟化技术可分为系统虚拟化、存储虚拟化和网络虚拟化 3 大类,其中系统虚拟化又称服务器虚拟化,由 CPU 虚拟

化、内存虚拟化和 I/O 虚拟化 3 部分组成。应用各种虚拟化技术可对硬件平台层的各种物理硬件资源进行管理和组织,将物理资源按照各个大类封装为界面统一的逻辑资源,尤其是保证物联网终端各种品牌繁多、架构各异、数据格式不同的众多扫描、传感、定位、监控设备,将其抽象成相同的接口。最终形成包括计算、存储、网络、输入输出在内的各种逻辑资源池,为上层提供弹性、可靠的基础设施服务。

4.2 数据资源层的关键技术

港口物流平台需要存储和处理大量数据,分布式数据管理体系是支撑数据资源层实现对海量数据的分布式存储、管理和调度的关键技术。

物联网的全面感知体系随时随处为港口物流平台带来了关于物流资源的全方位信息,如 ID 身份标识、位置信息、状态信息(如温度、湿度、密度、压力、颜色、重量、体积等)等等。此外,平台还需集成各种环境信息,如天气、气候、环境、交通等,以满足船舶调度、运输路线优化等物流综合分析决策需要,从而为物流管理甚至是整体商业经营提供决策支持。如在冷链物流中,不仅只关注整批货物位置移动分析,还需要将冷冻货物的传感温度、保质期等信息与船舶本身行驶里程、保养状况、载重变化、油耗标准等各种动态属性,与海洋洋流、气候、岛屿分布等差异化的地理环境因素,甚至是与中转站的吞吐能力、存储湿度、温度等环境信息相结合来进行分析,及时了解货物及船舶的动态变化,了解各地库房的使用情况,并对船舶配置、路径选择、中转调度等物流活动进行分析,以提供支持。来源丰富的,包括历史、现在、空间、属性的全方位异构海量数据,对数据资源层的数据存储和处理能力提出了更高的要求。因此,数据资源层的构建重点是通过统一的分布式管理体系,实现对平台中规模巨大的结构化和非结构化的海量数据进行系统高效的存储、管理和使用,使平台能够向用户提供强大的、弹性伸缩的计算能力和数据资源调度能力,以实现异构海量数据的数据分析和数据挖掘应用,在其成为面向整个港口相关企业的综合信息采集中心、存储中心及处理平台的同时改善和提高物流服务的综合质量。

港口物流平台的数据资源层的数据管理体系采用开源架构 Hadoop 技术并进行了一定的适应性修改。Hadoop 是 Apache 基金研制的支持数据密集型分布式应用的开源软件架构,由 HDFS、HBase、MapReduce、Hiv、Pig 等一系列软件配套组成,在亚马逊、Facebook 和 Yahoo 等大型网站上都已经得到了应用,各软件间架构组成如图 3 所示。

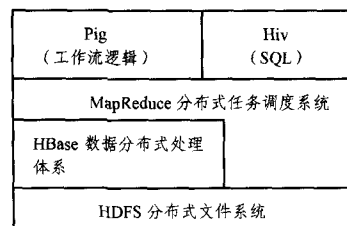


图 3 Hadoop 软件架构

4.2.1 HDFS

HDFS 是底层可扩展的分布式文件系统,由一台主服务器和多台块服务器构成,文件以固定尺寸的数据块形式分散存储在多个块服务器中,并接受主服务器的统一管理,通过多副本冗余存储方式来保证数据的可靠性、扩展性和容错能力。

此外,充分考虑到物联网中应用程序数据访问的移动性和实时性,为使副本分布与用户访问情况相适应,让数据可以去到离用户最近的节点以提高用户的数据访问效率。本层采用基于动态代价矩阵的负载均衡机制,在达到平衡各存储服务器负载的同时,使副本能够均匀地分布到与访问情况相适应的低代价存储服务器上,并适应数据量增加后访问代价的变化。

4.2.2 HBase

HBase是在HDFS底层支持下搭建在廉价PC服务器集群上的可伸缩的分布式数据处理体系,其各组件分布在集群的多台机器中。一个HBase集群由单独的Master服务器和数量众多的Region服务器及所辖Region组成,数据内容按照HDFS格式存储在各Region中;Region服务器负责管理各Region,协调各Region间的并发I/O操作;Master的工作是监视负载和维护Region服务器与Region间的对应关系,其关系如图4所示。

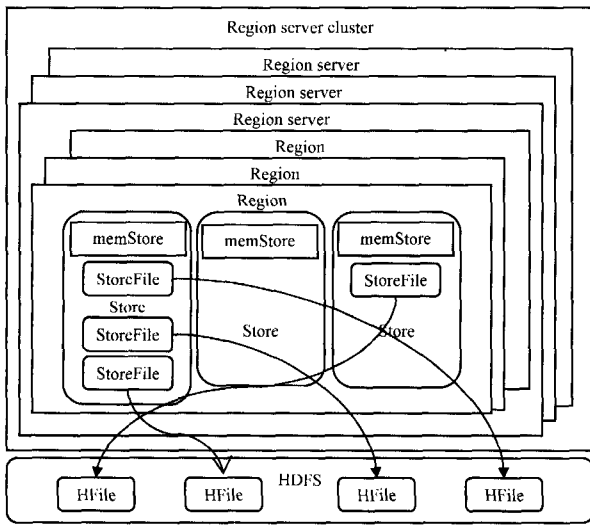


图4 HBase组件分布图

4.2.3 MapReduce

MapReduce在HBase架构基础上进一步实现用户任务调度,为具体的用户任务应用提供海量数据并发处理的高性能计算能力。在MapReduce框架中,将完成计算任务的计算资源节点按照区域范围划分为全局控制节点和任务执行节点。当有用户计算任务到达时,首先由全局控制节点负责对用户任务进行结构化分解,取得数据处理模型信息及其相关数据集,然后为不同的子任务执行找到离数据最近的一个或多个任务执行分节点(由任务涉及的数据量大小和数据分布情况决定),实现处理任务与相关计算资源的动态绑定,将访问位置、访问频率、访问代价结合在一起考虑,选取访问代价较小的存储服务器,进而汇总各个局部节点传递的数据和知识,并以可视化方式提交给用户。各任务执行分节点则根据全局控制节点分配的子任务集合,提供局部自治的数据处理,并将相关子任务执行结果返回给上层节点。

4.2.4 Pig和Hive

Pig和Hive分别从工作流逻辑和SQL查询语言方面提供了高层语言支持、简单易用的编程功能,可编写基于HBase数据处理体系的各种功能程序。

4.3 服务组件层、服务中心层和应用层的关键技术

支撑港口物流服务平台的服务层、服务中心层和应用层

的关键技术是Web服务和SOA架构技术。数据资源层提供了对数据资源和计算资源的有效组织管理,在此基础上,第三方服务提供商或最终用户本身均可基于SOA架构搭建和集成各种具体应用,以Web服务、Web服务组合和动态系统等各种形式实现按需定制最终用户的所需功能。

4.3.1 Web服务

Web服务是一种自包含、自描述、模块化、模块接口与模块实现技术相独立的应用程序。通过封装,Web服务可在隐藏底层实现复杂性的同时,采用统一的接口描述标准,对功能接口、服务质量约定和业务策略作出统一格式的描述说明,设立服务提供者和服务使用者之间精确定义的服务契约,对服务使用方法及使用者期望的最终结果进行规定。

港口物流平台的服务层提供功能级Web服务构建,其特点是直接由数据和操作封装而成,一般用于实现可重用性和通用性高、不涉及业务流程、与底层技术关系较为紧密的工具类功能。功能级Web服务可以是以前遗留的典型业务操作,其通过封装重新打包成标准Web服务,如报关操作、退货操作等。而对于一些涉及大数据量分布读写的应用功能,如信息检索、视频检索、目标定位等需要对信息进行处理、分析、挖掘的功能,则可基于数据资源层的编程接口重新开发,实现为充分利用数据层的分布式软件资源和执行效率高、规模可伸缩的具体应用程序,其同样可通过统一的描述手段封装为标准的Web服务。

4.3.2 基于SOA架构管理组装Web服务

面向服务的体系结构(service-oriented architecture, SOA)是一种系统设计原则和软件构建方法,其核心思想是模块化、集成化和动态组装,可通过松耦合机制快速地构建和部署新的应用程序和服务。作为SOA架构下的一种典型实体要素,Web服务可通过标准化接口将分布式环境中不同功能组件(即服务)联系起来,并实现接口与服务的动态绑定,将其注册、发布到平台中,供各个最终用户搜索并使用。因此,Web服务具有协议独立和松散耦合的特点,有利于服务的重用,有利于随时适应业务需求的变化而临时快速地组装出复杂的系统或者重新修改封装得到新服务,也有利于按照不同方式对服务进行组合,让多个服务一起协同完成某一特定功能。因此,用户可基于SOA架构对Web服务进行任意的内外部组合,形成自己所需要的系统。

SOA架构在港口物流平台中体现为服务中心层中的服务中心机制,由Web服务注册表及一系列相关协议组成,采用面向服务的、标准化、流程化、自动化的松耦合组建方式对Web服务进行组织、发布和管理。具体来说,Web服务首先将其功能元数据通过UDDI协议发布到Web服务注册表中。当需要时,作为服务使用者的用户可以向服务中心请求服务并通过UDDI协议的动态发现机制在注册表中查找和定位服务、获得服务实例的地址信息,进而绑定服务,并与其交互。此外,服务之间可通过XML、SOAP、HTTP等多种开放式的、通用的标准协议进行通信,以实现互操作和互相组合,形成业务级Web服务。通过使用如WSBPPEL等描述服务链、工作流的业务流程语言,可基于某业务领域下的业务逻辑,如某种具体常规职能或部门间组成的虚拟组织,对Web服务进行动态组合,生成新的业务流程模型下的应用系统,并将其作

(下转第261页)

Mechanism for Wireless Sensor Networks [R]. CENS Tech. Report 30. Centre for Embedded Networked Sensing, UCLA, 2003

[21] Levis P, Patel N, Culler D, et al. Trickle: A Self-Regulating Algorithm for Code Propagation and Maintenance in Wireless Sensor Networks [C]//Proc. of the First USENIX/ACM Symposium on Network Systems Design and Implementation (NSDI 2004). San Francisco, CA, Mar. USENIX, 2004; 15-28

[22] Hagedorn A, Starobinski D, Trachtenberg A. Rate-less Deluge: over-the-air programming of wireless sensor networks using random linear codes [C]//Proceedings of the 7th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'08). IEEE Computer Society, 2008; 457-466

[23] Rossi M, Bui N, Zanca G, et al. SYNAPSE++: code dissemination in wireless sensor networks using fountain codes [J]. IEEE

Transactions on Mobile Computing, 2010, 9(12); 1749-1765

[24] Lanigan P E, Gandhi R, Narasimhan P. Sluice: secure dissemination of code updates in sensor networks [C]//Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS '06). IEEE Computer Society, 2006; 53-63

[25] Hyun S, Ning P, Liu A, et al. Seluge: secure and DoS-resistant code dissemination in wireless sensor networks [C]//Proceedings of the 7th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'08). IEEE Computer Society, April 2008; 445-456

[26] Law Y W, Zhang Yu, Jin Jiong, et al. Secure Rate-less Deluge: Pollution-Resistant Reprogramming and Data Dissemination for Wireless Sensor Networks [J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2011(1); 11-33

(上接第 235 页)

为新的服务被注册、发布,从而灵活而快速地解决各种类型用户特定的业务需求。例如船舶海上路线分析功能,即基于查找、统计、分析这一业务流程对相应功能级 Web 服务进行组装而成。

结束语 基于物联网、云计算和 SOA 架构技术建立的港口物流平台,从数据的实时采集和综合利用、状态的全面感知和监控以及资源和服务的按需提供等多个方面提升了港口物流平台的综合素质,为港口物流平台带来了全新的应用前景。

参 考 文 献

[1] Theo E, Nottebooma, Winkelmann W. Structural changes in logistics: how will port authorities face the challenge? [J]. Maritime Policy & Management, 2001, 28(1); 71-89

[2] Almostairi B, Lumsden K. Port logistics platform integration in supply chain management [J]. International Journal of Shipping and Transport Logistics, 2009(1); 194-210

[3] RAdrian E, Chandra S, Etienne S, et al. Intelligent transport systems in multimodal logistics: A case of role and contribution through wireless vehicular networks in a sea port location [J]. International Journal of Production Economics, 2012, 317(1); 165-175

[4] Cheng Jun, Xu Yun-hai. The construction of port logistics information platform based on port supply chain [C]//E-Business and E-Government (ICEE), International Conference, 2011; 1-4

[5] Schuldt A, Hribernik K A, Gehrke J D, et al. Cloud Computing for Autonomous Control in Logistics [C]//40th Annual Conference of the German Society for Computer Science (GI 2010), 2010

[6] Jedermann R, Behrens C, Laur R, et al. Intelligent Containers and Sensor Networks: Approaches to Apply Autonomous Cooperation on Systems with Limited Resources [C]//Hülsmann M, Windt K, eds. Understanding Autonomous Cooperation and Control in Logistics. The Impact on Management, Information

and Communication and Material Flow, Springer, 2007; 365-392

[7] INFISO D. Networked Enterprise & RFID INFISO G, 2 Micro & Nanosystems, in co-operation with the Working Group RFID of the ETP EPOSS, Internet of Things in 2020, Roadmap for the Future [R]. Tech. Rep. Information Society and Media, 2008

[8] 罗军舟, 金嘉晖, 宋爱波. 云计算-体系架构与关键技术 [J]. 通信学报, 2011, 32(7); 3-21

[9] Erl T. Service-Oriented Architecture (SOA): Concepts, Technology, and Design [DB/CD]. Prentice Hall PTR, 2005

[10] 肖亮. 基于物联网技术的物流园区供应链集成管理平台构建 [J]. 电信科学, 2011, 27(4); 54-60

[11] Jun C, Wei M Y. The Research of Supply Chain Information Collaboration Based on Cloud Computing [J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10; 875-880

[12] Hribernik K A, Hans C, Thoben K D. The application of the epcglobal framework architecture to autonomous control in logistics [M]//Dynamics in Logistics. Berlin Heidelberg, Springer, 2011; 365-374

[13] 杨志和, 李业荣. 基于中间件和 RFID 技术的第三方物流 MIS 的应用研究 [J]. 计算机应用研究, 2006(s); 592-593

[14] Robison S. The next wave: Everything as a service [OL]. Executive viewpoint. <http://www.hp.com/hPinfo/execteam/articles/robison/08eaas.html>, 2007

[15] 林云, 田帅辉. 物流云服务-面向供应链的物流服务新模式 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29(1); 224-228

[16] SIM S K. IBM introduces ready-to-use cloud computing collaboration services get clients started with cloud computing [EB/OL]. <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/22613.wss>, 2012-09-09

[17] 张晓娟, 易明巍. 基于云计算与 SOA 的企业集成架构及实现 [J]. 计算机系统应用, 2011, 20(9)

[18] 何典, 吴敏, 胡春华. 物联网环境下负载均衡的低代价云存储数据副本分布 [J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2012, 43(4); 1355-1361