

基于云计算技术的地铁自动售检票系统研究*

雷定猷, 贾莉, 王娟, 游伟

(中南大学交通运输工程学院, 长沙 410004)

摘要: 针对地铁线网规模的不断扩大, 原有地铁自动售检票系统出现建设成本高、资源利用率低、后期维护工作困难等问题, 设计了一个基于云计算技术的地铁自动售检票系统(CAFC系统)。构建了系统的整体架构、物理拓扑结构、软件体系结构和云架构, 精简了原有系统的架构、减少了系统容量、降低了系统投资; 分析了系统各层次之间、系统与系统用户之间、系统与外部接口之间的业务逻辑关系; 提出了基于防火墙、入侵检测系统、数据备份和PKI的系统安全解决方案。该系统能够完成地铁自动售检票和票务运营管理等功能, 而且降低了投资成本、提高了资源利用率, 为实现地铁低碳运营、绿色运营提供支持。

关键词: 地铁; 自动售检票系统; 架构设计; 业务逻辑; 安全解决方案; 云计算

中图分类号: U231+.92; TP302.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2014)02-0480-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2014.02.037

Design of metro automatic fare collection system based on cloud computing technology

LEI Ding-you, JIA Li, WANG Juan, YOU Wei

(School of Traffic & Transport Engineering, Central South University, Changsha 410004, China)

Abstract: With the constant expansion of metro network scale, the existing metro automatic fare collection system encounters severe challenges including, but not limited to, high construction cost, low resource utilization rates and complicated maintenance. To solve these problems, this paper designed an absolutely new metro automatic fare collection system(CAFC system) based on cloud computing technology. Firstly, it established the system framework, cloud architecture, physical topology and software system construction. Compared to the existing one, owing to its much more simple architecture, the new CAFC system performed excellently on the aspects of decreasing its capacity and lowering its investment. Then, it analyzed the logic processes of all the business among certain hierarchy, as well as between system and the users, system and its external interfaces. Finally, it proposed a security solution program concerning firewall, intrusion detection system, data backup and PKI. Besides the traditional function like fare collection automatically and ticketing management, the new CAFC system greatly lowers the investment cost and increases resource utilization rates simultaneously. It could be believed that the new CAFC system has significant meaning to low-carbon operation of metro.

Key words: metro; automatic fare collection system; framework design; business logic; security solution program; cloud computing

0 引言

地铁自动售检票系统(AFC系统)是地铁系统中的运营核心子系统,直接与乘客交互,关系着地铁的收益。现有AFC系统虽然在一定程度上实现了地铁售检票的自动化,但随着地铁网络化的开通运营,AFC系统的建设投资成本越来越大、后期维护工作越来越困难、票务运营管理越来越复杂;而且系统资源利用率低,浪费了大量的资源和能源。

目前,对AFC系统的研究集中于利用系统数据分析乘客的路径选择行为^[1-4]、改进系统通信网络结构^[5,6]、保护系统用户隐私^[7]、改进系统架构等方面。在改进现有地铁AFC系统架构方面,北京地铁^[8]、广州地铁^[9]采用多线路公用线路中心的方案,南京地铁^[9]提出区域线路中心的方案。这些方案在一定程度上精简了AFC线路中心,避免了地铁线路网络化

条件下线路中心的重复建设,但并未从根本上解决AFC系统投资大、维护难等问题。

云计算作为一种新型的计算模式,应用于地铁系统中以降低地铁的建设和运营成本已成为发展的趋势。文献^[10]仅提出了“取消线路中心、建立车站计算机服务器云机房”的设想,未进行详细的分析和设计。本文分析我国地铁AFC系统的应用状况、层次结构和存在的问题,提出并设计了基于云计算技术的自动售检票系统。以CAFC系统用户的需求、实现的功能为基础,分析了系统的业务逻辑流程,设计了系统的整体架构、云架构和物理拓扑架构,构建了系统的软件体系结构,提出了系统的安全解决方案。以期通过云计算技术的应用,实现售检票系统软/硬件资源的统一管理、统一分配、统一部署、统一监控和统一备份,从而精简系统结构、降低运营成本、提高资源利用率,为地铁AFC系统的改进提供理论依据。

收稿日期: 2013-04-25; **修回日期:** 2013-06-06 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(70971140)

作者简介: 雷定猷(1958-),男,湖南浏阳人,教授,博导,主要研究方向为特种货物运输、交通运输运营管理及优化等(ding@mail.csu.edu.cn); 贾莉(1984-),女,河南焦作人,博士研究生,主要研究方向为智能交通及交通运输经济;王娟(1983-),女,湖南邵阳人,博士研究生,主要研究方向为现代物流与交通运输发展、循环经济;游伟(1961-),男,云南普洱人,博士研究生,主要研究方向为交通运输运营管理及优化。

1 我国地铁 AFC 系统现状

1.1 地铁 AFC 系统现状

中国交通运输协会城市轨道交通专业委员会统计,截至 2012 年 9 月底,我国内地范围内开通地铁运营线路的城市共有 15 座,运营线路总计 59 条,运营长度总规模约 1 746 km,运营车站总数 1 143 座。其中拥有 3 条线路及其以上、形成线网规模运营的城市有 5 个。我国地铁全部使用 AFC 系统,虽然不同地铁线路的 AFC 系统各有差异,但结构基本相同。一般分为五层架构,如图 1 所示。第一层,清分中心(CC);第二层,线路中央计算机系统(LC);第三层,车站计算机系统(SC);第四层,车站终端设备(SLE);第五层,车票(ticket)。

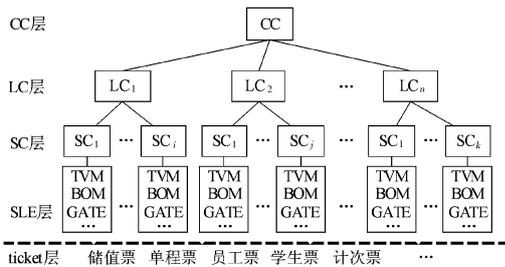


图 1 地铁 AFC 系统结构图

我国地铁 AFC 系统大多采用单线路管理模式,如上海、深圳地铁,为每条地铁线路设置一个线路中心;北京、广州地铁采用多线路公用线路中心的模式;南京地铁采用区域管理模式,即将地铁车站按照区域进行划分,设置区域管理中心。我国地铁 AFC 系统现状统计如表 1 所示。

表 1 我国地铁 AFC 系统现状统计

城市名称	线路条数	车站个数	运营里程 /km	AFC 系统结构	运营企业个数	备注
北京	16	221	442	5 层结构 多线路管理	2	开通里程 世界第 1
上海	12	291	439	5 层结构 单线路管理	1	开通里程 世界第 2
广州	8	152	236	5 层结构 多线路管理	1	开通里程 全国第 3
深圳	5	117	178	5 层结构 多线路管理	3	开通里程 全国第 4
南京	3	57	85	5 层结构 区域管理	1	开通里程 全国第 5

1.2 地铁 AFC 系统分析

地铁 AFC 系统五层树状架构体系中的各层次相对独立又逐级管理,能够很好地完成地铁票务业务功能。但是,随着地铁路网规模和业务的不断扩大,五层架构体系存在明显的缺点。

- 1) 系统越来越复杂 随着路网规模的不断扩大,树状结构的节点越来越多,通信网络结构越来越复杂。
- 2) 资源利用率低 系统各层都是按照最高的客流进行配置的,造成相当多的设备在计算和存储能力上的浪费。
- 3) 维护成本高 随着线网规模的不断扩大,系统节点越来越多、越来越分散,维护难度和成本越来越高。
- 4) 层次间功能重叠 CC 系统涵盖 LC 系统的车票调配、交易信息统计、客流信息统计、运营监控、故障管理等部分功能。SC 系统负责收集和审查 SLE 的数据信息,响应 CC 系统上传数据要求;接收 CC 系统下传的系统参数,向 SLE 下达运作命令等。相当于 CC 系统与 SLE 之间通信的中转站。
- 5) 数据过度冗余 交易数据在系统每层逐级存储互为备

份,但真正使用数据的是在清分系统,各级设备存储的数据存在过度备份的情况^[10];而且每个层级都设置数据库系统,需要定时管理数据库,使系统的管理越来越复杂。

6) 安全性能越来越低 车站工作人员、设备维修人员、承包商的维护人员等都可以对系统设备进行操作。随着线网规模的扩大,可以操作系统的人员将会越来越多,他们的误操作或恶意破坏都会给企业造成巨大的损失。

7) 新线建设带来新问题 线路建设是一个长期的过程,前期工程和后期工程的设备型号可能不同,带来了大量的既有线设备与新线设备接口、既有线软件升级等问题。

2 CAFC 系统总体架构设计

针对现有地铁 AFC 系统存在的问题,设计基于云计算技术的自动售检票系统(CAFC 系统)。对比现有 AFC 系统,CAFC 系统取消了清分中心计算机系统、线路中央计算机系统和车站计算机系统,建立 CAFC 云计算中心,将具有五层架构的 AFC 系统精简为只有三层架构的 CAFC 系统,分别从硬件和软件两个层面对系统架构进行了详细的设计;并对作为 CAFC 系统核心的 CAFC 云计算中心的架构——云架构进行了详细的解构和设计。

2.1 总体架构

CAFC 系统总体架构如图 2 所示。第一层为车票(ticket),作为系统的支付媒介;第二层为车站终端设备(station level equipment, SLE),实现与乘客的交互,完成售票、检票、验票功能;第三层为 CAFC 云(CAFC cloud computing center, CCC),是云计算服务运行和交付所需的所有硬件、软件、管理以及产品开发、运维等所有功能的集合,实现系统数据的集中采集、统计及管理,实现设备状态的集中监控、维护及管理,实现地铁线网收益的清分。

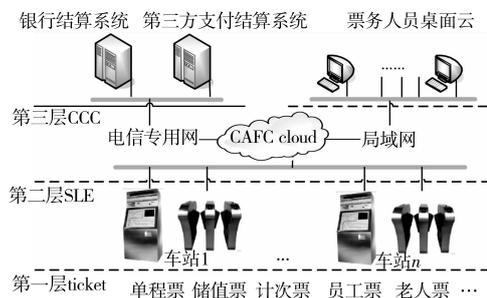


图 2 CAFC 系统总体架构

2.2 物理拓扑结构

CAFC 系统既是一个基于 S/C 模式的系统,SLE 通过地铁局域网直接与 CCC 相连,向 CCC 传输数据,并接收 CCC 下发的参数及命令;又是一个基于 B/C 模式的系统,以桌面云或 browser 的方式向票务相关人员提供 CAFC 系统的相关功能。CAFC 系统物理硬件设施主要包含三个方面:云计算中心、通信主干网和车站终端设备。物理拓扑结构如图 3 所示。

1) 云计算中心 CCC 硬件设施包括机架、计算机、服务器、磁带库、磁盘阵列、交换机、防火墙等,可根据地铁线网规模、客流量、地铁现有 IT 资源等具体情况部署。CCC 采用 VL2^[11] 大二层网络结构,网络使用两层交换形式,第一层为服务器群通过 ToR 交换机接入第二层网络;第二层通过使用聚合层交换机和中间层交换机的交叉连接形成一个大二层网络。

保证各服务器之间的流量均衡和虚拟机在服务器之间的灵活迁移。CCC 通过防火墙与银行系统、第三方支付系统和公共

交通清分中心接口,通过设置在防火墙之后的 IDS 对网络系统进行监听。

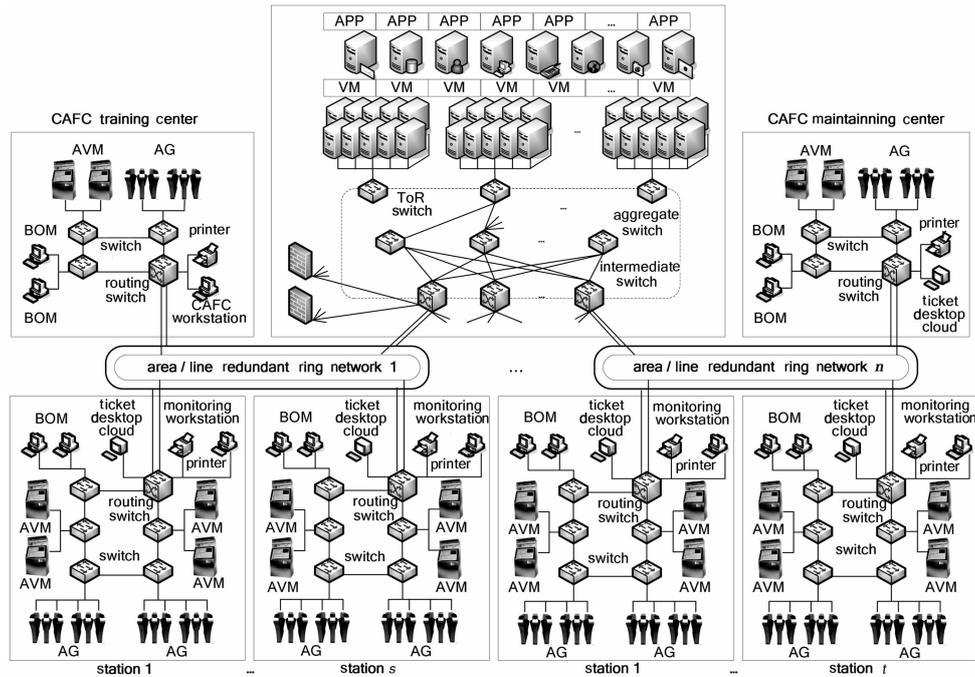


图 3 CAFC 系统物理拓扑结构图

2)通信主干网 CAFC 系统的通信主干网采用实时热备、无缝切换的自愈式冗余光纤双环网。车站站点通过双连接形式接入冗余环网。正常情况下,主环工作,次环热备,当主环或主环上的站点出现故障时,环网进行自动配置,同时启动次环,保证整个网络的正常运行。

3)车站终端设备 车站终端设备通过以太网交换机组成环网结构,通过三级交换机连接至通信主干网与 CCC 相连。在通信主干网故障情况下,车站终端设备可以孤岛运行并最多保留七日数据,待通信正常后即向 CCC 传送报文。

2.3 软件体系结构

按照系统的物理拓扑结构部署好系统的硬件设备之后,需要构建系统的软件体系,实现云环境下 CAFC 系统自动售检票和票务业务运营管理功能。CAFC 系统的软件体系结构主要由以下三个部分构成:

a) 云计算中心软件。云计算技术通过虚拟化、多租户、实时迁移等技术将地铁自动售检票系统的部分负载、应用程序以及服务迁往云计算中心;通过云计算中心软件支持云计算中心高效运行、保障 CAFC 系统功能灵活实现。根据 CAFC 系统的硬件部署和功能应用将云计算中心软件划分为两个层次。集群级软件负责云计算中心硬件资源、虚拟资源的自动化管理,为用户提供基本的任务管理服务;应用级软件实现特定的应用服务。

b) 票务管理终端软件。票务管理终端是仅由屏幕、电源、控制器、键盘、鼠标组成,没有硬盘和 USB 接口的瘦终端。票务人员通过瘦终端的桌面云与云计算中心交互,完成报表填写、工作交接、数据查询等票务工作。桌面云包含两个部分:瘦终端中独立的 Web 访问模块和分配的虚拟资源中的软件模块。使用时,票务人员通过桌面云的 Web 访问模块访问云计算中心,云计算中心的资源管理服务为登录用户分配相应的虚拟资源,并向虚拟应用发起链接请求。链接成功后,向虚拟应用发送鼠标、键盘等输入信息,接收虚拟应用的屏幕绘制信息,

并在瘦终端显示。

c) 车站终端设备软件。车站终端设备软件包括操作系统和应用软件,统一由云计算中心远程部署和升级。操作系统可以选用嵌入式 Windows NT 或 Linux,以尽可能少地占用计算资源。应用软件基本采用两层软件构架,即设备控制层和应用逻辑层。设备控制层直接面向设备部件,为应用逻辑层提供接口函数;应用逻辑层进行相关业务处理,并将业务处理结果输送给乘客显示窗口或直接作为参数调用设备部件的 API 函数。

2.4 云架构

CAFC 云按架构可以分为基础设施层 (infrastructure layer, IL)、平台层 (platform layer, PL) 和软件层 (software layer, SL),如图 4 所示。

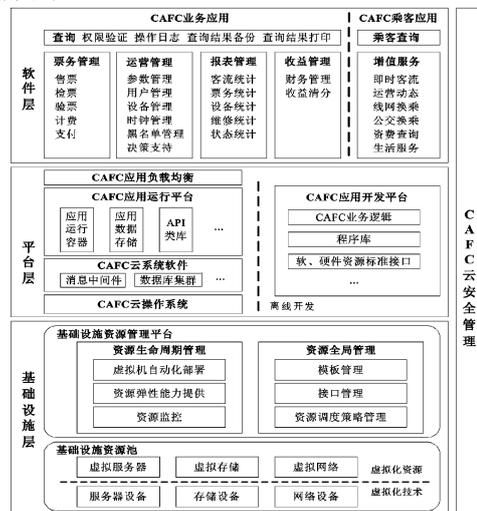


图 4 CAFC 云架构

1) 云基础设施层 IL 主要包括基础设施资源池和基础设施资源管理平台两个部分。基础设施资源池包括服务器、存储、网络等硬件资源,以及虚拟化的虚拟服务器、虚拟存储、虚拟网络等虚拟资源。基础设施资源管理平台实现对基础设施

资源的生命周期管理和全局管理,通过对资源的统一管理和调度,使资源形成统一的资源池为 CAFC 系统提供硬件支持。

2) 云平台层 PL 指在云基础设施上为 CAFC 系统应用软件提供开发、部署和运行的环境,包括 CAFC 云操作系统和 CAFC 云系统软件,旨在建立一个统一的平台供多个 CAFC 应用可扩展地同时运行,实现 CAFC 云应用软件任务管理与控制、云文件系统管理、云数据的存储及调用、云应用软件之间的消息通信等,并为 CAFC 应用开发者提供标准的开发环境、CAFC 业务逻辑和编程接口,使应用开发者能够离线开发,并通过 CAFC 云平台发布及升级。

应用运行环境负责应用的部署、执行、监控、调度等,完成逻辑处理、用户界面呈现及应用数据的查询和处理等工作,包括应用程序执行容器、可扩展的数据存储服务。应用开发环境向 CAFC 应用软件开发人员提供统一的开发环境供应用的离线开发,包括 CAFC 业务逻辑、软/硬件资源接口、程序类库等。

3) 云软件层 SL 包括各种系统的应用软件,采用基于 Web 服务交付方式交付于车站终端设备和票务相关人员使用。应用软件按功能分为票务业务应用和乘客服务应用,包括票务管理、运营管理、收益管理、报表管理、系统查询和乘客查询等。

4) CAFC 云管理平台 CAFC 云管理平台对云计算平台进行运行维护和管理。

3 CAFC 系统业务逻辑关系

CAFC 系统通过各层次之间、系统用户与系统之间的交互实现系统功能,业务逻辑关系如图 5 所示。

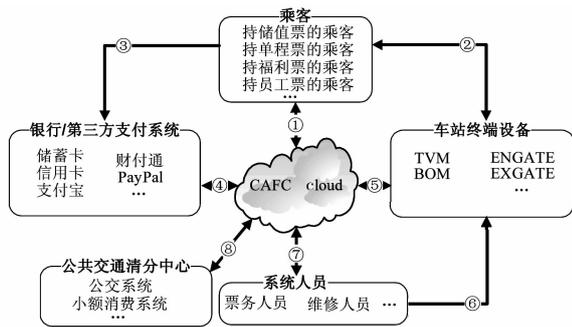


图 5 CAFC 系统业务逻辑关系及外部接口

①乘客通过浏览器或地铁 APP 查询地铁线网实时客流、地铁运营动态、地铁线网换乘、地铁资费、周边公交换乘和本地生活服务等信息。

②乘客通过车站终端设备买票、验票、检票、为储值票充值等。

③持储值票的乘客通过银行或第三方支付系统为储值票充值。

④CCC 通过电信专用网络与银行或第三方支付系统接口,进行数据交换、财务核对和资金清算等。

⑤CCC 监控 SLE 状态,下发运行命令、系统参数,接收 SLE 上传的数据等。SLE 接收 CCC 下发的运行命令、系统参数,并执行相关命令;将交易数据、设备操作数据、审计数据、日志数据、设备状态数据、客流数据、票卡库存数据、实时事件等数据上传到 CCC。

⑥票务人员、维修人员等根据权限操作 SLE。

⑦CCC 通过权限管理对系统人员进行统一管理,根据用户请求执行服务的开通与响应,能够自动监控并应对服务运行中出现的事件。票务人员通过 CAFC 桌面云或浏览器执行权限下的相关票务业务操作:上报票务数据、提交服务请求、查看服务请求的执行状态等。

⑧CCC 通过电信专用网络与公交系统清分中心接口,进行数据交换、收益核对、财务清分等。

4 CAFC 系统安全解决方案

CAFC 系统中通信节点众多、数据种类繁多、业务流程复杂、外部接口众多,需要建立一个标准、规范、完善的安全体系以确保系统的安全和稳定。CAFC 系统从硬件、软件、制度三方面构建安全管理体系。通过部署私有云确保系统的物理环境安全;通过设置冗余网络、防火墙和入侵监测系统确保系统的网络安全;通过数据备份、数据加密确保系统的数据安全;通过权限管理确保系统的应用安全。

1) 私有云 将 CAFC 云部署为私有云,即在地铁系统内部独立构建和使用的云环境,通过企业内部网在防火墙内以服务的形式向地铁内部用户提供。所有票务相关数据和信息都是在系统中完成计算和存储,以确保系统的安全。

2) 冗余网络系统 SLE 直接与 CCC 相连,为了保证数据传输的实时性、可靠性和高效性,将主干通信网络构建成为实时热备、无缝切换的自愈式冗余光纤双环网、对核心交换机和核心路由器进行冗余备份、采用 OSPF 动态路由协议加快网络收敛、通过光纤测试仪对链路进行定期测试。

3) 防火墙与 IDS 通过防火墙与银行系统、第三方支付系统和公共交通清分中心接口,检查数据包的来源和目的地址、按设定规则接收或拒收数据包、以限制外部网络对系统的非法访问和防止内部信息的外泄;设置 IDS 对网络系统进行监听,检测外部入侵和内部用户的非法活动,提供对内部攻击、外部攻击和误操作的实时保护。

4) 数据备份 系统的数据仅存储在 CCC,为了确保数据的安全性和完整性,采用数据库控制器实现数据的自动部署、实时备份、故障转移和设置负载均衡。

数据库控制器为主数据库实例在不同的物理故障域创建三个备份,当主数据库实例出现故障,控制器自动从三个备份中选择一个作为新的主数据库实例。备份形式包括全备份、增量备份和归档日志备份等。CAFC 系统数据存储、备份流程如图 6 所示。

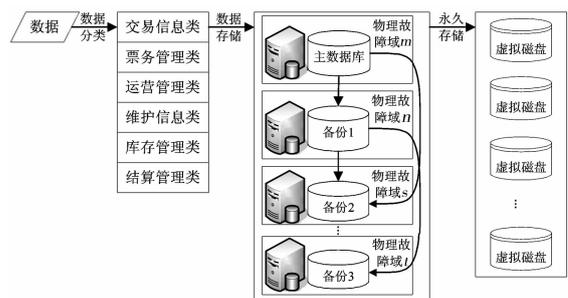


图 6 CAFC 系统数据存储、备份流程

5) PKI 采用 PKI 方案保护系统内部、系统与外部接口、系统之间数据传输的真实性、完整性、保密性和不可否认性。PKI 方案采用 PKCS #13 椭圆曲线密码标准,通过使用 ECC 非对称加密算法和 3DES 对称加密算法,确保数据加密/解密、数

字签名认证的安全性和快速性。PKI 的证书中心 (CA) 设置在 CCC, 由 CA 颁发的 PKI SAM 卡安装在每台 CAFC 设备上, 用以生成 ECC 密钥对并安全存放密钥、加密算法、CAFC 设备的数字证书和 CA 证书。CAFC 系统的 PKI 结构如图 7 所示。

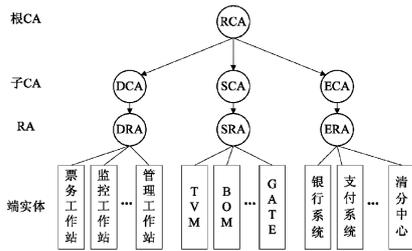


图 7 CAFC 系统 PKI 结构图

6) 权限管理 按照实际运营需求, 对系统用户进行权限划分, 严格控制身份的发放和回收。

5 结束语

本文在分析现有地铁自动售检票系统 (AFC 系统) 的基础上, 设计了基于云计算技术的地铁自动售检票系统 (CAFC 系统), 设计了系统的整体架构、物理拓扑结构、软件体系结构和云架构, 分析了系统的业务逻辑关系, 并给出了系统的安全解决方案。与既有 AFC 系统相比, CAFC 系统具有以下优势: 系统总体架构由五层精简为三层, 减少了系统容量、节省了能源消耗、降低了系统投资、提高了资源利用率; 系统容量的减少和桌面云的使用, 有效防止了非系统人员非法操作系统计算机或系统人员误操作系统计算机而造成系统故障或数据的丢失, 提高了系统的安全性; 数据备份方案、PKI 方案、防火墙和入侵检测系统的应用, 保障了系统的可靠性。现有的地铁 AFC 系统已经拥有规模庞大的 IT 基础设施, 只需要进行少量的投资, 将现有的资源进行整合升级, 就可以拥有云计算带来的灵活和高效, 而且符合目前倡导的低碳经济、绿色经济理念。

云计算技术的引入在一定程度上解决了现有 AFC 系统存在的问题, 但也引入了一些新的风险, 如何进行风险评估和风险控制, 成为进一步研究的方向。

参考文献:

[1] ZHAO Jin-hua, RAHBEE A, WILSON N. Estimating a rail passenger trip origin-destination matrix using automatic data collection systems

[J]. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2007, 22(5): 376-387.
 [2] BARRY J J, FREIMER R, SLAVIN H. Use of entry-only automatic fare collection data to estimate linked transit trips in New York city [J]. *Transportation Research Record*, 2009, 3(2112): 53-61.
 [3] JANG W. Travel time and transfer analysis using transit smart card data [J]. *Transportation Research Record*, 2010, 2(2144): 142-149.
 [4] McMULLAN A, MAJUMDAR A. Assessing the impact of travel path choice on London's rail network using an automatic fare collection system [J]. *Transportation Research Record*, 2012, 1(2274): 154-163.
 [5] FERNANDEZ P J, GUTIERREZ N, CARROZZO G, et al. Metro architectures enabling subwavelengths: rationale and technical challenges [C] // Proc of International Conference on Future Network and Mobile Summit. Washington DC: IEEE Computer Society, 2010: 1-8.
 [6] KISS K C. Benefits of optical packet switching for router by-pass in metro networks [C] // Proc of International Conference on Future Network and Mobile Summit. Washington DC: IEEE Computer Society, 2012: 1-8.
 [7] ARNAU V G, JORDI C R, M. MAGDALENA P C, et al. An electronic and secure automatic fare collection system with revocable anonymity for users [C] // Proc of the 8th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia. New York: Association for Computing Machinery, 2010: 387-392.
 [8] DING Shu-kui. Application research on multiple line center of AFC system for Beijing metro network [C] // Proc of International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. Washington DC: IEEE Computer Society, 2012: 22-25.
 [9] 陈楠, 李继铭. 南京地铁 AFC 系统管理方式的分析和研究 [J]. *铁路通信信号工程技术*, 2011, 8(6): 47-50.
 [10] 周晓. 上海轨道交通清分系统架构中应用云计算技术的探讨 [J]. *地下工程与隧道*, 2012(2): 53-56, 69.
 [11] GREENBERG A, HAMILTON J R, JAIN N, et al. VL2: a scalable and flexible data center network [C] // Proc of ACM SIGCOMM Conference on Data Communication. New York: Association for Computing Machinery, 2009: 51-62.
 [12] BASMADJIAN R, MEER H D, LENT R, et al. Cloud computing and its interest in saving energy: the use case of a private cloud [J]. *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Application*, 2012, 1(5): 1-25.

(上接第 479 页)

[4] 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.
 [5] 张云勇, 李素粉, 吴俊, 等. 面向云服务提供商的服务选择方法研究 [J]. *通信学报*, 2012, 33(9): 66-76.
 [6] 李伯虎, 张霖, 王时龙. 云制造——面向服务的网格化制造新模式 [J]. *计算机集成制造系统*, 2010, 16(1): 1-7.
 [7] 唐燕, 李健, 张吉辉. 面向再制造的闭环供应链云制造服务平台设计 [J]. *计算机集成制造系统*, 2012, 18(7): 1554-1562.
 [8] 张建勋, 古志民, 郑超. 云计算研究进展综述 [J]. *计算机应用研究*, 2010, 29(2): 429-433.
 [9] 罗军舟, 金嘉晖, 宋爱波, 等. 云计算: 体系架构与关键技术 [J]. *通信学报*, 2011, 32(7): 3-21.
 [10] YANG S, SHAO N. Enhancing pervasive Web accessibility with rule-based adaptation strategy [J]. *Expert Systems with Applications*, 2007, 32(4): 1154-1167.
 [11] 潘旭伟, 李泽彪, 祝锡永, 等. 自适应个性化信息服务: 基于情境

感知和本体的方法 [J]. *中国图书馆学报*, 2009, 35(11): 41-48.
 [12] 洪琼, 张浩. 基于情境感知的物流园区供应链智能信息推送服务研究 [J]. *现代情报*, 2013, 33(5): 112-115.
 [13] 王少一, 苏绣, 蒋许锋. 基于上下文感知的地理信息服务发现与匹配技术研究 [J]. *地理信息世界*, 2012(1): 72-75.
 [14] 林志贵, 徐立中, 周金陵. 给予修改模型的冲突证据组合方法 [J]. *上海交通大学学报*, 2006, 40(11): 1964-1970.
 [15] 郭树行, 兰雨晴, 金茂忠, 等. 基于情境相似性的知识检索技术 [J]. *计算机集成制造系统*, 2008, 14(12): 2473-2482.
 [16] GARLAN D, SIEIORKE D, SMAILAGIC A, et al. Project aura: towards distraction-free pervasive computing [J]. *IEEE Pervasive Computing*, 2002, 1(2): 22-31.
 [17] 周莉, 潘旭伟, 谢玉开. 情境感知的电子商务个性化商品信息服务 [J]. *图书馆情报工作*, 2011, 55(10): 130-134.
 [18] 中国物流与采购联合会. 中国物流学会第三次全国物流园区 (基地) 调查报告 (节选) [J]. *中国物流与采购*, 2012(18): 60-65.