

基于双活架构的城市轨道交通自动售检票系统设计

顾 洋^{1,2} 陈青云²

(1. 东南大学土木工程学院, 210096, 南京; 2. 绍兴市轨道交通集团有限公司, 312000, 绍兴//第一作者, 工程师)

摘 要 阐述了新形势下轨道交通自动售检票(AFC)系统实际应用需求。通过分析传统 AFC 系统架构中存在的问题以及各城市在传统架构基础上所做的实际优化应用案例,提出了基于双活架构的轨道交通 AFC 系统体系架构。分析了该体系架构下 ACLC 的系统功能及异常场景的切换。重点分析了负载均衡技术、分布式缓存集群技术、数据同步技术以及云平台技术等 AFC 系统双活架构关键技术。

关键词 城市轨道交通; 自动售检票系统; 双活架构; 负载均衡

中图分类号 U293.2⁺21

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.10.029

Design of AFC System for Urban Rail Transit Based on Dual Active Architecture

GU Yang, CHEN Qingyun

Abstract The practical application requirements of automatic fare collection (AFC) system for rail transit under the new situation are expounded. By analyzing the problems in traditional AFC system architecture and the actual optimization application in Chinese cities based on the traditional architecture, an architecture of rail transit AFC system based on dual active architecture is proposed, the system function of ACLC (adaptive communication line controller) and the switching of abnormal scenarios in the dual active architecture are analyzed. Finally, the key technologies of AFC system dual active architecture, such as load balancing technology, distributed cache cluster technology, data synchronization technology and cloud platform technology are analyzed emphatically.

Key words urban rail transit system; AFC system; dual active architecture; load balance

First-author's address School of Civil Engineering, Southeast University, 210096, Nanjing, China

随着城市轨道交通网络化、信息技术的发展以及新的业务需求,传统城市轨道交通自动售检票(AFC)系统架构在资源利用、建设投资、维护管理、系统改造和扩容,以及不同运营商所辖线路互联互

通等方面存在越来越多的问题^[1];并且,由于日益增多的新型在线支付方式的需求,AFC 系统逐渐对在线服务的可靠性变得越来越迫切。因此,有必要对新形势下 AFC 系统的架构开展进一步的研究。

本文在分析现有 AFC 架构的基础上,提出了一种利用负载均衡技术、分布式缓存集群技术及数据同步技术,构建基于双活架构的 AFC 系统。该系统通过主、副中心同时运行,保障了 AFC 系统的可靠性、稳定性和在线业务处理的连续性;同时利用云平台技术大大提高了整个 AFC 系统的硬件资源利用率,便于后续线路的接入和系统扩容,为城市轨道交通 AFC 系统的结构优化提供新的思路。

1 城市轨道交通现有 AFC 系统架构分析

1.1 传统架构

目前,沿用近几十年的传统 AFC 系统架构分为 5 层,从上到下依次为自动售检票清分中心(ACC)、线路中心(LC)、车站中心(SC)、车站终端设备(SLE)及车票,其中 ACC 采用主备中心,设置异地容灾系统。这种架构层次分明、各层相互独立,但系统臃肿、投资成本大、资源利用率低、维护管理成本高、系统改造扩容均存在较大的难度^[2]。灾备中心的设置是为了保障 AFC 系统的足够安全,但由于主中心均采用双主机双网,对于单点故障或绝大部分交叉多点故障,AFC 系统均可以在主中心内部进行切换而不影响业务连续运行,故备中心在大多数情况下均难以启用,使得硬件资源存在较大的浪费,且正常情况下备中心并未在线运行,一旦主中心出现完全故障,系统能否快速自动切换至备中心,不仅对系统提出了较高的要求,对运营维护管理也是一个较大的挑战^[3]。

1.2 区域线路中心架构

为了解决传统 AFC 架构下存在建设和运营维护成本高等一系列问题,南京地铁提出了区域线路中心(ZLC)的建设及运营管理模式^[4-7],代替了传

统架构下每条线路均单独设置 LC 的方案。以区域为建设 and 运营管理的一个单位,以城市轨道交通某几条线路或某几条线路中的某些车站为一个区域的集合。该区域线路中心模式能够统一线路中心建设和运营维护的标准,提高了运营管理和维护的效率,降低了多线建设成本,实现了 ZLC 内各站集中管理和统一协调。为了保障线路服务的便利性和数据的安全性,南京地铁 AFC 系统 ZLC 采用应用和数据分离的形式。目前建设的 4 个 ZLC,应用系统互为灾备,大大增强了 ZLC 的安全性,但一定程度上也增加了应用系统的复杂性;同时,在每条线路所属的控制中心均设置数据节点和相应备份节点存储该线路所有车站数据,在每个 ZLC 设置数据节点存储所管辖区域内各车站的相关数据,这在一定程度上也造成了数据存储的交叠多重备份,增加了存储系统的复杂性。另外,由于历史原因,南京地铁在引入 ZLC 后,线网中仍存在 LC,如何界定 ZLC 与 ACC、LC 与 ZLC、LC 与 ACC 的功能定位,这仍是亟待解决的问题。

1.3 多线路中心架构

同样,为了解决 AFC 系统 LC 资源的共享,以及网络化运营需求下各种与外部系统接口及互联互通等实际问题,北京地铁在国内率先提出建设多线共用线路中心(MLC)^[8]。通过取消每条线路 AFC 系统的 LC,利用各条线路汇聚节点将各条线路数据统一上传至 MLC 系统,由 MLC 系统统一作为多线共用的线路管理中心接受 ACC 指令,并向 ACC 上传各类数据。该 MLC 系统由主中心和灾备中心组成,分设在不同的地点。灾备中心满足 3 条线路的 LC 系统的备份,在生产系统遇到异常情况需启动灾备系统时,可以在 30 min 内完成切换,保证数据的完整性^[9]。通过实际应用了解到,MLC 系统统一了北京地铁线网内 AFC 系统的接口技术标准和规范,具有大容量的数据处理及存储能力,同时 MLC 系统具有较高的可靠性。但由于 AFC 系统仍与传统 AFC 系统 5 层架构保持了较高的一致性,该系统仍存在一定臃肿和功能的重叠。另外,灾备中心在 30 min 内的切换时间难以满足异常情况下的在线业务的实时性、连续性处理要求。

2 双活系统架构

为了解决传统 AFC 系统架构存在的一系列问题,在总结全国各地成功探索经验的基础上,提出了

基于双活架构的城市轨道交通 AFC 系统。在 SC 及以下层级结构保持不变的情况下,将 MLC 与 ACC 进行合并,设置 AFC 清分及多线路中心(ACLC),同时设置主、副中心双活架构,主、副中心通过冗余光纤进行直连,双方既相互独立,又彼此互补。通过双中心同时运行的机制,可确保业务不中断与数据不丢失,大大增加了硬件资源的利用率。双活架构的 AFC 系统内网结构示意图如图 1 所示。

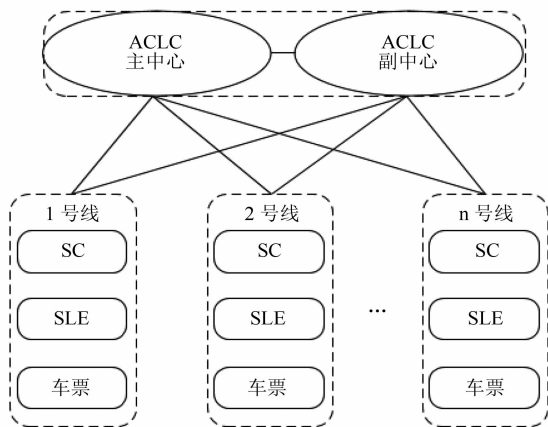


图 1 AFC 系统双活内网结构示意图

由图 1 可知,每条线路上的 SC 通过汇聚节点同时接入主、副中心,并通过预先设定好的负载均衡策略合理地将每个链接快速地分配到不同中心,故正常情况下,不同的线路业务运行分布在不同的中心,并且在其中一个中心发生故障时,可以实现快速的切换。主、副中心切换对用户而言是透明的。主、副中心的内部数据和服务能力保持一致,网络架构和业务系统保持一致,对外服务提供统一的数据接口。ACLC 双活应用示意如图 2 所示。

各线路业务和互联网业务在接入层均可通过 GSLB(全局负载均衡)实现对主、副中心访问流量的合理分配;应用层通过 SLB(应用负载均衡)实现各中心内部访问流量的合理分配;在主、副中心应用层布置分布式缓存集群,减轻数据库负载压力,最大程度地提升 AFC 系统响应速度,提高系统性能;在存储层布置数据同步技术,实现主、副中心存储数据的一致性。同时实现任意节点故障情况下对主、副中心访问的切换。以主中心为例,主要包括以下几种故障场景的切换:

1) 应用层故障场景。当主中心应用层出现故障时,可通过负载均衡策略将原有对主中心应用层的访问切换到副中心对应的应用层上,确保业务访问的连续性;

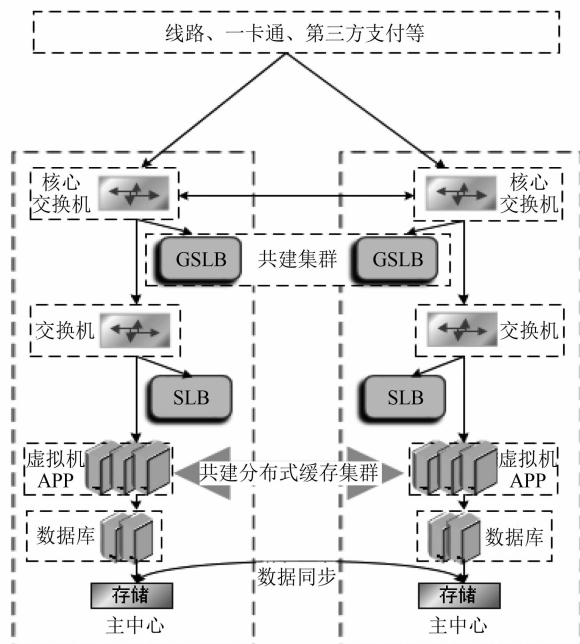


图2 ACLC 双活应用示意图

2) 数据层故障场景。当主中心数据库出现故障时,通过数据同步技术将原有对主中心数据库的访问自动切换到副中心对应的数据库,确保业务访问的连续性;

3) 存储层故障场景。当主中心存储层出现故障时,主中心的数据库和应用层都将受到影响,通过负载均衡在应用层进行切换,将原先对主中心应用层的访问自动切换到副中心对应的应用层,确保业务访问的连续性。当主中心的存储层故障解决后,通过副中心将数据反向同步至主中心,确保主、副中心存储数据的一致性。

3 关键技术

为了实现 ACLC 系统的双活应用,利用负载均衡技术确保业务接入在主、副中心间的可配置、可切换;利用分布式缓存集群技术实现业务的连续性和数据的完整性,保障在线业务的可靠性;利用数据同步技术实现主、副中心业务数据的一致性,确保数据不丢失。同时,利用云平台技术实现硬件资源统一管理和合理动态分配,提高硬件资源的利用率,并在可预见的将来为 ACLC 系统预留可扩展的能力。

3.1 负载均衡技术

负载均衡分为 GSLB 和 SLB,如图 2 所示。其中,GSLB 负责主、副中心之间访问流量的合理分配,SLB 负责主、副中心内部网络中多个虚拟机之

间访问流量的合理分配。

3.1.1 GSLB

ACLC 对外业务分为外网业务(互联网或专线)和内网业务(线路)。外网业务的 GSLB 通过 DNS(域名系统)解析来实现业务分别在主、副中心的配置,客户端访问业务系统时,先由 DNS 将域名解析为 IP 地址,然后再访问该目标 IP 地址。其可根据用户地理位置、用户所属运营商和网络质量、各中心的服务能力等因素作为判断依据,为不同用户返回不同的 IP 地址,实现流量的合理分配。内网业务的 GSLB 一部分与外网业务相同,通过 DNS 解析实现。另一部分直接通过 IP 地址访问,通过在两个数据中心以相同 IP 发布业务,由动态路由协议根据 COST 值等参数判断用户访问的最佳路径。

GSLB 设备以集群的方式分别部署在主、副中心,不同的业务系统由不同的负载均衡设备承载,解决了应用集中的风险,同时提供了灵活的应用部署和无缝的业务切换。

3.1.2 SLB

由图 2 所示,主、副中心各两台 SLB 设备以单臂方式分别接入各自网络中,在实现流量负载均衡的同时,不改变原有网络结构。以主中心为例,应用负载均衡通过打包跨越多个真实服务器的虚拟服务器,对外发布一个虚拟服务 IP。当客户通过访问虚拟 IP 发出服务请求到 SLB 设备时,通过预先设定好的负载均衡算法,将数据包中目的 IP 地址转换为选中的后台服务器 IP 地址,然后将数据包发送到该 IP 地址对应的后台服务器,通过服务器处理后将应答包按照路由信息发回 SLB 设备,SLB 设备将源地址改回虚拟 IP 地址并发回客户端,由此完成一次完整的 SLB。同时 SLB 可实时监测服务器的健康状态,一旦发现服务器发生故障,则立即将其从负载均衡组中移除,并实现业务的快速切换。

3.2 分布式缓存集群技术

分布式缓存集群技术作为双中心架构的核心组成部分,通过应用层跨越主、副中心部署分布式缓存集群软件,利用数据分片原理将数据集有机地分割成多个片,并将这些分片的数据通过 hash 算法指派给多个不同的缓存集群节点,每个节点只保存总数据集的一个子集和与所有节点之间的关系数据,所有相互关联的节点及访问客户端共同构成了分布式缓存集群架构。在以负载均衡策略降低单个数据中心负载的情况下,通过客户端对节点的

直接访问,有效提高了系统的读写效率,保障了在线业务的实时性要求,提升了系统的性能和可用性。同时,集群还具有主从同步功能,通过在跨越主、副中心及同一中心的不同物理设备中部署一个主节点和多个从节点,可以确保在主、副中心任意一台物理设备故障或任意一数据中心故障时,其他数据中心业务可以继续提供服务,保证了系统业务的连续性和可用性。

针对数据量大,业务处理复杂及安全性较高的 ACLC 系统,还需利用多台计算机内存扩展单机的内存容量支持更大的数据库,通过多核计算机集群扩展计算能力,以及通过多台计算机和网络适配器扩展网络带宽等强大的硬件支撑,从而最终为 ACLC 系统在线业务数据连续性、实时性、安全性以及可靠性提供有效的支撑。

3.3 数据同步技术

为了保障不同地点的主、副中心数据存储的一致性,采用基于数据库复制技术的数据同步技术很好地解决了该问题。该技术通过连续监控源系统数据库日志文件来收集发生变化的数据,从操作系统角度完成对数据库在线日志文件和归档日志文件的读取,通过解析日志文件将发生改变的数据处理后立即发送至目标系统,应用进程将目标系统收到的信息转化为 SQL 语句,发送给目标系统数据库

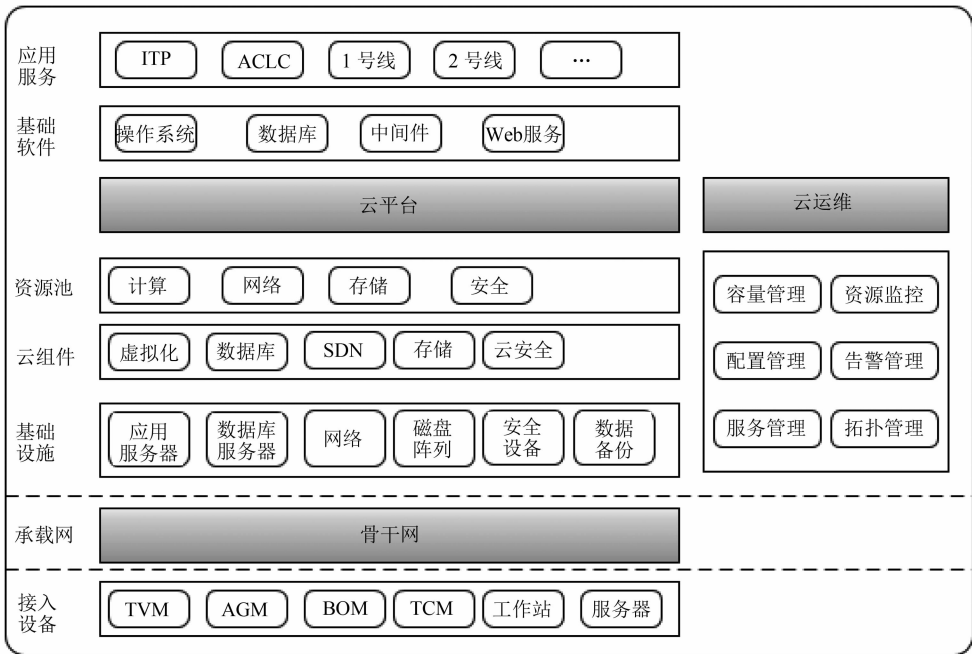
执行,实现源系统与目标系统数据库的一致性。数据捕获进程具有如下特点:

- 1) 捕获进程从数据库日志文件中读取信息,因此复制过程不会给生产数据库实例带来性能问题;
- 2) 只有发生改变的数据被传输,而非日志文件中的全部信息,因此数据库复制对网络的负载影响非常小;
- 3) 尽管需要在数据库中安装少量的对象用来存储有关复制的一些基本信息,但源数据库不需要参与到数据捕获和传输过程中,使得源数据库的在线运行不受影响。

数据库复制技术是数据同步技术的一种典型应用,它是基于 TCP(传输控制协议)/IP 协议的网络环境中完成源系统和目标系统之间的数据传输,其实现精确复制的一个重要原因是其能够保证从源数据库到目标数据库的数据库读一致性,不但按顺序复制事务,而且也复制上下文信息,将数据库中发生变化的全部事务信息都复制到目标数据库中。数据库复制技术在提供数据库容灾安全保障的基础上,还可以为报表和查询业务提供数据源,分担生产系统的压力,是保障系统性能和数据安全的有效解决方案。

3.4 云平台技术

ACLC 云平台总体逻辑拓扑如图 3 所示。



注: TVM 代表自动售票机; AGM 代表自动检票机; BOM 代表半自动售票机; TCM 代表自动验票机; ITP 代表互联网票务平台; SDN 代表软件定义网络

图 3 ACLC 云平台整体逻辑拓扑图

为了实现 ACLC 系统的计算、存储,以及网络资源的按需分配、统一管理和集中检测,提高整个系统资源的利用率,便于资源的快速部署和扩展,分别在主、副中心部署云计算资源池,存储资源池、网络资源池等。ACLC 应用的系统业务及互联网业务均承载在共享资源池上,并设置统一云管理平台管理本系统的各类 IT 资源,还可以在未来平滑融合扩展新线路。

ACLC 云平台遵循面向业务需求的设计思路,基于 AFC 系统的业务特点,采用云计算资源池的设计方法,实现 IT 基础架构模块与业务模块松耦合以及资源池模块化交付和横向扩展。通过 ACLC 云平台保证资源的快速交付和统一管理,支撑业务快速上线、融合运营、统一运维。

4 结语

随着城市轨道交通网络化运营和新业务应用需求的不断涌现,持续优化 AFC 系统架构从而不断解决传统架构的弊端和应对新形势下新业务的需求已成为各地不断探索的方向。本文通过项目实际应用,提出了基于双活架构的 AFC 系统体系架

构,并详细分析了实现双活架构所采用的关键技术,以期行业的发展提供借鉴。

参考文献

- [1] 胡冬.城市轨道交通 AFC 区域中心系统设计[D].南京:东南大学,2015.
- [2] 陈青云,顾洋.基于集中式管理体系结构的轨道交通自动售检票系统[J].都市轨道交通,2017(2): 94.
- [3] 朱嘉斌,黄问遂.地铁清分中心灾备系统设计[J].都市轨道交通,2011(6): 92.
- [4] 黎庆,张宁,徐钟全,等.城市轨道交通自动售检票系统区域中心总体设计[J].城市轨道交通研究,2015(8): 71.
- [5] 吴娟,徐钟全,毛建.南京地铁 AFC 区域线路中心的规划设计[J].铁路通信信号工程技术,2012,9(5): 63.
- [6] 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(6): 47.
- [7] 王健,张宁,黄亮,等.南京地铁 AFC 系统网络化建设思路和再思考[J].都市轨道交通,2011(1): 69.
- [8] 李道全,赵华伟.多线共用 AFC 系统线路中心设计探头[J].都市轨道交通,2012(5): 71.
- [9] 王浩,刘旭,杨霏霏.北京市轨道交通自动售检票系统多线共用线路中心的设计与实现[J].铁路计算机系统,2013(3): 60.

(收稿日期:2019-11-22)

(上接第 118 页)

的方式,保证数据使用者能够在查看大量数据的同时,可以更直观地看到数据之间的相关性。

5 结语

利用大数据平台分析客流数据已成为各城市轨道交通指挥中心的必备功能。青岛地铁 MMCC 是国内首个成功应用 Hadoop 开源大数据平台的案例。MMCC 大数据平台不仅建设成本低,而且能够更为灵活高效地实现客流分析的所有功能,包括进出站客流、OD 客流、周转量、换乘量、去路/乘距、负荷强度、客流不均衡度等。MMCC 大数据平台能够挖掘出乘客、车站、列车、区间、电扶梯等画像,为研究客流数据和乘客出行规律提供了新的视角,为设备维修维护提供了数据支撑,为其他城市的轨道交通指挥中心建设提供了借鉴。

参考文献

- [1] 张啟梅,廖玉梅,任永成,等.基于大数据下的旅客流量分析[J].数据挖掘,2017(1): 26.
- [2] 蔡昌俊,姚恩建,王梅英,等.基于乘积 ARIMA 模型的城市轨道交通进出站客流量预测[J].北京交通大学学报,2014(2): 135.
- [3] 卢恺,韩宝明,鲁放.城市轨道交通运营客流数据分析缺陷及应对[J].都市轨道交通,2014(4): 25.
- [4] 段卫静,陈艳艳,赖见辉.北京地铁 4 号线客流特征分析[J].都市轨道交通,2013(4): 43.
- [5] 吴志强,黄天印,颜彦文,等.基于大数据的城市轨道交通运营故障影响分析系统对客流影响的分析[J].城市轨道交通研究,2019(4): 31.
- [6] 刘彦君.基于 AFC 和列车时刻表的城轨乘客时空扩展出行路径匹配[D].北京:北京交通大学,2016.
- [7] 李伟,周峰,朱炜,等.轨道交通网络客流大数据可视化研究[J].中国铁路,2015(2): 94.

(收稿日期:2019-11-06)