

基于 TD-LTE 的轨道交通集群调度系统

季一木^{1,2,3}, 柴博周¹, 杨罗坤¹, 朱瞳晖¹, 李文峰⁴

(1. 南京邮电大学 计算机学院, 南京 210023; 2. 深圳大学 广东省普及型高性能计算机重点实验室, 广东 深圳 518060;

3. 南京理工大学 高维信息智能感知与系统教育部重点实验室, 南京 210094;

4. 江苏省城市轨道交通研究设计院股份有限公司, 南京 211800)

摘 要: 传统轨道交通集群调度服务系统的峰值通信速率较低, 无法实现日常调度工作中的高频次语音通信和基本视频通信。为此, 采用 4G TD-LTE 技术、数据库连接池优化机制和 I/O 完成端口策略, 设计一种新型调度服务系统。仿真测试结果表明, 该系统能有效降低通信时延, 提高并发量, 可满足大容量、高速率、多媒体的现代轨道交通集群通信网络调度需求。

关键词: 分时长期演进技术; 集群调度; 并发量; I/O 完成端口; 数据库连接池

中文引用格式: 季一木, 柴博周, 杨罗坤, 等. 基于 TD-LTE 的轨道交通集群调度系统[J]. 计算机工程, 2017, 43(6): 296-300.

英文引用格式: Ji Yimu, Chai Bozhou, Yang Luokun, et al. Rail Transit Clusters Dispatching System Based on TD-LTE[J]. Computer Engineering, 2017, 43(6): 296-300.

Rail Transit Clusters Dispatching System Based on TD-LTE

Ji Yimu^{1,2,3}, CHAI Bozhou¹, YANG Luokun¹, ZHU Tonghui¹, LI Wenfeng⁴

(1. College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China;

2. Guangdong Key Laboratory of Popular High Performance Computers, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China;

3. Key Laboratory of Intelligent Perception and Systems for High-dimensional Information of Ministry of Education, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

4. Jiangsu Urban Rail Transit Research and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 211800, China)

【Abstract】 The traditional rail transit cluster dispatching service system has low peak communication rate and cannot realize the high-frequency voice communication and basic video communication in the daily dispatching. Aiming at this problem, this paper designs a new dispatching system which uses the technology of 4G Time Division Long Term Evolution (TD-LTE), optimized mechanism of database connection pool and the strategy of I/O Completion Port (IOCP). Simulation results show that this system can effectively reduce communication delay and improve concurrency. It can meet the dispatching needs of large capacity, high rate and multimedia demand of modern rail cluster communication network.

【Key words】 Time Division Long Term Evolution (TD-LTE) technology; cluster dispatching; concurrency; I/O Completion Port (IOCP); database connection pool

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.06.048

0 概述

传统的轨道交通集群调度服务系统采用基于 TETRA 体制的第二代窄带数字集群通信系统^[1]。在理想情况下, 该系统的峰值通信速率仅为 518 kb/s^[2], 无法满足轨道交通调度人员在日常调度工作中高频次的语音通信和基本的视频通信的需求^[3]。而面向分时长期演进 (Time Division Long Term Evolution,

TD-LTE) 技术在拥有较高峰值通信速率的基础上^[4], 能为列车自动监控 (Automatic Train Supervision, ATS) 及时钟信息的接收和传输提供唯一的通道, 从而保障调度系统的实时调度及整个集群通信系统的时间统一^[5]。因此, 本文提出一种基于 TD-LTE 的轨道交通集群调度服务系统。该系统采用基于 4G 技术的 TD-LTE 机制, 可满足大容量、高速率、多媒体的现代集群通信网络的需求^[6]。此外, 本文系统采用优化

基金项目: 江苏省自然科学基金青年基金 (BK2013876); 广东省普及型高性能计算机重点实验室开放基金 (SZU-GDPHCL2014); 江苏省城市轨道交通研究设计院股份有限公司项目 (JSUMT-JY-00-1512)。

作者简介: 季一木 (1978—), 男, 教授、博士, 主研方向为云计算、大数据、移动互联网; 柴博周、杨罗坤、朱瞳晖, 硕士; 李文峰, 工程师。

收稿日期: 2016-04-19 **修回日期:** 2016-06-21 **E-mail:** jiyim@njupt.edu.cn

的数据库连接池技术,合理分配、回收数据库连接资源,提升资源利用率^[7],同时通过 IOCP 技术实现服务器的高并发访问^[8]。

1 集群调度系统架构

基于 TD-LTE 的轨道交通集群调度服务系统是无线宽带集群系统中重要的分系统之一,负责内外系统的连接以及调度系统与本系统的数据配备管理。该系统主要包括系统管理、用户管理、设置、查询、基础数据管理、ATS 信息管理、时钟信息管理、链路管理和调度台请求信息处理功能。

1.1 接口设计

1.1.1 物理接口

为保障数据的实时性、可靠性以及安全性,系统与时钟系统、ATS 系统均使用一路 RS232 串行接口连接;系统与调度台、集中网管采用 RJ45 网络接口连接;由于固定台、车载台的移动性和数量的不确定性,系统与固定台、车载台采用基于 TD-LTE 的无线通信技术。系统物理接口如图 1 所示。



图 1 系统物理接口

1.1.2 软件接口

系统软件接口如图 2 所示。本文系统通过时钟系统的时间信息接口获取实时时钟信息,并与其他子系统的时钟信息接口实现整个集群的时间同步;通过 ATS 系统的信息接口获取实时数据流,并通过固定台、调度台的信息接口转发 ATS 信息。

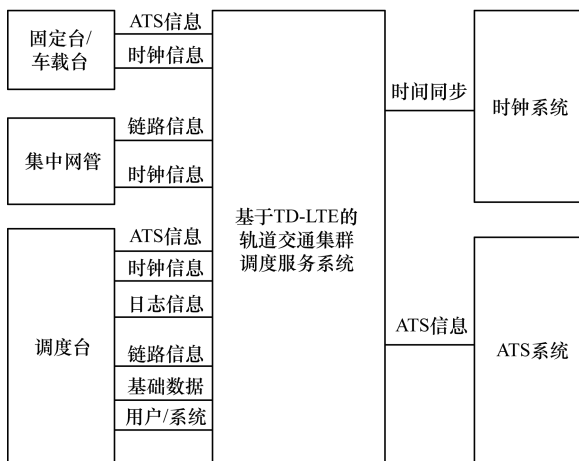


图 2 系统软件接口

1.2 模块划分

根据集群调度系统功能,可将其划分为 10 个模块:系统管理模块,用户管理模块,ATS 信息处理模块,时钟同步模块,调度台请求信息处理模块,查询模块,基础数据管理模块,数据备份模块,设置模块,链路状态管理模块。各个模块实现的具体功能如下:

1) 系统管理模块,负责调度台用户和集群调度系统用户的登录鉴权和退出管理,根据不同的用户判定本次登录、退出的合法性,并记录其登录、退出日志。此外,系统管理模块还负责调度台用户和集群调度系统用户的修改密码工作,并记录其操作日志。

2) 用户管理模块,进行调度台用户管理和集群调度用户管理,实现对调度台用户和集群调度用户的权限管理、账户安全性管理以及对账户信息基本的增、删、改、查操作。其中,集群调度用户分为普通操作员和系统管理员;调度台用户分为行车调度台用户、环控调度台用户、维修调度台用户和停车场调度台用户。不同类型的用户拥有不同级别的操作权限。

3) ATS 信息处理模块,通过一路 RS232 串行接口从 ATS 系统中获取当前列车运行所产生的实时 ATS 信息,并对该信息进行解析处理,解析后的 ATS 信息通过 RJ45 网络接口以 UDP 广播的方式发送至行车调度台、环控调度台、维修调度台、停车场调度台。与此同时,为保证 ATS 数据的可靠性,集群调度系统需要将实时接收的 ATS 数据存储至数据库,以便 ATS 数据发生丢失时追回。此外,由于列车运行过程中将会实时产生大量的 ATS 数据,因此 ATS 信息处理模块设计有 ATS 数据规模监控进程,实时监控数据库中 ATS 信息表的数据量。当 ATS 表中数据量达到预设的峰值时,监控进程会将数据表中 60% 的闲置数据转移至历史 ATS 信息表,以便在 ATS 数据发生丢失时提高系统对 ATS 信息的追回速率。

4) 时钟同步模块,负责通过一路 RS232 串行接口从时钟系统中获取时钟信息,并对该信息进行解析处理,解析后的时钟信息将通过 RJ45 网络接口以 UDP 广播的方式发送至行车调度台、环控调度台、维修调度台、停车场调度台、集中网管、固定台和车载台。为保证时钟信息的实时性,所有子系统均设有校准误差值。子系统收到时钟信息后,首先计算该时间与本机时间的误差。若误差在校准误差内,则认为本机时间有效,将当前接收的时钟信息简单丢弃即可;若误差在校准误差外,则须再次向集群调度系统请求时钟信息,并计算该时间与本机时间的误差。若该误差仍然在校准误差值外,则认为本机时间失效,须更新本机时间;若该误差在校准误差内,则视为本机时间有效,将两次接收的时钟信息简单丢弃即可。

5) 调度台请求信息处理模块,负责接收行车调度台、环控调度台、维修调度台、停车场调度台的请求信息,针对不同的请求内容作出相应的处理,并返回处理的结果。调度台的请求类型如下:调度用户登录请求,调度用户退出请求,调度用户修改账户密码请求,获取基础数据请求,链路状态请求,时钟信息请求,ATS 信息请求等。

6) 查询模块,负责对调度台用户和集群调度用户所产生的操作日志查询、短信查询。其中,操作日志查询支持按日志生成时间查询、按操作日志内容查询、按用户 ID 查询、按用户名查询、按用户类型查询;短信查询支持按短信发送方查询、按短信接收方查询、按短信内容查询、按短信发送时间和接收时间查询。

7) 基础数据管理模块,负责对系统使用的车次对照表、车站对照表、车站信息、通话组及预定义短信等基础数据进行管理。此外,当基础数据发生修改时,基础数据管理模块需要将数据发送至行车调度台、环控调度台、维修调度台、停车场调度台,以便调度台与集群调度系统保持基础数据的一致性。

8) 数据备份模块,包括手动备份与自动备份。在手动备份模式下,数据将会立即备份至指定目录下;在自动备份模式下,数据备份模块将会按照设定的时间周期性地数据备份至指定目录下。

9) 设置模块,用于设置系统运行中需要使用的一些参数,包括串口参数设置、连接超时和网络设置、数据库设置、链路监测时间设置、连接状态发送间隔设置。

10) 链路状态管理模块,负责实时监测集群调度系统与其他系统的连接状态。其他系统包含调度台分系统、车载台分系统、固定台分系统和集中网管分系统。其中,调度台分系统又包括行车调度台、维修调度台、停车场调度台和环控调度台。

2 集群调度系统关键技术及性能分析

集群调度系统采用 C/S 架构,其服务端作为轨道交通集群通信系统的核心枢纽,一方面需要承载来自调度台、集中网管、车载台、固定台、时钟系统、ATS 系统每秒数千次请求的压力,另一方面需要承载集群调度系统客户端的每秒数万次请求的压力。因此,集群调度系统服务端使用 IOCP 技术实现服务器的高并发访问。此外,由于集群调度系统客户端需要请求数据库服务器,因此在客户端采用优化的数据库连接池提升数据库响应速度。

2.1 数据库连接池的设计与优化

最小连接数和最大连接数是数据库连接池技术的 2 项重要参数。传统的数据库连接池为每个客户端分配相同的最小连接数和最大连接数。但由于不

同用户使用习惯的差异,导致不同用户在使用客户端时对数据库服务器的请求频率也存在差异,若所有客户端的数据库连接池均使用相同的参数,则整个系统在数据库处理方面无法达到最优的性能。因此,本文系统的数据库连接池采用实时生成的动态参数技术,以提升数据库操作的性能^[8]。

每个客户端在运行过程中产生的数据会实时发送至服务器,服务器根据每个客户端连接池的负载情况以及整个数据库服务器的负载情况计算出每个客户端的最大连接数和最小连接数,并发送至各个客户端。客户端根据最新的最小连接数和最大连接数分配数据库连接。采用此方式能够保证整个集群调度系统在数据库处理方面的最优性能。此外,由于每个用户均有一定的使用习惯,用户经过一段时间的使用后,服务器能够更为精准地计算出每个客户端中数据库连接池的各项参数。

2.1.1 参数定义

为进一步阐述本文系统所使用的连接池技术,定义以下相关参数:

1) 最大连接数:客户端中连接池所能分配的连接数的上限。

2) 最小连接数:客户端中连接池至少要分配的连接资源的数量(即客户端初始化时分配的连接资源的数量)。

3) 连接请求超时时间:客户端进程向连接池请求连接资源时等待的最长时间。

4) 连接过期时间:是连接回收进程判断是否强制收回一个已被分配的连接资源的依据。

5) 连接请求失败率:单位时间内请求连接资源失败的次数与请求连接资源的总次数之比。

6) 连接资源利用率:当前已分配连接资源数与系统中总连接资源数之比。

7) 数据库连接总数:在不影响数据库操作效率的前提下,数据库能够分配的最大连接数。

2.1.2 连接资源管理

集群调度系统采用 C/S 架构,每个客户端均拥有一个独立的数据库连接池以管理本客户端的数据库连接服务。客户端初始化时,数据库连接池按最小连接数创建连接。当系统需要进行数据库操作时首先向数据库连接池请求连接。若连接池中存在空闲连接,则分配给请求进程,请求进程处理完数据库操作后将连接归还至连接池。若进程请求连接时连接池中无空闲连接,则连接池判断当前已分配的连接数是否达到预设的最大连接数。若尚未达到最大连接数则创建一个新的连接并分配给请求进程。若已达到最大连接数,则请求进程须等待一定时间(连接请求超时时间)。若超过该时间,则连接获取

失败。若在连接请求超时时间内有其他进程归还连接,则将该连接分配给等待请求的进程^[9]。

此外,为保证链接资源的高效利用,还应创建一条额外线程,用于监控当前已分配连接的活跃度。若超过预设时间某一连接仍然没有数据交互,则连接池将强制收回该条连接,避免某一个已完成数据库操作的进程过长时间占据连接,从而提高连接利用率。

2.1.3 传统数据库连接池的弊端

上述连接池管理技术存在性能缺陷,无法进一步提高整个集群调度系统的数据库操作效率。

在集群调度系统的实际使用中,由于每个集群调度用户在使用习惯上的差异性,导致了每个客户端的数据库操作频率的差异性,若每个客户端均使用相同的连接池参数,则整个集群调度系统在数据库处理方面无法达到最优性能。因此,为进一步提升整个集群调度系统的数据库操作效率,可根据每个客户端数据库操作频率的不同,动态地、实时地为每个客户端计算最优化的连接池参数。

2.1.4 数据库连接池的优化方案

为实现实时、动态地生成每个客户端的连接池参数,需要使用一个服务器作为调度中心,系统结构如图 3 所示。

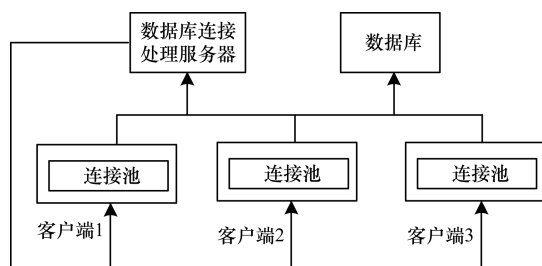


图 3 数据库连接池优化方案

当客户端初始化时,数据库连接调度服务器为该客户端分配一套默认的数据库连接参数(包括最小连接数、最大连接数),客户端的连接池基于此套参数进行初始化设置,按最小连接数创建相应的连接资源^[10]。

在客户端运行的过程中,需要实时计算本客户端的连接资源利用率和连接请求失败率,并将其发送至数据库连接调度服务器。数据库连接调度服务器实时记录所有客户端发来的数据,并基于这些数据为每个客户端计算出最小连接数和最大连接数。与此同时,数据库连接调度服务器中还有一条额外进程,用以计算在不影响数据库处理性能的前提下数据库能分配总连接数的最大值^[11]。当数据库连接调度服务器感知到某些客户端连接请求失败率过高时,需要剥夺连接请求失败率较低的客户端的最小连接数和最大连接数,并将这一部分连接资源分配给连接请求失败率较高的客户端,从而达到负载均衡。此外,若超

过 80% 的客户端均出现连接请求失败率过高的情况,则数据库连接调度服务器需要在不超过数据库最大连接数的前提下增加整个系统的连接数,从而降低整个系统的连接请求失败率^[12]。

2.2 基于 IOCP 的高并发 TCP 服务器实现

集群调度系统的服务器一方面要承载来自调度台、集中网管、车载台、固定台每秒数千次的服务请求;另一方面需要承载集群调度系统客户端每秒上万次的服务请求。客户端每向服务器发起一次请求,服务器均会为其分配一条线程,服务器将会产生数万个线程来处理请求。因此,需要一套高效的策略来处理线程之间的切换与调度,以保证服务器稳定运行^[13]。

I/O 完成端口(I/O Completion Port, IOCP)技术可高效处理各个线程之间的调度,实现服务器的高并发运行^[14]。

2.2.1 IOCP 处理流程

IOCP 处理流程如图 4 所示,大致分为以下步骤:1)创建一个 I/O 完成端口;2)创建一个工作者线程;3)工作者线程循环调用 GetQueuedCompletionStatus 函数获取 I/O 操作结果;4)主线程循环调用 accept 函数等待客户端请求连接;5)主线程调用 accept 函数返回,建立新连接,将新套接字句柄用 CreateIoCompletionPort 函数关联到完成端口,然后发出一个异步和 WSASend 或 WSARecv 调用。WSASend/WSARecv 直接返回,实际发送或接收数据的操作由 Windows 系统完成;6)主线程继续下一次循环,阻塞在 accept 处等待新的客户端连接;7)Windows 系统完成 WSASend 或 WSARecv 操作,并将结果发至完成端口;8)工作者线程的 GetQueuedCompletionStatus 函数立即返回,从完成端口取得 WSASend/WSARecv 操作的结果;9)工作者线程对结果数据进行处理(如果处理过程很耗时,需要新开线程处理),然后继续调用 WSASend/WSARecv 函数,进行下一次循环并阻塞在 Get Queued Completion Status 处。

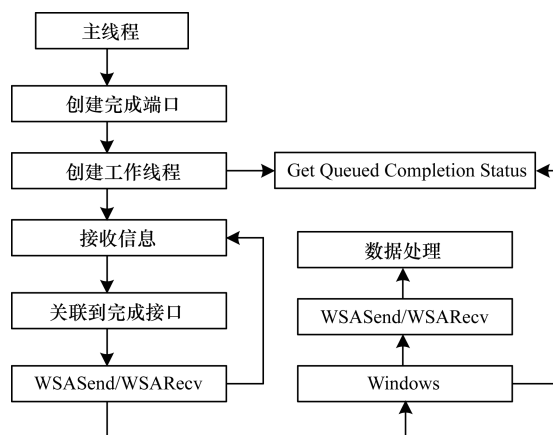


图 4 IOCP 处理流程

2.2.2 IOCP 服务器的实现

通过以下模块对 IOCP 服务器进行实现:

1) 服务器初始化模块。本模块在集群调度系统服务器启动时进行一系列初始化工作,包括创建完成端口、创建与完成端口相关联的工作线程、启动连接监听模块、启动请求处理模块^[15]。

2) 连接监听模块。本模块运行后创建服务器端监听套接字,并与完成端口关联,从而开始监听是否有连接请求。

3) 请求处理模块。当连接监听模块获取一个新的请求后,该请求交由本模块处理。

3 性能测试

3.1 测试环境

测试服务器 CPU 为 Intel Xeon 7500,内存为 DDR3 ECC Registered 32 GB,硬盘为 20 TB SATA 硬盘,操作系统为 Windows Server 2008,数据库为 Oracle 11g,编程语言为 Qt5.4.0,编译器为 MinGW 4.9.1。

客户机 CPU 为 Intel Core I5,内存为 4 GB,硬盘为 512 GB,操作系统为 Windows 7,编程语言为 Qt5.4.0,编译器为 MinGW 4.9.1。

3.2 测试结果与分析

测试环境由 1 台服务器和 10 台客户机组成,客户机随机请求数据库连接资源,系统的连接请求失败率如图 5 所示。由该图可知,随着数据库连接请求的不断增加,未经优化的数据库连接池的请求失败率明显增加,而使用优化策略的数据库连接池的请求失败率增长较缓。由此可见,采用了优化策略的数据库连接池能够提升集群调度系统的数据库响应速度,从而保障集群调度的高并发访问。

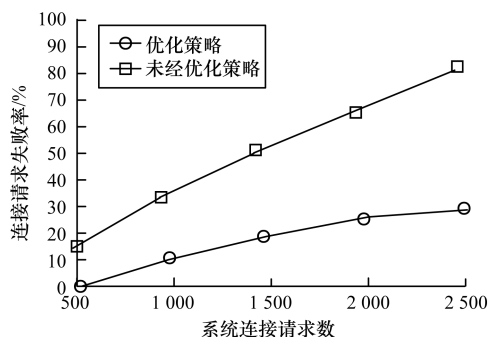


图 5 数据库连接池性能测试结果

4 结束语

本文设计并实现了基于 TD-LTE 的轨道交通集群调度服务系统。系统采用基于 4G 技术的 TD-LTE 机制,可满足大容量、高速率、多媒体的现代集群通信

网络的调度需求,同时使用优化的数据库连接池以及 IOCP 技术实现集群调度系统服务器的高并发访问。目前,该系统已经进入系统测试和验证阶段。

下一步将整合大数据可视化与机器学习技术,采用 Storm 平台对轨道交通海量的实时流数据进行可视化展示,并通过机器学习技术学习固定台用户的使用习惯,动态调整数据库连接池的各项参数,合理调配计算资源。

参考文献

- [1] 缪毅,周志刚,卜智勇.城市轨道交通通信中关键技术的研究与测试[J].计算机工程,2011,37(16):251-253.
- [2] 王惠琴,曹明华,高风格. TETRA 在城市轨道交通无线通信系统中的应用[J].计算机工程与设计,2006,27(16):2958-2960.
- [3] Chen Shanzhi, Wang Yingmin, Ma Weiguo, et al. Technical Innovations Promoting Standard Evolution: From TD-SCDMA to TD-LTE and Beyond[J]. IEEE Wireless Communications, 2012, 19(1):60-66.
- [4] Chang Pei, Chang Yongyu, Zhou Jing, et al. Interference Analysis of TD-LTE and TD-SCDMA System Coexistence[C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing. Washington D. C., USA:IEEE Press, 2010:77-80.
- [5] 陈东伐.城市轨道交通通信集中告警系统的方案设计[J].城市轨道交通研究,2011,14(8):51-53.
- [6] 杨粹.城市轨道交通车地无线通信的应用探讨[J].中国新通信,2015(8):88-89.
- [7] 高彦军,马子彦,贾萍.城市轨道交通车地无线 TD-LTE 的实现[J].都市轨道交通,2014,27(6):9-12.
- [8] 孟培超,胡圣波,舒恒,等.基于 ADO 数据库连接池优化策略[J].计算机工程与设计,2013,34(5):1706-1710.
- [9] 李秉璋,吴访升,景征骏,等. NVMS 中的自适应数据库连接池技术[J].计算机工程,2008,34(23):41-43.
- [10] 马海燕,彭宇行.基于 JDBC 数据库连接池的自适应管理策略研究[J].计算机应用研究,2006,23(2):57-59.
- [11] Liu Fei. A Method of Design and Optimization of Database Connection Pool[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics. Washington D. C., USA:IEEE Press, 2012:272-274.
- [12] Caspi R, Altman T, Dreher K, et al. The MetaCyc Database of Metabolic Pathways and Enzymes and the BioCyc Collection of Pathway/Genome Databases[J]. Nucleic Acids Research, 2010, 42(Database Issue):459-71.
- [13] 马金鑫,袁丁.基于 IOCP 的高并发通信服务器的设计与实现[J].通信技术,2009,42(7):248-250.
- [14] 杜翔,雷跃明.基于 IOCP 的服务器端应用程序[J].计算机系统应用,2009,18(2):151-154.
- [15] 陈怀松,陈家琪. IOCP 写服务程序时的关键问题研究[J].计算机工程与设计,2010,31(17):3793-3796.

编辑 金胡考