

列车车地无线多链路并行传输系统研究

何 鹏, 李 辉

(中国铁路兰州局集团有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 列车车载系统记录的大量视频和数据信息, 对评估列车行驶状态和人员操作规范性具有重要意义, 是列车安全行车的重要保障。然而, 目前的车地数据转储手段单一, 无法满足铁路信息化时代大数据传输和存储的需求。文章提出了一种基于无线多链路的列车车地并行传输方法, 并在机务段进行了实际测试部署。测试结果表明, 系统达到了车地高速数据转储的效果, 满足了快速、自动化大数据转储的需求。该方案有助于预防各类事故的发生, 保证行车的安全性和可靠性。

关键词: 大数据; 并行; 无线; 多链路; 车载安全防护系统; 车地数据转储

中图分类号: U285

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2020)03-0084-05

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2020.03.017

Research on Wireless Multipath Train-ground Parallel Transmission System

HE Peng, LI Hui

(China Railway Lanzhou Group, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Large amount of video and process data recorded by onboard system is of great significance for evaluation of train running state and personnel operation, and is an important guarantee for safe running of trains. However, current train-ground data backup schemes are unable to meet the demands of big data transmission in the information era. This paper presented a method for train-ground parallel transmission through multiple wireless links, and conducted actual test deployment in a locomotive depot. Test results show that the system with the proposed method achieves high throughput of train-ground transmission and meets the requirements of fast and automatic data dump. The program helps prevent various accidents and guarantees safe and reliable driving.

Keywords: big data; parallel; wireless; multipath; onboard safety protection system; train-ground data transmission

0 引言

近年来, 互联网技术的飞速发展列车运行数据多路径、高带宽传输奠定了技术基础。WiFi 和 3G/4G 等多种无线通信技术不断出现, 使得网络接入方式日益丰富。随着互联网的不断发展和移动网络技术的日益先进, 支持多种无线通信技术的多链路终端技术得到发展, 满足了多样化终端用户对多元化业务的需求。例如, 目前智能手机一般都可以同时支持多种 3G/4G 和 WiFi 等无线网络通信技术。与此同时, 我国轨道交通行业正在取得快速发展。《2018 年铁道统计公报》^[1] 显示, 与上年相比,

全国的铁路旅客发送量增加了 2.91 亿, 旅客的周转量增长了 5.1%。在列车检修过程中, 当机车在进入机务段时, 通过无线链路将各种车载设备和仪器监测的所有视频和文件数据进行转储, 以支撑相关工作人员对车辆行驶状况进行大数据分析, 是信息化铁路的迫切需求。由于目前的单链路传输技术无法满足大数据快速转储的需求, 如何利用多链路并行通信技术实现快速自适应转储, 是铁路领域的重要研究课题之一。为此, 本文设计了一种车地无线多链路并行传输系统方案并在机务段进行了实地测试。

1 无线链路传输技术现状

1.1 无线网络技术

目前, 比较有代表性的无线网络技术包括蓝牙技术、

收稿日期: 2019-11-20

作者简介: 何鹏 (1964—), 男, 工程师, 主要从事铁路机务管理工作; 李辉 (1964—), 男, 高级工程师, 主要从事铁路机务信息化及设备管理工作。

WiFi 技术和 4G 移动通信技术。

蓝牙是一种主要应用于近距离通信的无线技术。蓝牙主要工作在 2.45 GHz ISM 频段, 具备功耗小、辐射低、电路简单及移植性高等特点, 但是并不适用于铁路环境中距离较远、环境复杂的场景。

WiFi 技术主要基于 IEEE 802.11 系列标准协议, 目前已支持 IEEE 802.11ad 标准。IEEE 802.11 系列标准中的主要工作频段在 2.4~5.8 GHz 之间; 但 IEEE 802.11ad 抛弃了目前较为拥挤的 2.4~5.8 GHz 频段, 转而采用了更高频的 60 GHz 频段。WiFi 技术覆盖范围较大, 半径最长可达数十至上百米, 且 WiFi 技术的应用范围和场景也在日益丰富和扩大; 但是 WiFi 技术存在数据报文冲突的问题, 多个 WiFi 接入点 (access point, AP) 之间极易发生互相干扰现象, 影响数据的传输效率。路局现场测试表明, WiFi 技术在移动切换过程中, 经常出现速率急剧下降的现象, 难以满足列车在移动过程中的高速数据转储要求。

4G 移动通信技术是对 3G 通信技术的升级, 其实际传输速率通常可达到 20 Mbit/s 以上, 理想情况下甚至可达 100 Mbit/s 左右。5G 技术虽然开始被民用, 但目前尚缺乏针对铁路系统这种有高安全性和高可靠性要求应用环境的研究。4G 技术目前较为成熟和稳定, 是一种适合应用于列车车地数据传输的技术手段。

1.2 多路径并行传输机制

随着通信技术的快速发展, 现有网络中经常具有多条端到端的可用传输路径, 各种终端设备也逐渐具备了多种无线接口, 多路径并行传输已成为国内外重要的理论研究方向^[2]。

互联网中常用的传输控制协议 (transmission control protocol, TCP) 是一个单路径传输协议。TCP 连接在建立时会绑定到两个通信终端的单个 IP 地址, 其中任何一个终端地址如果发生变化, TCP 连接将被中断并需要重新建立连接。在多路径网络环境中, TCP 的单路径传输机制不能完全满足用户需求, 降低了链路的使用效率。

多路径传输控制协议 (multipath TCP, MPTCP) 是对 TCP 的重要改进^[3-4]。MPTCP 可以在单个传输连接中同时利用多条路径, 从而有效解决 TCP 存在的效率低等问题。MPTCP 的研究重点是多链路设备之间的端到端通信如何高效、灵活地利用多条通信路径, 其设计遵循两个主要原则: (1) 服务兼容性, 应用服务只要能在 TCP 环境下运行, 就可不做任何改进地运行于 MPTCP 环境; (2) 网络兼容性, MPTCP 协议对其他网络传输协

议保持兼容而不是完全替换, 其功能模块如图 1 所示。可以看出, MPTCP 协议子层位于运输层和应用层之间, 可以为同一个应用维护多条可用路径, 并同时管理多个 TCP 子流。MPTCP 主要包含 4 大功能模块, 分别是路径维护、调度控制、子流接口和拥塞管控。

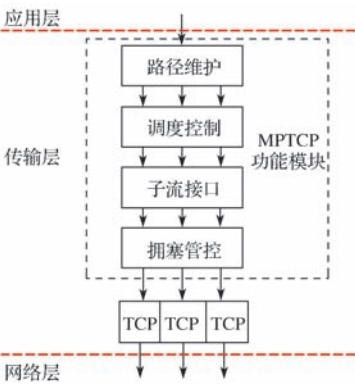


图 1 MPTCP 功能模块
Fig.1 Function modules of MPTCP

尽管包含 MPTCP 在内的并行多路传输机制在理论上可以提高传输吞吐量, 但在实际应用环境中, 并行多路传输的性能却不理想, 主要原因是大多数并行多路传输机制无法对具备差异性的链路进行有效的适配, 缺少根据实际传输路径实时制定动态的调度策略, 使得质量较差的链路影响了质量较好的链路的传输性能。因此, 未来网络的发展趋势是增加多路径传输机制对网络不确定性的支持, 及时监测网络的丢包率、时延等网络参数^[5-6], 通过多路径来提高并行传输的吞吐量^[7]和可靠性^[8], 进一步满足各类应用对网络带宽的需求。

2 列车无线多链路并行传输功能需求

现有列车车地视频文件的转储通常采用 U 盘或硬盘拷贝的方法, 不仅易造成设备接口的损坏, 而且还存在病毒感染的风险。

针对机车车载安全防护系统 (6A 系统) 视频文件大数据传输问题, 传统的单链路无线数据传输方式不足之处在于:

- (1) 传输速率较慢, 不能满足实际传输需求。例如: 每辆列车需要在停靠整备的时间内, 完成对车上监控视频文件向地面设备的传输工作, 视频大小往往有数十千兆字节, 传统的单链路无线传输方式很难满足在有限时间内高速率传输的需求。
- (2) 大数据的传输过程当中, 一旦出现网络不稳定或者其他不可控因素导致的网络中断, 则所有数据可能需要重新转储, 无法满足应用需求。
- (3) 当停靠的列车数量较多而其中大部分的车辆都需要进行大量的车地数据转储时, 传统的单链路传输

方式会争夺网络带宽资源,进而导致传输速率和稳定性的下降。

列车无线多链路并行传输系统的设计需要充分考虑实际需求和现有机制的不足。首先,针对在列车移动环境下无线链路的不稳定性,现有的多路径传输方案,如MPTCP,极易产生缓冲区阻塞,并不能充分利用路径带宽;其次,在传输视频和数据文件时,现有机制的调度粒度(调度粒度是指批量文件被拆分到多链路传输时的分块方法和分块大小程度)比较单一,例如在传输层基于数据包级别的调度粒度或者在操作系统中基于文件级别的调度粒度,均不能充分利用多无线链路的传输资源。

基于上述无线链路传输现状,在车载设备和地面服务器的文件传输过程中,需要充分利用移动环境中多链路网络资源;采用合理的动态数据流量分配原则,尽可能以最短的总传输时间将车载终端的文件通过多链路并行传输到地面应用服务器中,以提高整个系统的传输性能。

综上分析,实现列车多路径并行传输系统需要满足以下功能需求:

(1) 在列车大数据量视频文件传输环境下,能有效利用多无线链路,从而提升系统传输性能;

(2) 可以根据无线链路的网络状况,自适应地调整数据的分发粒度,充分利用网络资源;

(3) 系统可以稳定可靠地进行传输,保证文件传输的完整性和正确性。

3 无线多链路并行传输设计 and 应用

3.1 系统的总体架构

车地并行大数据传输系统需要增加多链路车载设备,其主要功能是从机车系统提取视频文件等数据。当提取到所需传输的数据之后,可通过多路无线链路与地面设备进行数据传输和通信。为了提高数据的传输效率,车载设备与地面设备进行数据通信时,智慧地使用多线程技术进行分包,然后通过地面设备进行相应的重组处理。地面设备收到车载设备传输回来的数据后,可将数据上传到应用服务器当中,以供后期处理使用。

针对车地视频数据的传输需求,提出列车并行多路径传输系统,满足前述的3个功能需求。整个系统的设计场景如图2所示。在多链路无线网络环境下,该系统将多列列车的所有视频文件通过多条无线链路并行传输到地面服务器中。整个系统设计总体可以分为以下组成部分:数据源、车载设备、无线组网、地面设备及应用服务器。

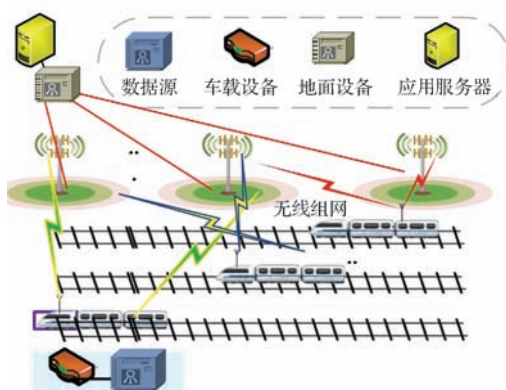


图2 列车并行多路径传输系统
Fig.2 Train multipath transmission system

(1) 数据源

对于整个系统来说,数据源可以是列车已安装的中国机车远程监测与诊断系统(Chinese locomotive remote monitoring and diagnosis system, CMD)以及与其配套使用的6A系统。在CMD/6A系统中,存储着列车在运行过程中的各种信息数据,其中包括列车视频监控文件及列车上的其他数据信息文件。在本文中,主要面向的对象是数据量较大、传输到地面设备耗时较长的视频监控文件。由于列车线路的长度决定了列车可能需要的运行时间,在整个运行过程中产生的视频文件大小与其在铁路上运行的时间成正比,数据量可达数十千兆字节。

(2) 车载设备

车载设备在整个系统中所起的作用是与数据源连接,并且能够将数据源中的数据提取到车载设备当中,再通过与系统中的无线网络建立多链路的连接,将数据回传到地面设备上。

(3) 无线组网

无线组网由车载客户终端设备(customer premise equipment, CPE)和路边基站组成,其采用非授权频段的LTE技术,系统容量能满足高速传输的带宽需求。

(4) 地面设备

地面设备在整个系统中所起的作用是与无线基站连接,并且将车载设备发送过来的数据缓存,然后将车载设备处理过的数据文件还原成原始文件。

(5) 应用服务器

在系统中,应用服务器对数据进行长时间、稳定地存储,并提供后期的数据分析和处理功能。

在整个系统中,实时交互功能和并行传输功能是核心,下面将分别进行介绍。

3.2 文件信息实时交互功能

实时交互功能主要运行于车载设备和地面设备上,进行设备间文件信息的实时交互(图3)。

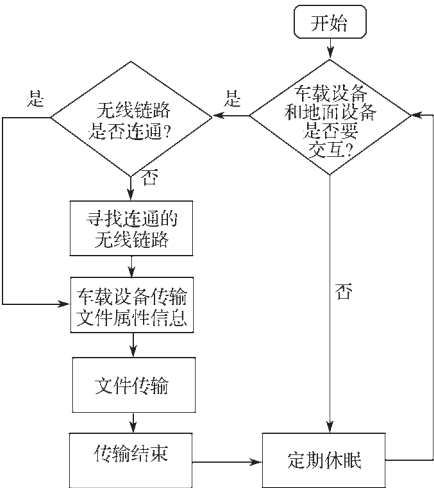


图3 文件信息实时交互流程
Fig.3 Real-time interaction flow for files

首先，需要将车载设备上的视频文件通过无线多链路传输到地面设备，地面设备需要在开始传输之前获取文件的属性信息，包括文件名、文件大小等。车载设备和地面服务器还需了解对方的IP地址，以便建立多路径传输。

其次，在多链路数据传输过程中，一旦某个文件成功完成传输，地面设备需要及时通知车载设备该文件已经完成传输，车载设备需将对应文件的数据库标志位更新。在无线环境下，通知信息可能会因为无线链路的不稳定而丢失，因此所设计的通知信息需采用短连接的方式，即每次通知信息发送成功后，该连接占用的通信资源将被释放。当有新的通知消息需要发送时，在一条稳定的无线链路上重新建立新的短连接进行发送。车载设备收到通知消息后，在数据库中更新对应的文件传输标志位。

车载设备中的新文件可能随时生成，需要实时查询新文件信息，并将新文件信息及时通告给地面设备，以便进行文件传输。

3.3 并行传输功能

并行传输功能主要是基于多无线链路进行并行传输（图4）。

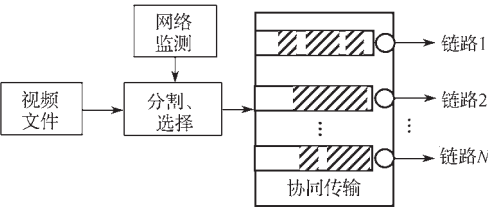


图4 并行传输处理流程
Fig.4 Process for parallel transmission

首先，车载设备和地面设备在获取双方的IP地址集合后，通过多线程技术来建立多个数据传输连接，并在多个无线链路上并行执行数据传输任务，以保障数据

的高带宽、高可靠性传输。

其次，在并行传输过程中，还需要同时完成对大文件的分拆和重组，以提高多无线链路的利用效率。车载设备根据文件大小和链路状态动态拆分文件并将数据块分配到每条路径。当地面设备监测到同一文件的数据块均已传输成功后，立刻进行完整文件的重新生成。采用视频文件拆分传输并实时重新生成的传输方式，有效降低了系统处理时间，提升了系统效率。

3.4 部署和应用效果

在实际测试场景中，数据首先从车载设备通过6条无线链路传送到地面基站，然后再转发到地面设备。在数据传输过程中，列车处于检修状态，有可能静止或行驶，无线链路环境不稳定。

在现场进行了多链路并行传输与单链路传输对比，如图5所示。在机车移动过程中，单条无线链路的传输带宽在10~40 Mbit/s之间波动，而多链路并行传输可以有效地利用所有无线链路的带宽资源，使得整体传输速率稳定在170~210 Mbit/s之间。单条无线链路的理论传输带宽40 Mbit/s，在多次测试中，6条无线链路并行传输的平均带宽达183.8 Mbit/s，并行传输的带宽利用率达到了理论值的80.5%，并行传输性能提升到了单条链路的4.83倍。

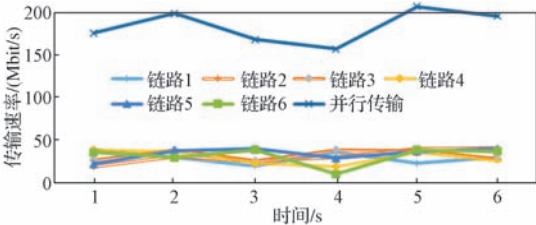


图5 多链路并行传输与单链路传输对比
Fig.5 Comparison between multi-link parallel transmission and single-link transmission

如图6~图7所示，在机务段实际场景中，对系统功能进行了全面的测试分析，包括数据采集、文件信息实时交互、多链路并行传输及系统容错性处理等。结果表明，按照各系统功能所需在车载设备上所采集的数据准确，在应用服务器中存储无误，满足了文件高效、自适应转储的需求。本系统相对于现有的机车数据转储机制具有比较明显的优势。



图6 系统部署和应用场景一（传输设备）
Fig.6 System deployment and application scenario 1 (transmission equipment)



图7 系统部署和应用场景二(无线基站)
Fig.7 System deployment and application scenario 2
(wireless base station)

4 结语

针对机车大数据转储的迫切需求,本文设计了一种基于无线多链路并行传输的方案,并实施了系统安装部署及实际测试。结果表明,该系统满足了机车大数据转储的需求,实现了高效、自适应的数据转储功能,解决了现有人工数据转储效率低下、易出现设备故障等难题,具有很好的应用和推广价值。未来,随着5G技术的逐步应用,如何解决5G微蜂窝的高频切换问题,以实现利用5G技术实现铁路系统中数据的高可靠性、高安全

性的并行传输,是值得进一步深入研究的课题。

参考文献:

- [1] 中国国家铁路局, 2018年铁道统计公报 [EB/OL]. (2019-04-26) [2019-08-12]. <http://www.nra.gov.cn/xwzx/zlzx/hytj/201904/P020190426367686178375.pdf>.
- [2] LI M, LUKYANENKO A, OU Z H, et al. Multipath Transmission for the Internet: A Survey[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016, 18(4):2887-2925.
- [3] PALASH M R, CHEN K. Improving WiFi Network Performance under MPTCP Users[C]//2017 26th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN). Vancouver, BC, Canada: IEEE, 2017: 1-2.
- [4] 薛开平, 陈珂, 倪丹, 等. 基于MPTCP的多路径传输优化技术综述[J]. 计算机研究与发展, 2016, 53(11): 2512-2529.
- [5] 黎文伟, 蔡建国, 王志明. 一种基于自适应采样的网络丢包率测量方法[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2014, 41(3):107-112.
- [6] BAIDYA S H, PRAKASH R. Improving the performance of multipath TCP over heterogeneous paths using slow path adaptation[C]//2014 IEEE International Conference on Communications (ICC). Sydney, NSW, Australia: IEEE, 2014: 3222-3227.
- [7] 王振朝, 侯欢欢, 连蕊. 抑制CMT中乱序程度的路径优化方案[J]. 计算机科学, 2018, 45(4): 122-125.
- [8] 陈书阳, 冯海林. 多路径网络编码的传输可靠性提高策略[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2018, 55(4):712-718.

(上接第83页)

通过比较图5与图6,可以看出本文提出的区间追踪间隔模型在相同条件下,能有效缩短列车追踪间隔时间,从而提升线路运行效率。

4 结语

本文在基于车车通信的CBTC系统基础上,针对该系统的追踪原理,提出了一种考虑前行列车运行状态和通信时延的区间追踪间隔模型,并通过计算机仿真的方法,详细分析了区间追踪间隔。仿真结果表明,该模型能够有效缩短列车追踪间隔时间,提升系统运输效率。后续还需要深入研究基于车车通信的列车编队运行、虚拟重联的列车追踪间隔模型,这将会更大程度地缩短追踪时间、提升线路运能。

参考文献:

- [1] Rail Transit Vehicle Interface Standards Committee of the IEEE Vehicular Technology Society. IEEE Std 1474.1-2004: IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and

Functional Requirements[S]. New York: IEEE, 2004.

- [2] 李中浩. 城市轨道交通CBTC互联互通发展趋势及建议[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(5): 12-15.
- [3] 路向阳, 李雷, 雷成健, 等. 城市轨道交通全自动驾驶技术发展综述[J]. 机车电传动, 2018(1): 6-12.
- [4] 代继龙, 李晓刚, 李兆龄, 等. 新一代CBTC系统方案研究与关键技术探索[J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13(6): 41-44.
- [5] 罗情平, 吴昊, 陈丽君. 基于车-车通信的列车自主运行系统研究[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(7): 46-49.
- [6] 李雷, 林云志, 王丽丽. 基于车车通信的新型CBTC信号系统研究[J]. 机车电传动, 2018(4): 50-53.
- [7] BRIGINSHAW D. Alstom's simplified CBTC technology to debut in Lille[J]. International Railway Journal, 2013, 53(6): 29-30.
- [8] CHEN T, WANG H F, NING B, et al. Architecture Design of a Novel Train-centric CBTC System[C]//2018 International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT). Singapore: IEEE, 2018: 1-5.
- [9] 梁宇, 成正波, 黄柒光. 城市轨道交通正线CBTC列车追踪间隔的优化[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(12): 76-78.
- [10] 陈荣武, 诸昌铃, 刘莉. CBTC系统列车追踪间隔计算及优化[J]. 西南交通大学学报, 2011, 46(4): 579-585.
- [11] 李伟, 唐涛, 王呈. 无线通信延迟对城市轨道交通CBTC列车追踪间隔影响研究[J]. 铁道学报, 2017, 39(7): 73-78.