

一种远程驾驶数据传输的方法研究

赵柏山¹ 秦旭升¹ 王庆祝²
ZHAO Baishan QIN Xusheng WANG Qingzhu

摘要

远程驾驶技术对数据传输性能提出了更高的要求,而不同拥塞控制算法的 TCP 数据流在共同传输时会相互制约导致传输性能下降。文章基于软件定义网络的思想提出了一种动态的链路选择算法,可以有效提高不同的拥塞控制算法的 TCP 数据流在网络传输中的传输性能。该算法能够实现发现网络拓扑结构,检测网络链路时延和带宽,为指定数据流计算最优传输路径,避免其他数据流选择有重合节点的路径。通过实验对比表明,相较于 STP 协议,该方法能够实现提升指定数据流的数据发送速度约 30%,缩短数据传输时间约 20%。

关键词

软件定义网络;数据传输;Mininet;远程驾驶

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.06.015

0 引言

随着无线通信技术的发展,远程驾驶技术开始尝试商业化应用。4G 移动通信技术的出现为远程驾驶提供了更高的带宽和更低的延迟,使得实时视频传输和控制成为可能。5G 等通信技术的引入,进一步提升了远程驾驶的实时性和可靠性。在远程驾驶的发展过程当中,如何可靠地传输大量数据,一直是诸多学者致力于解决的问题。2016 年,BBR 拥塞控制算法^[1]的出现让诸多学者开始思考这种拥塞控制方式能否应用于远程驾驶的信息传输中,如唐雄等人^[2]提出了自适应 BBRv2 拥塞控制算法,优化了远程驾驶网络中不同往返传输时延流共享瓶颈链路的公平性。BBR 算法对带宽的高效利用率也让诸多学者在算法公平性方面进行研究,如潘婉苏^[3]提出了一种起搏增益、自适应拥塞窗口优化算法等方法提高 BBR 算法的公平性。虽然 BBR 算法在拥塞控制方面展示出了优越的性能,但是其性能仍然受制于瓶颈带宽,因此很多学者也在考虑能否使用多路径传输控制协议(MPTCP)的方法实现数据传输,如冯飞宇^[4]提出基于拥塞窗口和 RTT 的调度算法以降低传输时延。杨华等人^[5]通过软件定义网络监控和分析网络状态来实现流量调动的的方式提高了网络的吞吐量。余超群等人^[6]通过对网络链路状态进行建模的方法动态调整链路重传切换时间,有效提升了多路并行传输的性能。魏文佳^[7]提出了一种基于瓶颈公平性的多径传输方案。

BBR 拥塞控制算法具有高带宽利用率、低延迟、公平性、

良好的自适应性以及能够减少丢包率的特性,适合应用在远程驾驶数据传输领域。目前诸多学者致力于解决 BBR 算法在与传统拥塞控制算法共同传输时的公平性问题。当 BBR 拥塞控制算法的数据流与传统拥塞控制算法的数据流共同传输时,由于传统拥塞控制算法只有在丢包的时候才会降低发送速率,而 BBR 拥塞控制算法会根据检测到的 RTT 值来动态调节发送速率,因此在共同传输时会导致传输性能下降。

本文基于软件定义网络^[8],提出一种动态链路选择算法用以解决 BBR 拥塞控制算法与传统拥塞控制算法由于收敛速度不同而导致的传输性能下降的问题。

1 动态链路选择算法

本文算法基于软件定义网络的思想实现,其中控制层面即控制器内部由四部分组成,分别为获取网络拓扑、获取链路时延、获取链路带宽、获取转发路径。控制器通过 OpenFlow 协议^[9]与转发层面即 OpenFlow 交换机进行数据交互。

1.1 获取网络拓扑

该部分创建列表用以储存节点、节点间链路、链路时延、链路带宽等信息,为后续路径选择做基础。通过 LLDP 协议^[10]获取链路信息并生成拓扑图。根据拓扑图获取所有节点间的传输路径。

1.2 获取链路时延

该部分通过记录 LLDP 发送和接收到的时间戳来计算出链路时延 T :

$$T = \frac{T_1 + T_2 - T_a - T_b}{2} \quad (1)$$

式中: T_1 为控制器下发 LLDP 数据包经过交换机 1 到达交换

1. 沈阳工业大学信息科学与工程学院 辽宁沈阳 110870

2. 中国人民解放军空军 93057 部队 吉林四平 136400

机 2 后上传给控制器的时间； T_2 为相反方向传输的时间， T_a 和 T_b 为控制器和交换机之间的传输时延。根据获取到的所有节点间的传输路径来计算出所有节点间的传输时延并存储在创造的列表当中为后续路径选择做准备。

1.3 获取链路带宽

该部分通过控制器周期下发请求至交换机，交换机将收发数据包的数量、字节数以及这个统计持续的时间上传至控制器。控制器计算端口流量速度 R 为：

$$R = \frac{B_t - B_{t-1}}{T_t - T_{t-1}} \quad (2)$$

式中： B_t 为某时刻流经端口字节数； T_t 为统计时间。

端口剩余带宽 B 为：

$$B = C - R \quad (3)$$

式中： C 为端口最大带宽。

根据式（2）（3）可以计算出节点间的链路带宽，并将获取到的链路带宽存储在创建的列表当中为后续路径选择做准备。

1.4 获取转发路径

根据团体标准 T/ITS 0198.3—2022，自动驾驶车辆端与控制服务器之间的网络通信时延应不高于 50 ms。因此在为指定数据流选择传输路径时，优先考虑时延低于 50 ms 的路径，然后选择符合时延条件的链路中带宽最大的那条链路。若不存在时延低于 50 ms 的链路则选择时延最低，带宽最大的链路。为指定数据流选定传输路径后会记录路径 path1，在为其他数据流选择传输路径时避免与 path1 有重合路径从而保证指定数据流的传输性能。总体的工作流程图如图 1 所示。

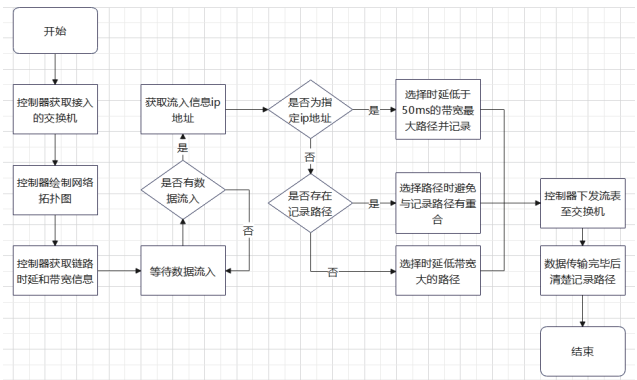


图 1 流程图

2 实验方法以及结果分析

2.1 实验环境

本文通过 VMware 虚拟机平台搭建实验环境，虚拟机系统为 Ubuntu20.04。网络搭建软件采用的是 mininet，SDN 控制器为 Ryu 控制器，使用 Wireshrak 软件进行数据流量监控，编程语言为 Python。

2.2 实验方法

本文通过软件仿真的方式来模拟真实网络环境，利用 mininet 软件构建网络拓扑结构如图 2 所示。其中 c0 为控制器，用来获取网络拓扑结构、链路时延和链路带宽，决定数据转发路径；s1~s7 为 OVSKernel 交换机，向上连接控制器，向下连接主机；h1~h4 为主机，用来运行编写的 Python 脚本来产生流量，模拟用户行为。

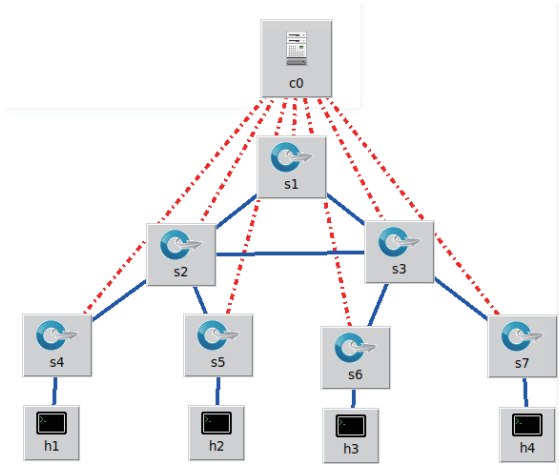


图 2 网络拓扑图

网络中交换机之间的链路参数设置如表 1 所示。主机与交换机之间链路参数均为 100 MB 带宽和 0 ms 时延。本文实验将使用 h1 和 h4 分别模拟远程驾驶数据的发送端和接收端，使用 h2 和 h3 分别模拟网络中其他数据的发送端和接收端。

表 1 交换机链路参数配置

链路	带宽 /MB	时延 /ms
s4—s2	200	0
s2—s1	500	30
s2—s3	1 000	50
s1—s3	300	10
s2—s5	200	0
s3—s6	200	0
s3—s7	200	0

图 3 和图 4 分别为在上述网络拓扑结构中单独使用 BBR 拥塞控制算法和 CUBIC^[11] 拥塞控制算法进行数据传输的吞吐图。

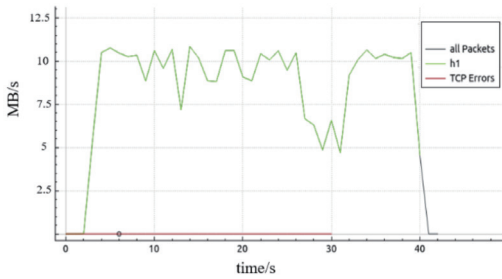


图 3 BBR 算法单独传输时的吞吐图

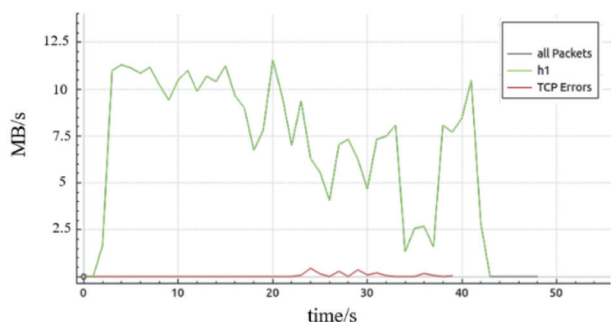


图 4 CUBIC 算法单独传输时的吞吐图

由图 3 和图 4 可以计算出单独使用 BBR 控制算法进行数据传输时的平均传输速度为 8.94 MB/s, 传输时间为 0.65 min。单独使用 CUBIC 控制算法进行数据传输时的平均传输速度为 7.64 MB/s, 传输时间为 0.7 min。

设置对照实验如表 2 所示, 测试在 STP^[12] 转发策略和本文方法下采用不同拥塞控制算法的数据流在共同传输时的数据传输性能。表中 BBR 和 CUBIC 为两个不同的主机在进行数据传输时所采用的 TCP 协议拥塞控制算法。使用 wireshark 软件对接收端端口进行数据抓包后进行分析得到测试结果如表 3 所示。

表 2 对照实验拥塞控制算法

	h1	h2	编号
STP	BBR	CUBIC	1
	BBR	BBR	2
	CUBIC	CUBIC	3
本文方法	BBR	CUBIC	4
	BBR	BBR	5
	CUBIC	CUBIC	6

表 3 实验测试结果

STP						
编号	1		2		3	
主机	h1	h2	h1	h2	h1	h2
传输时间/min	1.72	1.54	1.41	1.40	1.81	1.77
平均传输速度/(MB·s ⁻¹)	3.14	3.55	4.01	3.96	1.39	1.08
本文方法						
编号	4		5		6	
主机	h1	h2	h1	h2	h1	h2
传输时间/min	1.38	1.33	1.38	1.35	1.34	1.36
平均传输速度/(MB·s ⁻¹)	4.12	4.26	4.15	4.26	4.22	4.20

2.3 结果分析

实验 1 表明当两种不同的拥塞控制算法的数据流在同一条路径传输时 CUBIC 算法表现出更强的链路带宽“侵占”性能。原因在于 BBR 算法根据检测数据包在传输过程中的发

送和接收情况, 动态估计链路瓶颈带宽和往返传输时延来动态调整拥塞窗口以避免网络拥塞。而 CUBIC 算法则是在链路因为数据排队而发生丢包时才会乘法减小发送速率。当链路遇到拥塞情况(RTT 值增大)后, BBR 算法会指数降低发送速率, 直到 RTT 值降低才会提高发送速率。而 CUBIC 算法在丢包时才会乘法减小发送率, 而后不断增大发送窗口直到恢复到丢包时的发送窗口。因此 CUBIC 算法会表现出更强的带宽“侵占”性。

实验 2 表明当两个拥塞控制算法的数据流都采用 BBR 拥塞控制算法在同一条路径传输时都能表现出较好的性能, 原因在于两个数据流都会主动避免链路进入拥塞的状态。

实验 3 表明当两个拥塞控制算法的数据流都采用 CUBIC 拥塞控制算法在同一条路径传输时由于共同抢占链路带宽会导致链路进入拥塞状态, 使两条数据流的传输性能表现不佳。

实验 4、5、6 在转发策略方面不同外其他与实验 1、2、3 均相同。转发策略是对指定 IP 地址为 10.0.0.1 的数据流优先选择链路状态良好的路径, 在对指定 IP 以外的数据流进行路径选择时避免选择与指定 IP 路径有重合路径的路径。因此, 对比 STP 协议, 无论是不同拥塞控制算法的数据流还是相同拥塞控制算法的数据流在共同传输中都能表现出较好的传输性能。

3 结论

本文基于软件定义网络的思想提出了一种路径转发方法用以提升指定数据流在网络中与其他数据流共同传输时的传输性能。

测试结果表明, 在本文网络拓扑结构当中, 相较于单独传输数据流, 两个主机在共同传输数据流时会导致传输速度均大大降低, 传输时间均增长。不过, 相较于生成树协议, 本文方法能够有效提高指定数据流的传输速度, 减少传输时间。但本文方法有效的前提是对其他数据流有备选转发路径, 针对哑铃拓扑结构使用本文方法无法有效。

参考文献:

- [1] CARDWELL N, CHENG Y C, GUNN C S, et al. BBR: congestion-based congestion control[J]. Queue, 2016, 14(5): 20-53.
- [2] 唐雄, 赵津, 韩金彪, 等. 一种面向远程驾驶数据传输的拥塞控制算法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2023, 37(9): 198-207.
- [3] 潘婉苏. TCP-BBR 拥塞控制算法的公平性优化研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2022.
- [4] 冯飞宇. 面向时延敏感服务的多路径传输调度算法[D]. 青岛: 青岛大学, 2022.
- [5] 杨华, 周炯, 吴杰宏. 基于轮盘赌选择的多路径 TCP 路径选择优化[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2023, 40(4): 32-39.

基于改进 LSTM 的数字媒体网络视频通信流量预测方法

崔 健¹ 张梦榛¹
CUI Jian ZHANG Mengzhen

摘 要

受多源异构环境干扰, 数字媒体网络视频通信流量存在大量噪声, 不同时间节点的流量特征呈现非线性独立性, 常用模型难以捕捉其变化规律, 提取自相关特征, 导致通信流量预测效果不佳。为此, 文章提出一种基于改进 LSTM 的数字媒体网络视频通信流量预测方法。利用小波变换消除原始流量数据中的噪声信号, 并基于自相关函数计算不同时间点流量的相关性, 结合拓扑图帧映射技术, 提取流量数据的自相关性特征。将自相关性特征作为预测模型输入, 引入注意力机制为 LSTM 的参数分配权重, 建立多因子变量与预测值之间的非线性关系, 并利用历史数据对网络模型进行持续参数调优与更新, 实现通信流量动态预测。实验结果表明, 采用该方法预测数字媒体网络视频通信流量时, 所得决定系数均高于 0.8, 表明预测值与实测值之间具有较高的拟合度, 预测精度较高, 应用效果较好。

关键词

改进 LSTM; 数字媒体; 网络视频通信; 流量预测; 预测模型

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.06.016

0 引言

随着 5G、物联网和云计算等技术的普及, 网络环境变得更加复杂, 视频通信流量的波动性和不确定性显著增加, 传统的流量预测方法难以应对这种非线性和非平稳性的数据特征, 导致预测精度不足, 影响网络资源的优化配置和服务质量。在此背景下, 研究数字媒体网络视频通信流量预测具有重要的现实意义。首先, 精准的流量预测能够帮助网络运

营商和服务提供商更好地规划网络资源, 避免带宽浪费或网络拥塞, 提升用户体验; 其次, 通过预测流量的动态变化, 可为网络优化、负载均衡和故障预警提供科学依据, 增强网络的稳定性和可靠性; 最后, 高效的流量预测技术还能为新兴应用场景提供技术支撑, 推动数字媒体产业的创新发展。

近年来, 众多学者针对网络视频通信流量提出了多种预测方法。文献 [1] 先通过自动编码器融合自注意力与双注意力机制, 以减少模型内存开销并提高预测性能, 后结合流量变化特征实现流量预测。该方法并未对多源异构环境对数据

1. 黄河水利职业技术大学信息工程学院 河南开封 475001

[6] 余超群, 蔡建国, 宋道斌, 等. 基于快速链路动态感知的多路分流算法 [J]. 无线电通信技术, 2023, 49(5): 979-986.

[7] 魏文佳. 基于 MPTCP 的多路径传输中的耦合拥塞控制和数据调度机制研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2020.

[8] BAHNASSE A, LOUHAB F E, AIT OULAHYANE H, et al. Novel SDN architecture for smart MPLS traffic engineering-diffserv aware management[J]. Future generation computer systems, 2018, 87: 115-126.

[9] 徐玉华, 孙知信. 软件定义网络中的异常流量检测研究进展 [J]. 软件学报, 2020, 31(1): 183-207.

[10] CHANG Y C, LIN H T, CHU H M, et al. Efficient topology discovery for software-defined networks[J]. IEEE transactions on network and service management, 2021, 18(2): 1375-1388.

[11] HA S, RHEE I, XU L S, et al. CUBIC: a new TCP-friendly high-speed TCP variant[J]. ACM SIGOPS operating systems review, 2008, 42(5): 64-74.

[12] 杨晓. 基于 Ryu 控制器和生成树协议的环路避免系统研究 [D]. 成都: 西华大学, 2019.

【作者简介】

赵柏山 (1980—), 男, 辽宁铁岭人, 博士, 副教授, 研究方向: 信号处理与保密通信。

秦旭升 (2000—), 男, 湖南张家界人, 硕士研究生, 研究方向: 信号处理。

王庆祝 (1991—), 男, 黑龙江五大连池人, 硕士, 工程师, 研究方向: 信号处理与保密通信。

(收稿日期: 2025-01-14 修回日期: 2025-06-03)