

基于时延感知算法的无线网络协同 通信网络节点流量控制方法

黄陈杰[†]

(国网南通供电公司, 江苏 南通 226000)

摘要:针对无线网络拓扑复杂、拥塞程度高、协同通信稳定性差的问题,提出了一种基于时延感知算法的无线网络协同通信网络节点流量控制方法。监测无线网络状态的传播时延、处理时延、队列时延等,并设定阈值;将时延与阈值进行比较,若超过阈值,表明网络中可能存在拥堵;结合速率调节和协同通信机制,选取最佳通信网络节点,并构建多点协同传输集合,有效控制节点流量抖动,进而实现无线网络协同通信网络节点流量控制。通过实验验证:该方法能有效缓解网络拥堵,提升了通信效率及网络稳定性。

关键词:时延感知算法;无线网络;协同通信;网络节点控制;网络拥堵;速率调节

中图分类号:TP393

文献标识码:A

Node Flow Control Method of Wireless Cooperative Communication Network Based on Time-delay Sensing Algorithm

HUANG Chenjie[†]

(State Grid Nantong Power Supply Company, Nantong, Jiangsu 226000, China)

Abstract: Addressing the issues of complex wireless network topology, high congestion levels, and poor stability in coordinated communication, a wireless network cooperative communication node flow control method based on delay-aware algorithms is proposed. This method monitors the propagation delay, processing delay, queueing delay, and other network status indicators of the wireless network, and sets corresponding thresholds. When the measured delay exceeds these thresholds, it indicates that there may be congestion in the network. By combining rate adjustment and cooperative communication mechanisms, the optimal communication network nodes are selected, and a multi-point cooperative transmission set is constructed. This approach effectively controls node flow fluctuations, thus achieving flow control for wireless network cooperative communication nodes. Experimental verification has shown that this method can effectively alleviate network congestion, improve communication efficiency, and enhance network stability.

Key words: delay sensing algorithm; wireless network; collaborative communication; network node control; network congestion; rate regulation

无线网络协同通信网络具有重要作用,可提高网络性能、增加特定用户容量、实现业务层面的融合与互通^[1]。为了保障协同通信网络的稳定、可靠和高效运行,满足不同类型业务的需求,提高整体

性能和服务质量^[2],研究节点流量控制方法,具有重要应用价值。

龚万炜等^[3]研究了一种无线网络协同通信网络节点流量控制方法,该方法基于多端口并行技

术,构建无线网络的多端口模型,依据性能情况对网络多端口分配流量,通过模糊逻辑控制器对网络的每条链路上的拥堵状态进行获取并反馈,依据模糊逻辑对舍弃输入的违约流量信元操作进行判断。但基于模糊逻辑的控制器计算复杂,会产生额外延时,影响网络性能。宋小芹^[4]提出了一种基于 IPv6 分段路由的无线网络协同通信网络节点流量调度算法,将采集的无线网络数据保存为 IPv6 数据报文,通过将报文转发到无线网络的交换机中实现与控制器的通信过程,规定添加传输控制协议乘积得到的值减少,相加得到的值增多,以此对网络节点流量进行收敛处理,对网络链路中的流量进行评估,判断网络链路的流量,求解最优链路。但该算法自适应无线网络环境变化效果差,无法制定实时调整流量调度策略,稳定性和可靠性较差。Elangovan 等^[5]提出了一种基于能效的反向路由策略,通过在无线网络中设计一种多跳反向路由技术,对网络的路由、链路稳定性和能源效率具有一定的增强效果,对网络节点进行调度。但该方法缺乏有效的大数据分析能力,无法准确评估海量网络节点流量,存在节点流量抖动情况,存在一定的弊端。Ikeda 等^[6]提出了一种无线网络协同通信网络节点流量控制方法,在控制的输入端引入约束条件,对网络中的有效控制节点进行提取后,引入凸松弛问题,将该问题转化为通信网络节点流量最优控制问题,通过对该问题求解,实现协同通信网络节点流量最优控制。但该方法需要提取有效控制节点,这可能涉及网络拓扑结构、节点之间的连接关系等因素,复杂度较高。

时延感知算法能够实时监测时延情况,在无线网络协同通信网络节点流量控制中,结合时延感知结果可有效优化网络性能、提高服务质量、提高资源利用率和增强网络稳定性^[7],因此,提出一种基于时延感知算法的无线网络协同通信网络节点流量控制方法,提高数据传输的效率和可靠性,为用户提供更加流畅和高效的体验。

1 无线网络协同通信网络节点流量控制方法

1.1 无线网络协同通信网络时延感知

无线网络通常涉及多个频段、多种协议和大量设备,这些因素可能导致状态波动和不稳定,由此,需要对当前网络状态进行监测^[8],了解网络的连通性、带宽利用率、信号强度、延迟等关键指标。网络带宽和网络延时是网络状态监测中常用的常数,在

本次研究中,以时延作为主要监测目标^[9]。

无线网络协同通信网络数据具体的传输过程为:

将服务器通信数据通过传输介质,传输电信号,在应用层进行处理,并缓存在转发端口。这一过程分别产生传播时延、处理时延、队列时延,由此计算总时延:

$$\delta = \delta_{\text{propagate}} + \delta_{\text{handle}} + \delta_{\text{queue}} \quad (1)$$

其中,分别将传播时延、处理时延、队列时延表示为 $\delta_{\text{propagate}}$ 、 δ_{handle} 、 δ_{queue} 。

由于无线网络协同通信网络数据传播形式为电磁波,且无线网络协同通信网络中不存在跨地区传输,电磁波的速度为 340 m/s,数据传输距离一般小于 1 s 内电磁波传播的距离,故网络数据的传播时延小于 1 且趋近于 0,表示为:

$$\delta_{\text{propagate}} \approx 0 \quad (2)$$

无线网络协同通信网络数据在经过处理后的等待发出的过程中会产生队列时延^[10],一般由输入、排队规则、服务机构三部分组成。通过通信网络将数据映射到过程中,则服务机构一般表示服务器,服务的对象为产生的数据流。

设无线网络协同通信网络队列时延中以泊松分布作为输入,均值为 α ,即产生的数据流到达量。设 β 表示服务机构部分的服务率,队列模型的状态转移情况如图 1 所示。

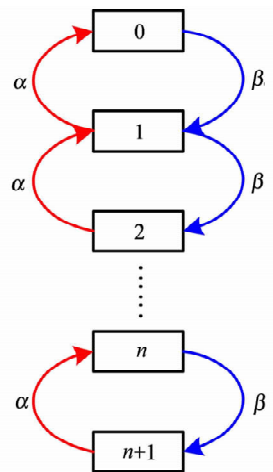


图 1 队列模型的状态转移情况

通过图 1 所示的队列模型状态转移情况,能够得出平衡方程,表示为:

$$\alpha\mu_0 = \alpha\mu_1 \quad (3)$$

$$\alpha\mu_{m-1} + \beta\mu_{m+1} = (\alpha + \beta)\mu_m, \quad m \geq 1 \quad (4)$$

通过式(3)和式(4)能够得到各个阶段队列模型状态转移的概率,表示为:

$$\mu_0 = (\beta - \alpha) / \beta \quad (5)$$

$$\mu_m = (\alpha^m / \beta^m) [(\beta - \alpha) / \beta], \quad m \geq 1 \quad (6)$$

其中,将无线网络协同通信网络中队列时延的服务强度表示为 χ , $\chi = \alpha / \beta$, 则 $\mu_0 = 1 - \chi$, $\mu_m = \chi^m \mu_0$ 。设平均的队列长度、平均的等待队列长度、平均停留时间、平均等待时长表示为 D_q 、 D_{wq} 、 T_s 、 T_q , 则可依据期望得到平均的队列长度、平均的等待队列长度^[11], 表示为:

$$D_q = \sum_{m=0}^{\infty} m \mu_m = \sum_{m=0}^{\infty} m \chi^m (1 - \chi) = \chi(1 - \chi) \sum_{m=1}^{\infty} m \chi^{m-1} = \dots = \alpha / (\beta - \alpha) \quad (7)$$

$$D_{wq} = \sum_{m=1}^{\infty} (m - 1) \mu_m = \sum_{m=0}^{\infty} m \mu_m - \sum_{m=0}^{\infty} \mu_m = D_q - (1 - \mu_0) = D_q - \chi \quad (8)$$

其中, $T_s = 1 / (\beta - \alpha)$, 数据在传输过程中的平均等待时间为平均停留时间和平均服务时间的差值^[12], 因此得到数据平均等待时间的表达式为:

$$T_q = T_s - 1 / \beta = 1 / (\beta - \alpha) - 1 / \beta \quad (9)$$

将无线网络协同通信网络服务器的接口带宽、 t 时刻接收的数据量表示为 G 、 H_t 。则链路中的队列时延表示为:

$$\delta_{\text{queue}} = 1 / [G - H_t (T_q + T_s)] - 1 / G (D_q + D_{wq}) \quad (10)$$

无线网络协同通信网络中的多租户技术是一种实现多用户环境下共用相同的系统或程序组件的软件架构技术,能够确保各用户间数据的隔离性^[13]。多租户技术中能够建立需要的 CPU 资源,在数据处理同时能够实现不同数据流的隔离。

通信网络负载率随着请求流的增多而升高,因此节点处理数据流的能力呈逐渐下降趋势,过程中产生的处理时延逐渐增多,设通信网络中节点处理数据流的速率 v 为总数据流量和剩余的数据流量的比值,则通信网络节点的处理时延表示为:

$$\delta_{\text{handle}} = 1 / v \quad (11)$$

在进行时延感知算法之后,能够得到无线网络协同通信网络中传输时延、处理时延和传播时延情况,从而进行拥塞状况、节点负载情况以及数据传输效率的判断^[14]。

1.2 时延感知下的节点流量控制

1.2.1 速率调节机制

通过将无线网络协同通信网络存在拥塞状况的通信网络节点负载情况信息反馈至上游通信网络节点,为了通过一定的方式实现通信网络节点的

发送速率,减少拥堵风险,设计速率调节机制,降低无线网络协同通信网络数据传输过程中的丢包率。

具体的通信网络节点的发送速率调节实现过程如下:

设在无线网络协同通信网络中由上游通信网络节点 a 向下游通信网络节点 b 发送一个数据包,下游通信网络节点 b 对当前时刻的通信网络拥堵程度进行判断,同时将通信网络拥堵程度的结果反馈至上游通信网络节点 a ,节点 a 通过将上一时刻的网络拥堵程度与现时刻网络拥堵程度相结合^[15],从而执行相应的网络流量控制策略,同时,通信网络节点 a 继续向上游传递通信网络拥堵信息。

首先,通过设定阈值,将无线网络协同通信网络拥堵状态分为 4 个等级,设 3 个阈值分别为:

η_1 、 η_2 、 η_3 , 且 $0 < \eta_1 < \eta_2 < \eta_3 < 1$, 则:

(1) 当时延值 $0 < \delta < \eta_1$, 则表示此时无线网络协同通信网络节点的拥堵状态为级别 0;

(2) 当时延值 $\eta_1 < \delta < \eta_2$, 则表示此时无线网络协同通信网络节点的拥堵状态为级别 1;

(3) 当时延值 $\eta_2 < \delta < \eta_3$, 则表示此时无线网络协同通信网络节点的拥堵状态为级别 2;

(4) 当时延值 $\eta_3 < \delta < 1$, 则表示此时无线网络协同通信网络节点的拥堵状态为级别 3。

若通信网络节点 a 接收到通信网络节点 b 反馈的无线网络协同通信网络拥堵状态信号,则通过如下公式做出节点发送速率调节:

$$\begin{cases} v_{01} = v_0 / k_1 \\ v_{02} = v_0 / k_2 \\ v_{03} = v_0 / k_3 \\ v_{12} = v_0 / k_4 \\ v_{13} = v_0 / k_5 \\ v_{23} = v_0 / k_6 \end{cases} \quad (12)$$

其中,分别将无线网络协同通信网络节点拥堵由 0 级到 1 级、0 级到 2 级、0 级到 3 级、1 级到 2 级、1 级到 3 级、2 级到 3 级的速率表示为 v_{01} 、 v_{02} 、 v_{03} 、 v_{12} 、 v_{13} 、 v_{23} , 将通信网络节点初始发送速率表示为 v_0 , k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 、 k_5 、 k_6 表示常数。

1.2.2 多点协同通信调节机制

为了扩大多点协同通信,在节点发送速率调节基础上,通过多点协同通信系统对节点的传输时延、处理时延和传播时延情况进行调配,从而避免拥塞状况,实现节点流量控制。

在无线网络协同通信网络中,接收到的信噪比

表示为:

$$\gamma_r = W(m=b) / \sum_{m \neq b} W(m) + W_{\text{noise}} \quad (13)$$

其中,分别将无线网络协同通信网络从无线基站处接收到的功率、接收噪声的功率表示为 $W(m=b)$ 、 W_{noise} 。

通信网络从无线基站处接收的噪声功率通过式(14)表示。

$$W_{\text{noise}} = \rho_0 + 10 \lg G \quad (14)$$

其中,分别将噪声光谱密度、无线网络协同通信网络分配的通信网络频率带宽表示为 ρ_0 、 G , $\rho_0 = -174 \text{ dBm/Hz}$ 。

无线网络协同通信网络中,通过传输节点集合 K_c 在下行共享信道中进行协同调度,且能够实现无线网络协同通信网络数据的交换过程。

设无线网络协同通信网络,通过正弦波峰阶段实现通信网络节点的调度过程,则共享信道的功率表达式为:

$$W_c = \sum_{m \in K_c} W(m) \quad (15)$$

在协同传输过程中,无线网络协同通信网络接收到的下行信噪比表示为:

$$\gamma_{rd} = W_c / \left[\sum_{m \in K/K_c} W(m) + W_{\text{noise}} \right] \quad (16)$$

其中,未参与协同传输的无线基站功率作为扰动信号,参与协同传输的无线基站功率为群度,通过 m_i 表示。由式(15)和式(16)所示,扰动随 m_i 增加而减少,故通信网络中下行通信网络节点容量为表示为:

$$Z = G \log_2 (1 + \gamma_{rd}) \quad (17)$$

其中,将无线网络协同通信网络输出侧的信噪比表示为 γ_{rd} 。

根据拥堵位置,计算其下行所有通信网络节点的容量,选取容量 Z 最大的下行通信网络节点作为无线网络协同通信网络的信息传输节点,调配传输时延、处理时延和传播时延情况,并反复循环此步骤,构建多点协同传输集合,以通信网络节点不断调配的过程,实现网络节点流量控制。

2 实验与结果分析

为验证无线网络协同通信网络节点流量控制效果,选用某小区内无线区域网络作为实验对象。该区域部署了多个无线网络节点,包括 WiFi 接入

点、蜂窝基站和微基站等。这些网络节点协同工作,共同为用户提供无缝的通信体验。然而,由于不同区域的用户密度、业务需求和网络资源分布不均,网络节点之间的流量可能会出现不平衡,某些区域出现网络拥塞情况。

其中,每个蜂窝基站初始时分配 500 Mbps 的带宽资源,每个微基站初始时分配 200 Mbps 的带宽资源。每个蜂窝基站覆盖区域内,初始时约有 200 个活跃用户,主要进行网页浏览、移动支付等低延迟业务;微基站覆盖区域内,初始时约有 100 个活跃用户,业务需求较为多样,包括语音通话、视频通话、数据下载等。其无线网络节点布置情况如下:

(1)基站节点:无线网络中的核心设备之一,主要功能为用户设备间的无线通信,常用的设备为无线路由器。

(2)用户设备节点:无线网络中的终端设备,实现与基站节点间的无线通信,常用设备为智能手机、计算机等。

(3)中继节点:在无线网络中主要负责信号质量增强的设备,主要的设备为无线中继器等。

每个 WiFi 接入点初始时约有 50 个活跃用户,主要进行视频流、在线游戏等高带宽业务,初始带宽为 10 Mbps,每个 WiFi 接入点初始时分配 100 Mbps 的带宽资源。构建协同通信网络结构如图 2 所示。

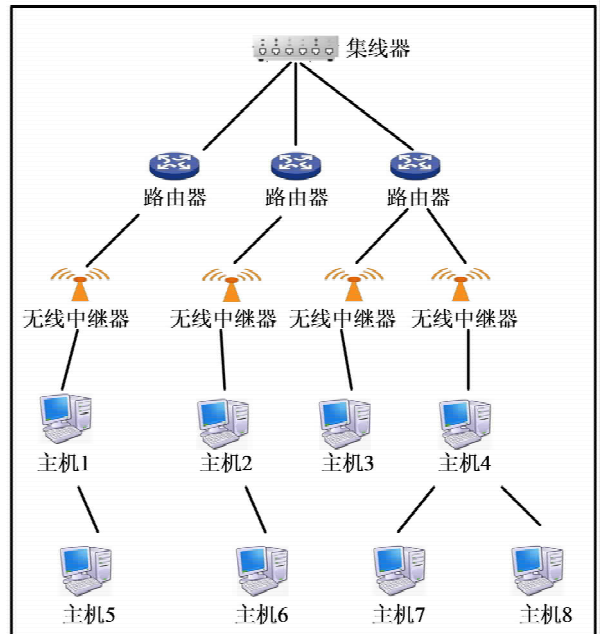


图 2 协同通信网络结构

测速状态结果如图 3 所示。

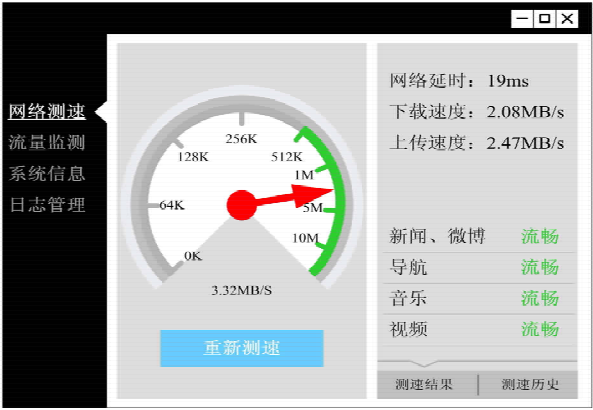


图 3 网络测速状态结果

由图 3 所示,通过本文方法实现无线网络协同通信网络节点流量控制后,无线网络协同通信网络状态良好,网络延时较短,具有较高的下载速度和上传速度,因为本文方法设计了速率调节机制,执行相应的网络流量控制策略,降低无线网络协同通信网络数据传输过程中的丢包率,通过速率调整和多点协同的启用,用户侧各功能均能够流畅使用,表明节点流量控制效果良好。

为进一步验证本文方法实现无线网络协同通信网络节点流量控制效果,结合 12 个月内的无线网络协同通信网络的节点流量数据进行实验。其中,前 6 个月未使用本文方法,后 6 个月通过使用本文方法进行网络节点流量控制,通过抖动对网络节点流量情况进行评价,抖动表示网络时延的变化程度。12 个月内无线网络协同通信网络节点流量抖动情况如图 4 所示。

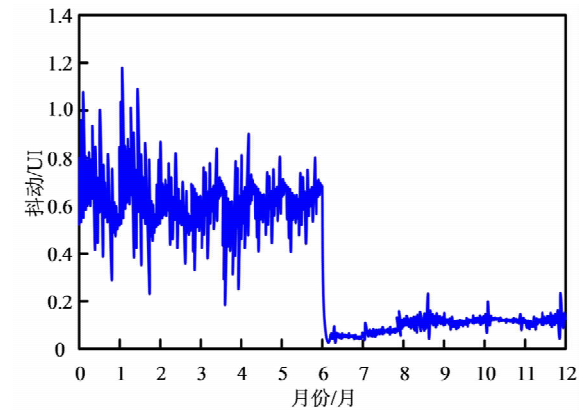


图 4 无线网络协同通信网络节点流量抖动情况

由图 4 可知,前 6 个月内,无线网络协同通信网络节点流量抖动曲线呈现出较大的波动情况,此

时网络性能较差,可能导致数据传输的不稳定和延迟。在后 6 个月内,通过使用本文方法实现无线网络协同通信网络节点流量控制,网络节点流量抖动曲线呈现出较为平稳的趋势,且值较小,稳定性得到了显著提升,因为本文方法结合了拥塞状况、节点负载情况以及数据传输效率的判断过程,可以显著减少网络中的拥塞和冲突,提高数据传输的效率和可靠性,从而为用户提供更加流畅和高效的网络体验。

将本文方法对比通信网络节点控制中常用的卷积神经网络方法和机器学习方法,利用网络最终的吞吐量进行评价,吞吐量指网络在特定时间内成功传输的数据量。得到三种方法在不同节点数量网络规模下的网络节点控制下网络吞吐量变化情况如图 5 所示。

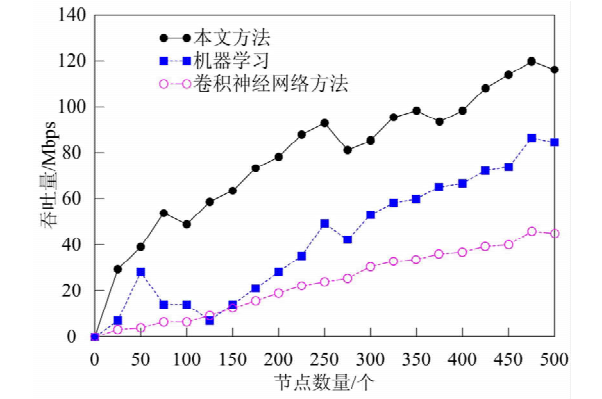


图 5 网络节点控制情况

由图 5 所示,通过对控制后的网络吞吐量进行统计,随着节点数量逐渐增多,三种方法在不同节点数量通信网络环境下,对于节点流量控制的效果存在较大差异,本文方法吞吐量逐渐增大,因为本文方法分析了队列模型的状态转移情况,确保各用户间数据的隔离性,能够通过合理的资源分配和流量调度,实现网络性能的优化,具有更好的扩展性和鲁棒性。

通过本文方法进行无线网络协同通信网络的节点流量控制,进行 6 个月内的网络拥堵情况进行统计汇总,结果如表 1 所示。

由表 1 可知,发生的各种故障及特殊情况导致无线网络协同通信网络出现拥堵情况,通过本文方法对发生拥堵情况的通信网络进行节点流量控制,因为本文方法通过多点协同通信系统对节点的传输时延、处理时延和传播时延情况进行调配,有效地解决无线网络协同通信网络的拥堵问题。不仅提高了网络的通信效率,还增强了网络的稳定性和

可靠性。

表 1 6 个月内的网络拥堵情况

编号	时间	网络状态	实际引发原因	速率调整	多点协同	是否解决
1	2/4	拥堵	节点故障	$v_0/4$	启用	是
2	2/18	拥堵	数据流过多	$v_0/2$	未启用	是
3	3/12	拥堵	网络病毒	$v_0/2$	未启用	是
4	3/25	拥堵	节点故障	$v_0/8$	未启用	是
5	4/2	拥堵	带宽不足	$v_0/2$	启用	是
6	4/28	拥堵	网络病毒	$v_0/2$	未启用	是
7	5/29	拥堵	节点故障	$v_0/8$	启用	是
8	6/24	拥堵	节点故障	$v_0/4$	启用	是
9	6/26	拥堵	数据流过多	$v_0/4$	启用	是
10	7/16	拥堵	运营商设备故障	$v_0/2$	未启用	是

3 结 论

网络节点流量控制能够保证无线网络协同通信网络的稳定、可靠和高效运行,通过本文方法能够实现有效的无线网络协同通信网络节点流量控制,能够有效解决无线网络协同通信网络的拥堵问题。不仅提高了网络的通信效率,还增强了网络的稳定性和可靠性。

参考文献

[1] 赵巍. 基于改进长短时记忆神经网络的 5G 通信网络流量预测[J]. 沈阳工业大学学报,2022,44(6):672—676.

[2] 朱浩文,金仲和,应乐,等. 空间 AOS 链路网络自动流量控制设计与实现[J]. 航天器工程,2022,31(5):87—94.

[3] 龚万炜,邢军. 基于模糊逻辑控制器的通信端口流量控制仿真[J]. 计算机仿真,2023,40(4):176—179+185.

[4] 宋小芹. 基于 IPv6 分段路由的高校网络流量调度算法[J]. 信息与电脑(理论版),2023,35(2):218—220.

[5] ELANGO VAN G R , KUMANAN T. Energy efficient and delay aware optimization reverse routing strategy for forecasting link quality in wireless sensor networks[J]. Wireless Personal Communications; An Internaional Journal, 2023, 128(2):923—942.

[6] IKEDA T , SAKURAMA K , KASHIMA K. Multiple sparsity constrained control node scheduling with application to rebalancing of mobility networks[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2022, 67(8):4314—4321.

[7] 江帆,李妍,宋琦琳. 车联网中时延感知的计算卸载和资源分配策略[J]. 西安邮电大学学报,2023,28(1):1—8.

[8] 冶娟. 基于自动交换光网络技术的电力通信传输网络控制方法研究[J]. 长江信息通信,2023,36(9):175—177.

[9] 孙转转. 基于深度学习的核心网流量预测和负载均衡方法研究[J]. 广东通信技术,2022,42(12):54—57+61.

[10] 谢娜,谭文安,孙勇,等. 多边缘服务器协作环境下基于时延感知的服务选择算法[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2022,45(2):126—135.

[11] 曲大鹏,张建坤,吕国鑫,等. 命名数据网络中带宽时延感知的拥塞控制机制[J]. 计算机科学与探索,2022,16(5):1076—1086.

[12] 邹剑,晏志强,兰涛,等. 通信运营企业短视频感知时延优化研究[J]. 长江信息通信,2023,36(4):231—235.

[13] 陶建军,黄勤,胡飞,等. 基于协同通信的移动自组网广播方案设计[J]. 通信技术,2023,56(7):854—861.

[14] 宋伯霖,许华,齐子森,等. 一种基于深度强化学习的协同通信干扰决策算法[J]. 电子学报,2022,50(6):1301—1309.

[15] 王志强,王先传. 基于超参数区域匹配机制的无线传感网流量优化算法[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版),2023,39(4):28—33.