

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2019.03.014

网络出口资源受限的自适应带宽分配策略

原欣, 陶桦, 朱力纬

(东南大学网络与信息中心, 南京 211189)

摘要: 各级网络通常会受到出口带宽容量的限制, 随着互联网技术的普及和应用的增多, 网络出口普遍面临容量升级的压力. 虽然出口扩容能够解决高峰期的瓶颈问题, 但通常也会带来设备升级开支以及更高额的带宽租赁费. 基于出口带宽用量的潮汐特征, 将终端策略的带宽和QoS进行分级分档, 并引入警戒系数, 提出一种“逐级升档、快速降档”的自适应动态带宽分配算法, 实现了高峰期约束出口带宽和保证基本业务的目标, 同时算法可以对出口扩容提供预警信息. 实验部分通过真实的网络设备搭建测试环境, 验证了算法的正确性和有效性.

关键词: 资源受限; 带宽分配; QoS等级; 自适应; 潮汐特征

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 0490-6756(2019)03-0463-06

Resource-constrained adaptive dynamic bandwidth allocation

YUAN Xin, TAO Hua, ZHU Li-Wei

(Network and Information Center, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: Networks are usually limited by the bandwidth for internet access, with the popularity of Internet and the proliferation of its applications, Networks are extensively facing the pressure from the expansion of bandwidth for Internet access. Although the peak bandwidth requirement can be satisfied by increasing bandwidth for internet access, the cost of network facility upgrade is increased and more expensive rental charge of bandwidth for Internet access would be paid. Based on the tidal characteristics of bandwidth utilization, this paper proposed an adaptive algorithm of dynamic bandwidth allocation. In this algorithm, multiple levels of bandwidth and QoS are configured respectively and an alerting factor is introduced. Meanwhile, early warning information of bandwidth expansion for Internet access can be provided. Experiments are conducted to demonstrate the correctness and effectiveness of the proposed algorithm.

Keywords: Resource-Constrained; Bandwidth allocation; Quality-of-Service Level; Adaptive; Tidal characteristics

1 引言

随着互联网技术的发展和普及, 网络用户的规模不断扩大. 截至2017年12月, 中国网民规模已达7.72亿, 国际出口带宽也再创新高, 达到 7.32×10^6 Mbps, 年增长10.2%^[1]. 近年来, 各骨干网、城

域网及园区网普遍面临出口扩容的压力. 然而, 出口带宽的实际用量具有明显的潮汐特征. 以东南大学电信1 Gbps出口为例, 2016年1月其谷值为73.78 Mbps, 而峰值达964.18 Mbps, 已接近网络容量上限. 虽然出口扩容能够解决高峰期的瓶颈问题, 但通常也会带来设备升级开支以及更高额的带

收稿日期: 2018-07-12

作者简介: 原欣(1986-), 女, 山西省运城市, 硕士, 助理工程师, 研究方向为网络管理、网络安全. E-mail: xyuan@seu.edu.cn

通讯作者: 陶桦. E-mail: htiao@seu.edu.cn

宽租赁费. 因此, 研究出口容量受限条件下的带宽分配问题对合理规划和使用网络资源具有重要的现实意义.

在宽带接入网带宽总容量受限的情况下, 当带宽资源利用率已处于饱和状态时, 新发起连接的业务服务质量将无法得到保证, 因此需要采取有效的接入控制策略使得基本业务的 QoS 得到保证, 同时尽可能为更多的用户提供网络服务. 本文基于出口带宽用量的潮汐特征, 对高峰期终端带宽实际用量进行概率分析, 并将终端带宽额定值进行分级分档, 提出了出口资源受限的情况下“逐级升档、快速降档”的自适应动态带宽分配算法 RCDBA (Resource-Constrained Dynamic Bandwidth Allocation). 实验部分给出了具体的实现方法并对算法的正确性和有效性进行了验证.

2 相关工作

现有的带宽分配方法一种是静态带宽分配方法 SBA (Static Bandwidth Allocation), 如部分信道保护策略、完全共享和完全划分策略^[2], 这种带宽分配方法最大的缺点就是不能适应流量模式的变化. 另一种是动态带宽分配方法 DBA (Dynamic Bandwidth Allocation), 它对终端带宽需求的时空差异具有更好的适应性, 因此许多研究围绕 DBA 而展开. 文献[3]针对无线流媒体业务利用分层多描述编码的特性, 通过 QoS 升降级策略使带宽资

源得到合理高效的利用. 文献[4]针对当前网络中不同业务的 QoS 需求, 综合考虑业务优先级及业务负载, 提出一种动态带宽分配策略 E-DBA. 文献[5]提出一种支持 QoS 的多链路最少变换动态带宽分配方法 MCDBA, 该方法量化了带宽分配的大小, 在满足一定 QoS 限制的条件下最小化带宽分配变换次数. 文献[6]设计了业务流量预测和带宽分配模型, 提出了多业务流量预测动态带宽分配方法. 文献[7]提出一种基于分布式博弈理论的带宽分配方法, 通过最大化效用函数来决策用户带宽分配并通过证明得到纳什均衡点. 文献[8]针对命名数据网络提出了一种主动发现网络拥塞的动态带宽控制算法. 上述方法在带宽分配时多关注于微观结果(如终端 QoS), 未将宏观影响作为重要参数, 因此不适用于以约束出口带宽用量为关注点的应用场景.

3 RCDBA 算法

出口带宽由网络域内终端共享, 在终端用量均匀的情况下, 出口带宽主要随着在线终端数而变化, 并存在明显的潮汐现象. 图 1 以东南大学校园网在线终端数典型的一天变化为例, 谷值出现在凌晨时段约 3.2×10^3 , 峰值出现在白天达到近 1.2×10^4 . 而出口带宽用量最高也正是出现在终端数峰值时段. 因此, 解决网络容量的瓶颈问题关键在于如何处理好高峰期的带宽资源分配.

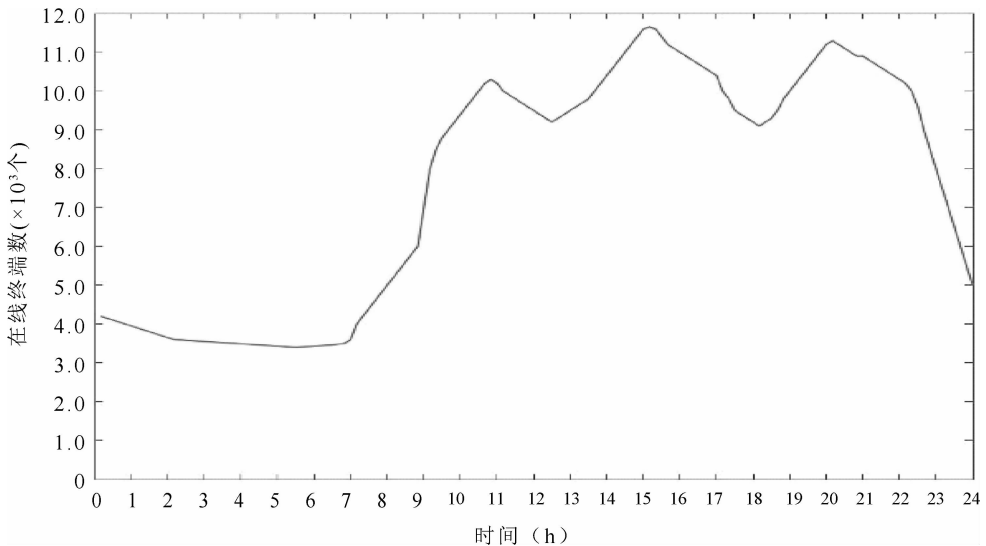


图 1 24 小时在线终端数

Fig. 1 24 hours online terminal number

另一方面, 网络中的多种业务(例如 HTTP、EMAIL、VoIP、P2P 等)通常存在优先等级. 文献

[3-5]就将业务优先级体现在不同的 QoS 定义中, 进而在动态带宽分配时指定不同的带宽及业务保

证等级,如表1所示.按照不同业务的QoS要求,将网络业务分为三类:①第一类业务实时性比较强,对时延非常敏感,必须保证带宽,例如VoIP等;②第二类业务对时延有一定要求,带宽要求也较高,采用具有最低带宽保障方式进行动态带宽分配;③第三类业务对时延和带宽要求较低,优先级最低,采用机会式占用系统剩余带宽,保障系统的公平性.

表1 业务分类

Tab.1 Business classification

类型	优先级	特点
第一类业务	高	实时性强、时延敏感
第二类业务	中	对时延有一定要求,带宽要求较高
第三类业务	低	对时延、带宽要求较低

3.1 算法假设及定义

假设网络出口带宽的容量为 C , t 时刻网络终端数为 $n(t)$,第 i 个终端带宽实际用量为 $X_i(t)$,出口带宽实际用量为 $B(t)$,则

$$B(t) = \sum_{i=1}^{n(t)} X_i(t) \quad (1)$$

而 $\forall t$,网络运行应满足 $B(t) \leq C$,但考虑到当 $B(t) = C$ 时,网络拥塞风险已较高,因此引入警戒系数 $\alpha \in (0, 1]$,使得

$$B(t) \leq \alpha \cdot C \quad (2)$$

同时,目前主流的网络宽带远程接入服务器BRAS(Broadband Remote Access Server)均支持多组带宽策略配置,因此可定义终端带宽额定值集合

$$u = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}, u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_m \quad (3)$$

其中, u_i 不仅可以定义终端带宽,也可以区分定义各业务QoS等级,例如低带宽仅保证HTTP、EMAIL等业务,高带宽可支持流媒体等业务.本文所用的符号如表2所示.

表2 符号表

Tab.2 Symbol table

符号	含义
C	网络出口带宽容量
α	警戒系数
$B(t)$	t 时刻网络出口实际使用带宽
$u(t)$	t 时刻终端带宽额定值
$n(t)$	t 时刻终端数
$X_i(t)$	t 时刻第 i 个终端带宽实际使用值
$p_j(t)$	t 时刻 $X_i(t)$ 在 $[u_{j-1}, u_j]$ 区间的概率

在不超出网络容量的前提下,实际运行时为提高用户SLA(Service Level Agreement)满意度一

般会要求按最大化分配终端带宽,由此得到DBA的优化方程为

$$\begin{cases} \text{Max}\{u(t)\} \\ \text{s. t. } B(t+1) \leq \alpha \cdot C \end{cases} \quad (4)$$

其中, $t+1$ 时刻出口带宽实际用量 $B(t+1)$ 可作为反馈量影响下一周期的带宽分配.当出口带宽达到警戒值 $\alpha \cdot C$ 时,DBA算法需要对终端带宽进行降档操作以缓解出口压力.然而在降档过程中,应尽量减少对用户造成的影响.为保证大部分用户的使用体验,RCDBA在降档时对当前所有终端的带宽用量 $X_i(t)$ 求其在 $\omega = \{[0, u_1], [u_1, u_2], \dots, [u_{m-1}, u_m]\}$ 上的模糊概率期望

$$E(u(t)) = \sum_{j=1}^m p_j(t) \cdot u_j \quad (5)$$

并将该值作为降档首选目标值以满足多数终端的带宽需求,其中 $p_j(t)$ 表示 $X_i(t)$ 落在区间 $[u_{j-1}, u_j]$ 的统计概率,可通过大小值比较快速计算得出.若该期望值分配后仍不能使出口带宽用量回归警戒值以下,则实行逐级降档直至满足要求.

3.2 优化算法

本文设计的自适应动态带宽分配算法描述如算法1.

算法1 RCDBA (Resource-Constrained Dynamic Bandwidth Allocation)

功能:实现出口带宽受限下的动态带宽分配

输入:出口及各终端的带宽用量、终端带宽额定值集合

输出:动态带宽分配策略

Begin

① 定义迭代周期并按照式(3)定义终端带宽额定值集合.

② t_0 时刻初始化终端带宽策略为 u_1 .

③ $t+1$ 时刻判断新的终端带宽策略.具体分两种情况进行分配:

第一种情况:当出口带宽满足式(2)时,将终端带宽额定值 $u(t)$ 逐级升档.当 $B(t+1)$ 大于警戒值时发出告警.

第二种情况:当出口带宽不满足式(2)时, $u(t)$ 先根据式(5)计算出目标值快速降档,仍不满足式(2)则逐级降档.

④ 重复步骤③直至满足式(4).

End.

3.3 性能分析

算法主要功能实现在步骤③中,在计算降档目标值时需要遍历 n 个终端,因此算法复杂度为 $O(n)$. 从实际运行代价看,当 RCDBA 作为第三方软件运行时,其执行时间主要依赖于终端和出口带宽值的监测效率.

4 实验及结果分析

4.1 实验环境

网络终端可以通过 BRAS 设备汇聚到出口,同时 BRAS 设备支持多级带宽和 QoS 配置,并支持带宽策略的动态下发. 本文实验采用 Juniper MX960 作为 BRAS 设备,用 Spirent TestCenter 模拟终端上线和发送流量,并通过 FreeRADIUS V2. 2. 0 提供动态带宽的下发接口并将用户在线状态记录到数据库 MySQL V5. 1. 72 中,RCDBA 算法用 C 实现. 实验拓扑如图 2 所示.

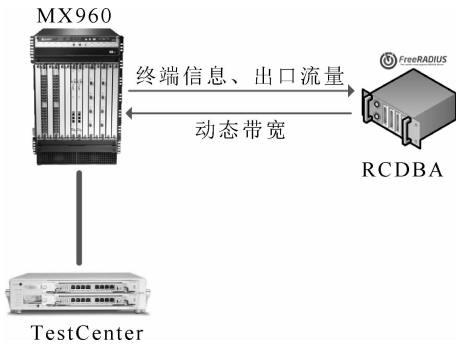


图 2 实验拓扑

Fig. 2 Experimental topology

4.2 实验过程

具体实验过程如下.

① 在 BRAS 预先定义 11 组带宽及 QoS 配置,命名为 $u = \{1.0M, 1.1M, \dots, 2.0M\}$, BRAS 的出口带宽容量为 10 Gbps. 另外,考虑到终端及出口带宽的监测效率,定义 DBA 调整周期为 5 min.

② 用 TestCenter 根据图 1 所示的规律模拟终端上线,并按 2 Mbps 以内的随机速率发送网络流量模拟终端的带宽需求.

③ 终端上线时, BRAS 会将上线信息通过 RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service) 协议发送给 FreeRADIUS 服务器并记录到数据库中,同时 FreeRADIUS 会返回带宽策略给 BRAS 作为该终端在 BRAS 上的带宽额定值.

④ 当 DBA 周期到达时则启动 RCDBA 程序,通过 SNMP 读取 BRAS 出口及各终端的带宽用量,再由 RCDBA 算法计算并通过 RADIUS 的 CoA (Change of Authorization) 接口下发新的带宽策略.

⑤ 重复实验直至图 1 所示的 24 小时数据运行完毕.

4.3 结果分析

为更好的对比,本文分别进行了固定带宽 1 M、2 M 以及 RCDBA 警戒系数的实验. 图 3 和图 4 分别展示了出口带宽和终端带宽需求满足度在 24 小时内的变化:

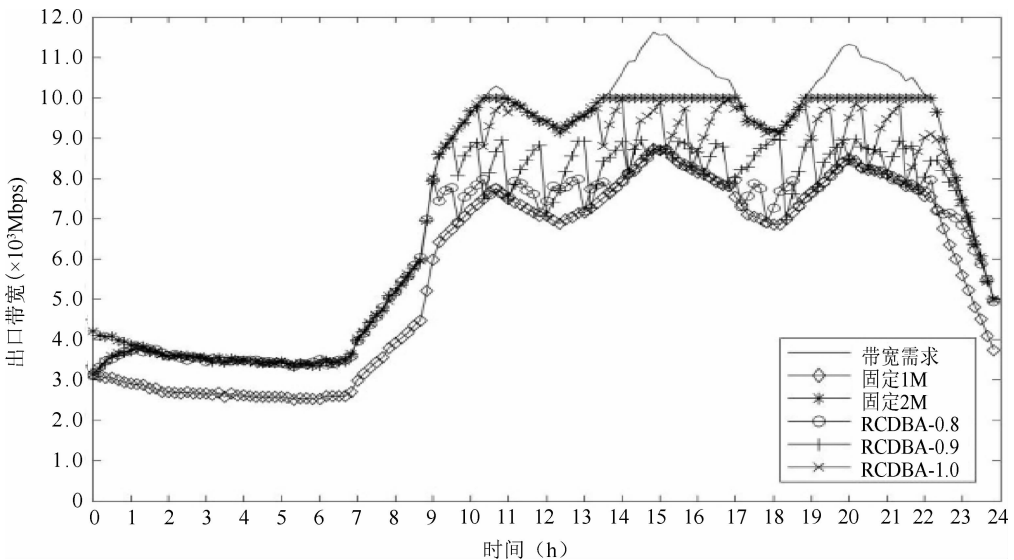


图 3 出口带宽

Fig. 3 Export bandwidth

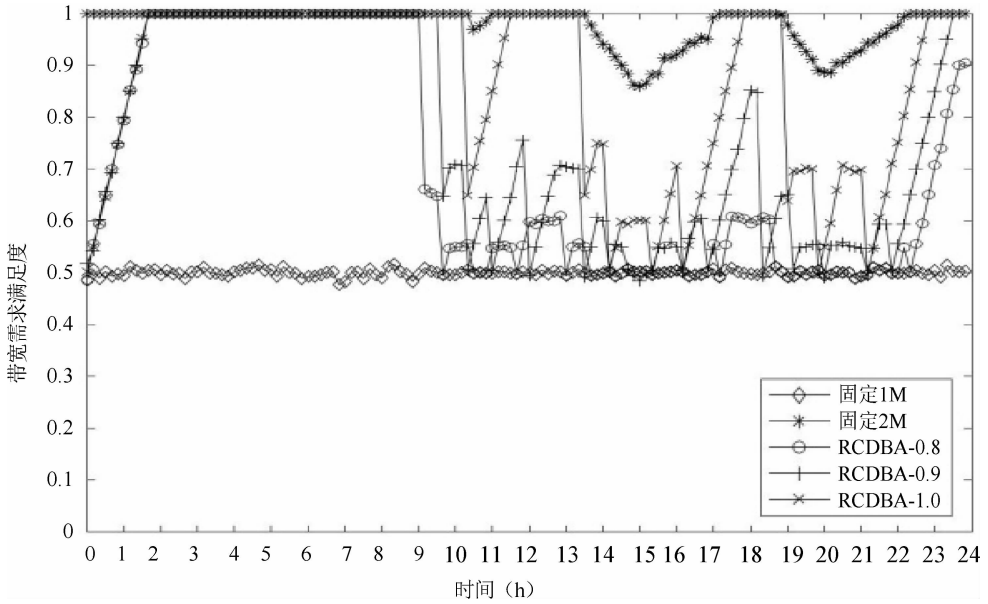


图 4 终端带宽需求满足度
Fig. 4 Terminal bandwidth requirement satisfaction

其中,可以看出在终端在线高峰时段,出口带宽需求量已超过额定容量 10 Gbps. 在固定带宽 2 M 的策略下,虽然终端可以获得较长时间的带宽满足度,但在高峰时段出现了出口带宽占满的问题,网络拥塞风险极高;在固定带宽 1 M 的策略下,出口带宽用量超限的问题得到解决,但终端满

足度却处于最低位,即使在出口带宽用量较低时,终端也始终采用最小的带宽策略;在 RCDBA 策略下,通过在高峰时段的动态策略调整,不仅出口带宽用量得到了约束,而且终端带宽满足度在出口空闲时段得到了较大的提升,在高峰时段终端的基本业务需求也可以得到保证.

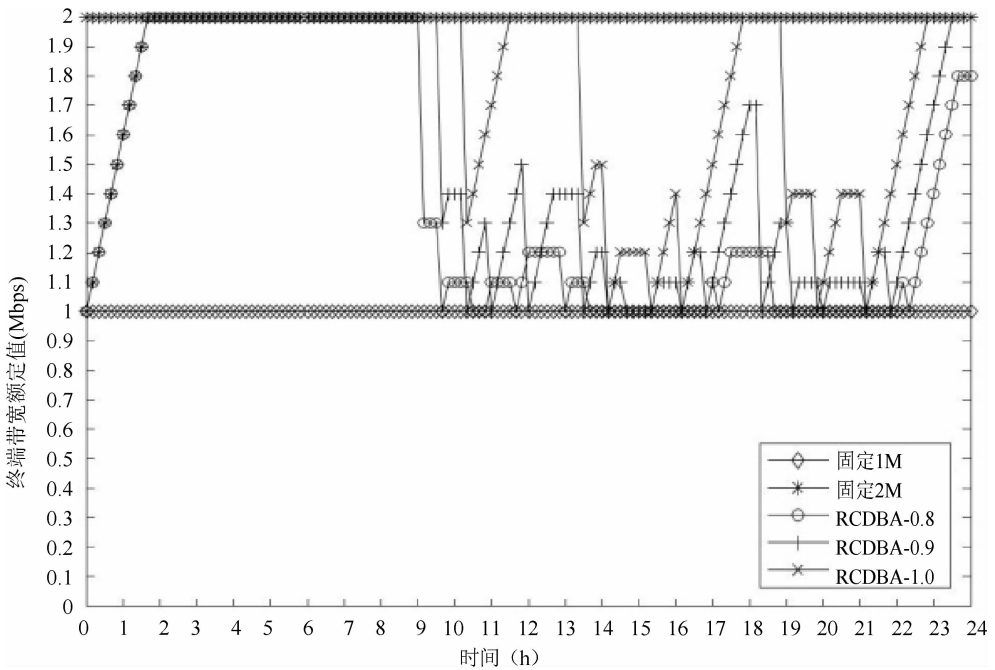


图 5 终端带宽分配
Fig. 5 Terminal bandwidth allocation

另外,一个有趣的现象是:当时,RCDBA 在 14:00~16:00 以及 19:00~21:00 时段未能将出口

带宽用量控制在警戒值 8 Gbps 以内,这是由于即使在最小带宽额定值 1 M 的策略下,出口带宽用量

仍然会超出警戒值. 这一问题虽然可以通过预设更小的额定值来解决, 但当最小额定值已接近用户 SLA 底限时, 则意味着需要通过出口带宽扩容来解决, 这也是 RCDBA 给出的警示信号.

图 5 展示了 RCDBA 终端带宽分配的变化, 在 00:00~02:00 时段, 由于此时出口带宽用量处于低位, 终端带宽由初始的 1 M 逐级升档到最大带宽 2 M, 提升用户的使用体验. 而当出口用量达到警戒值时, 终端带宽则快速降低到当前的终端期望值, 随后在依据出口用量再进行进一步调整.

5 结 论

本文针对目前网络出口带宽资源受限的现实问题, 通过在 BRAS 上配置多组分级分档的带宽策略, 实现了一种“逐级升档、快速降档”的自适应动态带宽分配算法 RCDBA, 有效地解决了网络容量受限条件下的带宽分配问题并可对出口扩容提供警示. 进一步的研究工作包括个性化动态带宽分配以及结合带宽预测方法的动态带宽分配等.

参考文献:

[1] CNNIC. 中国互联网络发展状况统计报告 [R].

(2018-08-20)[2018-08-25]. http://www.cac.gov.cn/2018-08/20/c_1123296882.htm2018.

- [2] Wu H L, Li L Z, Li B. On hand off performance for an integrated voice/data cellular system [C] // Proceedings of the IEEE PIMRC2002. Lisbon, Portugal: [s. n.], Sep. 2002.
- [3] 黄晓涛, 程晓晨, 卢正鼎. 一种分层多描述编码的动态带宽分配策略 [J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31: 1030.
- [4] 金顺福, 吕倩, 王朋, 等. 一种动态带宽分配策略及其性能分析 [J]. 计算机工程, 2012, 38: 83.
- [5] 梁根, 俞鹤伟, 孙立民, 等. 支持 QoS 的多链路最少变换动态带宽分配算法 [J]. 通信学报, 2015, 36: 2015006-1.
- [6] 梁根, 梁活民. 多业务流量预测动态带宽分配方法 [J]. 计算机工程与应用, 2013, 49: 82.
- [7] Zhang K, Wang Y, Shi C, *et al.* A non-cooperative game approach for bandwidth allocation in heterogeneous wireless networks [C] // Proceedings of the 2011 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2011). San Francisco, CA; IEEE, 2011.
- [8] 黄俊琳, 雷凯, 汪漪. 基于 BBR 的 NDN 拥塞控制算法 [J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2018, 30: 111.

引用本文格式:

中文: 原欣, 陶桦, 朱力纬. 网络出口资源受限的自适应带宽分配策略 [J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2019, 56: 463.

英文: Yuan X, Tao H, Zhu L W. Resource-constrained adaptive dynamic bandwidth allocation [J]. J Sichuan Univ: Nat Sci Ed, 2019, 56: 463.