

QoS技术中令牌桶算法实现方式比较

Comparison Between Token Bucket Algorithms in QoS Technology

李晓利/LI Xiao-li, 郭宇春/GUO Yu-chun

(北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044)

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

中图分类号:TN92 文献标识码:A 文章编号:1009-6868 (2007) 03-0056-05

摘要:令牌桶算法是目前IP QoS中最常采用的一种流量测量方法,广泛应用于约定访问速率技术、通用流量整形技术以及物理接口总速率限制等技术中。IETF RFC 建议规范了单速率三色标记和双速率三色标记两种令牌桶算法,在桶的构成、令牌添加和报文处理流程方面前者较后者简单,成为目前业界比较常用的流量标记方式。在实际应用中,应针对不同的流量特征选择恰当的标记方式。

关键词:令牌桶;单速率三色标记;双速率三色标记;流量监管

Abstract: The token bucket algorithm is the most popular method of traffic measuring in IP QoS technology. It has been widely used in Committed Access Rate (CAR), Generic Traffic Shaping (GTS), and Line Rate (LR) technologies. Two kinds of token bucket algorithms—a single rate three color marker and a two rate three color marker—have been recommended in the Internet Engineering Task Force (IETF) Request for Comment (RFC) documents. In view of the bucket architecture, the token adding, and the packet process, the single rate three color marker is easier than the two rate one. For practical applications, different traffic characteristics choose different algorithm.

Key words: token bucket; a single rate three color marker; a two rate three color marker; traffic policing

随着因特网的发展,IP业务不断快速增长。提高信息在IP网络上传输的质量是IP网发展中的一个关键所在。IP QoS技术的开发,目的就是为用户业务提供端到端的服务质量保证,已成为近几年业界研究的热点。目前存在多种IP QoS服务模型,其中应用最广的是区分服务模型(Diff-Serv)。DiffServ模型通过数据包分类、拥塞管理、拥挤避免、速率限制和流

量整形技术来实现服务质量控制,在其速率限制和流量整形中,主要使用了令牌桶算法来评估流量速率是否超过规定值^[1]。

本文第一部分阐述了一下网络工程师任务小组(IETF)请求注解(RFC)建议规范的两色令牌桶算法;第二部分简要介绍了令牌桶算法在IP QoS中的应用;第三部分详细说明了目前业界常用的两种实现方式,并

对两种方式的实现过程进行了具体的比较分析。

1 令牌桶算法基本原理

令牌桶是网络设备的内部存储池,而令牌则是以给定速率填充令牌桶的虚拟信息包。每个到达的令牌都会从数据队列领出相应的数据包进行发送,发送完数据后令牌被删除。

RFC中定义了两种令牌桶算法——单速率三色标记算法和双速率三色标记算法,其评估结果都是为报文打上红、黄、绿三色标记。QoS会根据报文的颜色,设置报文的丢弃优先级,其中单速率三色标记比较关心报文尺寸的突发,而双速率三色标记则关注速率上的突发,两种算法都可工作于色盲模式和非色盲模式。以下结合这两种工作模式介绍一下RFC中所描述的这两种算法。

1.1 单速率三色标记算法

IETF的RFC文件^[2]定义了单速率三色标记算法,评估依据以下3个参数:承诺访问速率(CIR),即向令牌桶中填充令牌的速率;承诺突发尺寸(CBS),即令牌桶的容量,每次突发所允许的最大流量尺寸(注:设置的突发尺寸必须大于最大报文长度);超额突发尺寸(EBS)。

一般采用双桶结构:C桶和E桶。 T_c 表示C桶中的令牌数, T_e 表示E桶中令牌数,两桶的总容量分别为CBS和EBS。初始状态时两桶是满的,即 T_c 和 T_e 初始值分别等于CBS和EBS。令牌的产生速率是CIR,通常是先往C桶中添加令牌,等C桶满了,再往E桶中添加令牌,当两桶都被填满时,新产生的令牌将会被丢弃。

色盲模式下,假设到达的报文长度为 B 。若报文长度 B 小于C桶中的令牌数 T_c ,则报文被标记为绿色,且C桶中的令牌数减少 B ;若 $T_c < B < T_c + T_e$,则标记为黄色,E和C桶中的令牌数均减少 B ;若 $B > T_c + T_e$,标记为红色,两桶总令牌数都不减少。

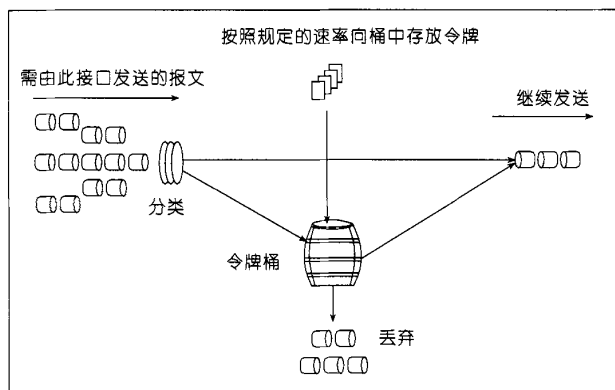


图1
CAR进行流量控制
示意图

在非色盲模式下,若报文已被标记为绿色或 $B < T_c$,则报文被标记为绿色, T_c 减少 B ;若报文已被标记为黄色或 $T_c < B < T_e$,则标记为黄色,且 T_e 减少 B ;若报文已被标记为红色或 $B > T_e$,则标记为红色, T_c 和 T_e 都不减少。

1.2 双速率三色标记算法

IETF的RFC文件^[3]定义了双速率三色算法,主要是根据4种流量参数来评估:CIR、CBS、峰值信息速率(PIR)、峰值突发尺寸(PBS)。前两种参数与单速率三色算法中的含义相同,PIR这个参数只在交换机上才有,路由器没有这个参数。该值必须不小于CIR的设置值,如果大于CIR,则速率限制在CIR于PRI之间的一个值。

与单速率三色标记算法不同,双速率三色标记算法的两个令牌桶C桶和P桶填充令牌的速率不同,C桶填充速率为CIR,P桶为PIR;两桶的容量分别为CBS和PBS。用 T_c 和 T_p 表示两桶中的令牌数目,初始状态时两桶是满的,即 T_c 和 T_p 初始值分别等于CBS和PBS。

色盲模式下,如果到达的报文速率大于PIR,超过 $T_p + T_e$ 部分无法得到令牌,报文被标记为红色,未超过 $T_p + T_e$ 而从P桶中获取令牌的报文标记为黄色,从C桶中获取令牌的报文被标记为绿色;当报文速率小于PIR,大于CIR时,报文不会得不到令牌,但超过 T_p 部分报文将从P桶中获取令

牌,被标记为黄色报文,从C桶中获取令牌的报文被标记为绿色;当报文速率小于CIR时,报文所需令牌数不会超过 T_c ,只从C桶中获取令牌,所以只会被标记为绿色报文。

在非色盲模式下,如果报文已被标记为红色或者超过 $T_p + T_e$ 部分无法得到令牌的报文,被标记为红色;如果标记为黄色或者超过 T_c 未超过 T_p 部分报文记为黄色;如果报文被标记为绿或未超过 T_c 部分报文,被标记为绿色。

2 令牌桶算法的应用

2.1 在流量监管中的应用

约定访问速率(CAR)是流量监管常用技术之一^[4],它的监管原理如图1所示。

根据预设的匹配规则先对报文进行分类,不符合匹配规则的报文不需要经过令牌桶的处理,直接发送;符合匹配规则的报文,则需要令牌桶

进行处理。当桶中有足够的令牌则报文可以被继续发送下去,同时令牌桶中的令牌量按报文的长度做相应的减少;当令牌桶中的令牌不足时,报文将不能被发送,只有等到桶中生成了新的令牌,报文才可以发送。这就可以限制报文的流量只能是小于等于令牌生成的速度,达到限制流量的目的。

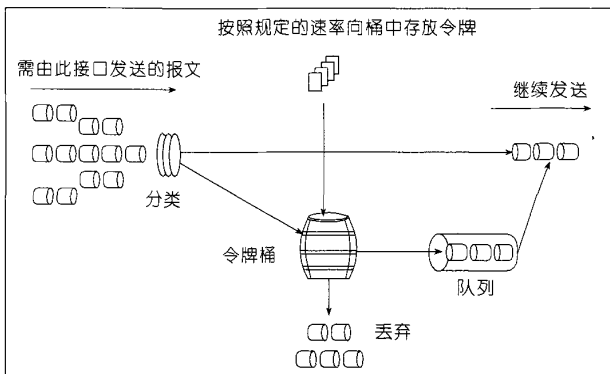
2.2 在通用流量整形中的应用

通用流量整形中(GTS)^[4](如图2所示)与CAR的原理稍有差别:第一,GTS只用于出方向流量限速,CAR出入方向均可以,但一般多用于入方向;第二,利用CAR进行报文流量控制时,对超过速率限制的报文直接丢弃,而GTS则是对超过速率限制的报文进行缓冲,即当令牌桶中的令牌少到报文不能再发送时,报文将被缓存入队列,等有了足够的令牌之后再发送,这样就减少了报文的丢弃,但是要注意的是,如果缓存队列已满,这时到达的报文仍旧会被丢弃。

2.3 在端口限速中的应用

端口限速(LR)^[4](如图3所示)也用于出方向,但不同于GTS的是:第一,GTS与CAR是在IP层实现的,所以对于不经过IP层处理的报文不起作用,而LR则能够限制在物理接口上通过的所有报文;第二,LR不但能够对超过流量限制的报文进行缓存,并且可以利用QoS丰富的队列如优先级队列(PQ)、自定义队列(CQ)、加权公平对

图2
GTS进行流量控制
示意图



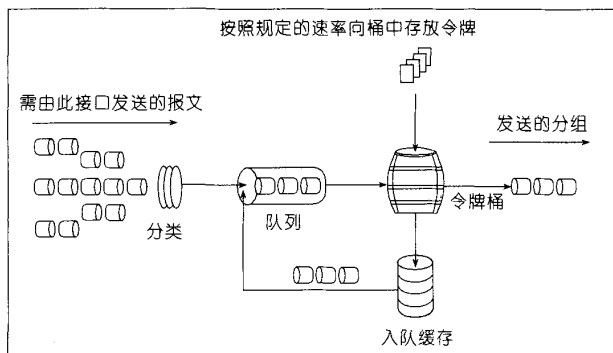


图3 LR进行流量限制示意图

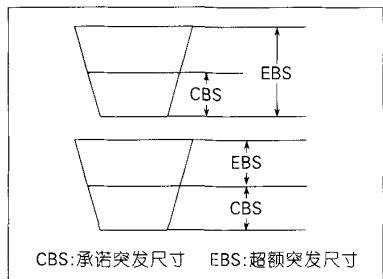


图4 单速率三色标记算法的令牌桶构成

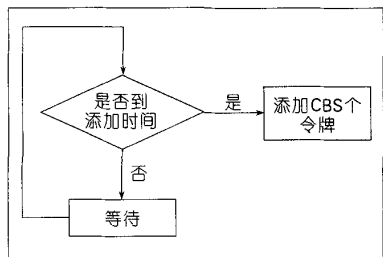


图5 单速率三色标记算法的令牌添加流程一

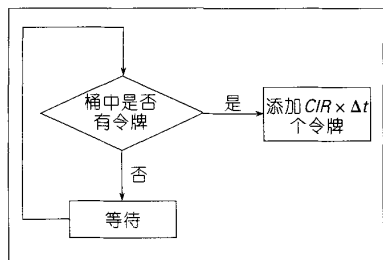


图6 单速率三色标记算法的令牌添加流程二

列(WFQ)等来缓存报文。

3 令牌桶实现

上面介绍了RFC中定义的令牌桶技术原理以及其在IP QoS中的应用，

但是在实际应用中，令牌桶究竟是怎么实现的？令牌桶中的令牌是怎么添加的？报文的处理流程又是怎样的？下面就简单谈一谈令牌桶在业界的实现方式^[5]。

3.1 单速率三色标记算法的实现

3.1.1 桶的构成

在令牌桶的构成上，目前业界有两种方式，如图4所示。

可以由一个桶实现，即C桶是E桶中的一部分(图4上)，最终桶的容量是由EBS决定的。不管有没有突发流量，EBS不能为0，必须大于或等于CBS。这种实现方式完全按照令牌桶的定义来实现，因为CBS和EBS都是令牌桶的参数，所以放入一个相同的桶实现，通过突发计数器来进行区分。也可以由两个桶实现(图4下)，即C桶和E桶分开实现。如果不允许有突发流量，EBS则设置成0。

3.1.2 令牌添加

令牌桶的添加完全依照RFC规定实现，按照恒定的速率CIR添加。即每隔 $1/CIR$ 时间添加一个令牌，添加顺序为先添加C桶再添加E桶，当令牌桶添加满的时候，再产生的令牌就会被丢弃。

实际中比较常见的有两种实现方式：(1) 周期性的添加，如图5所示，添加的时间间隔就是令牌桶的容量与添加

速率的比值： $T_c = CBS/CIR$ ，每次添加的令牌数为CBS个；(2) 一次性添加，只有当令牌桶中没有令牌时才添加令牌，如图6所示，添加令牌的数量是 $\Delta t \times CIR$ (Δt 是当前时间与上次添加令牌的时间之差)，且是一次添加完毕，并不是按照一定速率添加。

3.1.3 报文处理流程

一般的报文处理方法如图7所示：当报文到来后，直接与桶中的令牌数相比较，如果有足够的令牌就转发，如果没有足够的令牌则丢弃或缓存。这种令牌桶处理方式在突发流量的处理上没有优势，也就是说当存在较大的突发流量时，令牌桶可能会由于没有足够令牌无法处理报文，而且在没有突发流量且报文到达速率较大时，报文处理流程也不连续，有时会因为令牌数量不足而造成丢包。

为解决这种无谓的丢包问题，目前业界采用了一种借贷机制的报文处理方法，如图8所示。当报文到来后，只要令牌桶中有令牌，无论数量是否足够，都可以转发报文。当令牌数量小于报文长度时，就可以欠债转发，即转发后令牌桶中令牌数目为负；当下次添加令牌的时候，先还清所欠债务，再继续转发报文。这种处理方法较前者在处理突发报文时有优势，能够保证报文发送的连续性。

3.1.4 实现方式比较

假设令牌桶的总容量为1 000 kb，CIR为125 kb/s，报文到达的速率为

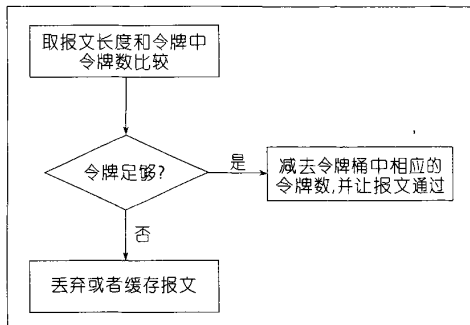


图7 单速率三色标记算法的报文处理流程一

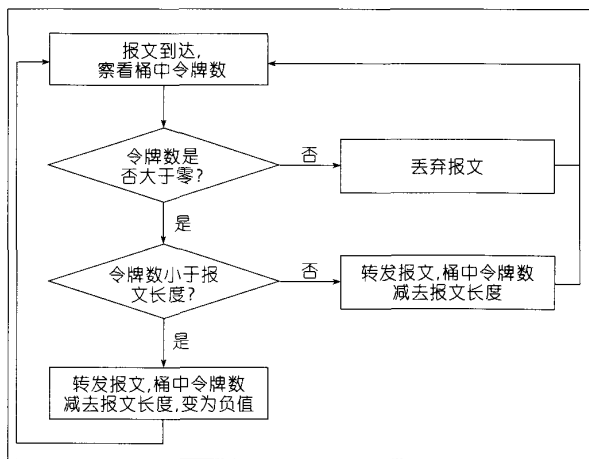


图8 单速率三色标记算法的报文处理流程二

200 kb/s, 报文长度为125 kB (1 000 kb)。

方式一: 周期性添加令牌, 只有当令牌数足够时才转发报文。添加令牌的周期为8 s, 而转发一条报文的时间为5 s。

方式二: 一次性添加令牌, 当令牌数不足时采用借债机制。转发一条报文的时间是5 s, 但是添加令牌的时间是不一定的, 每次添加令牌的数目为 $CIR \times \Delta t$ 。

图9至图11是对这两种方式的令牌桶中令牌数、报文转发速率和令牌添加过程的比较。

分析数据的处理流程得出以下结论:

(1) 数据包丢弃率: 方式二的丢包率远小于方式一。

方式一中, 由于令牌添加周期与报文发送周期的不一致, 导致第6 s到第8 s由于没有令牌不能转发报文。而第8 s到第16 s虽然在不断添加令牌, 但令牌数不足以转发一个报文, 所以仍旧无法转发报文, 那在这一段时间内到达的报文将被丢弃掉。在前16s的时间内丢包率达到了 $10/16 \approx 62.5\%$, 由于添加令牌和发送报文的时间都是固定的, 所以整个发送过程中的丢包率也为62.5%。

方式二中, 第5 s第一条报文发送结束令牌被消耗光, 但第6 s又立即加入了550 kb令牌, 虽不够转发一条报文, 但可以采用借债机制, 直到第10 s

第二条报文发送结束, 累计欠债250 kb。这时若有报文到达, 就不能继续欠债, 而要注入新的令牌才能继续转发。直到第15 s第三条报文发送完毕由于一次添加令牌不够还清所欠令牌, 所以造成了短暂的丢包现象, 而在前17s内丢包率仅为 $1/17 \approx 5.9\%$ 。

(2) 突发流量处理: 方式二在突发流量处理方面优于方式一。

图9 两种方式报文处理过程中令牌桶中令牌数的比较

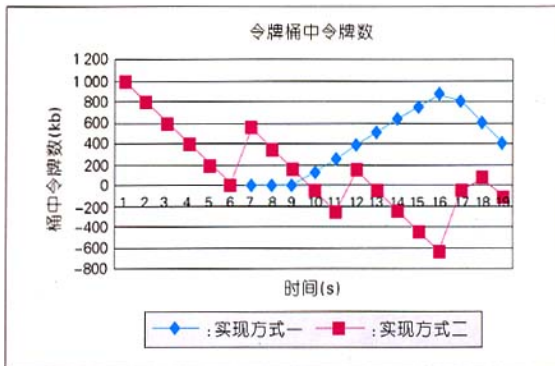
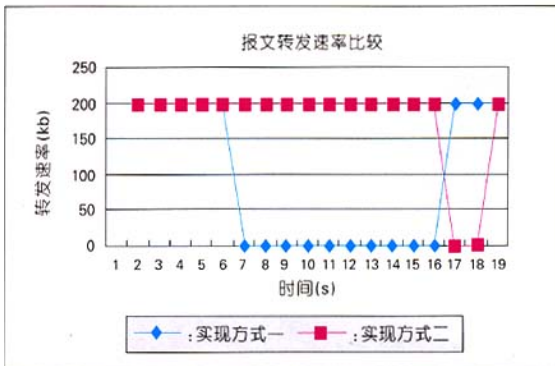


图10 两种方式报文转发速率的比较



由图10可知, 对方式一来说, 由于令牌桶总的容量只有1 000 kb, 发送完每条报文后桶中剩余令牌数都为0。此时若有突发流量, 则报文必然被丢弃。而方式二令牌数可为负, 当突发报文到达时即使令牌数不足仍可通过欠债方式现将报文转发出去, 后续再偿还债务。

(3) 大小包混合时: 方式一可能会造成大包始终得不到转发, 而方式二则不会。

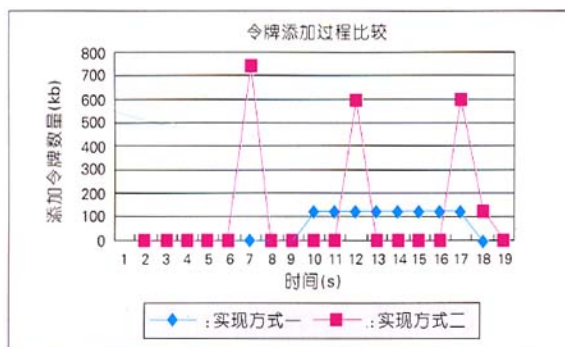
如果发送一长度大于1 000 kb的报文, 方式一中则始终会由于令牌不足而丢弃报文, 方式二则可以通过借债方式现转发报文后偿还债务。

(4) 数据流发送过程平缓程度: 方式二数据处理的时间较长, 所以趋势明显比方式一平缓。

3.2 双速率三色算法的实现

3.2.1 桶的构成

双速率三色算法的实现, 目前业



◀图11
两种方式添加令牌过程
的比较

▼表1 单、双速率三色标记算法比较

	单速率三色标记算法	双速率三色标记算法
桶的结构	单桶或双桶	双桶
令牌添加方式	简单,单桶和双桶均采用恒定速率(CIR)添加令牌。	复杂,两桶添加令牌的速率不同(分别为CIR和PIR)。
报文处理流程	简单,将报文长度与桶中令牌数进行比较,令牌足够则转发,否则丢弃。	复杂,将报文速率先与两桶添加令牌的速率比较,小与CIR,报文为绿色;大于PIR,报文为红色;介于二者之间的报文为黄色。
优点	关注报文尺寸上的突发,当报文长度过长,CBS桶中令牌不足时,可向EBS桶借令牌,若两桶都不足时,还可采用前面所说的借债方式。	关注速率上的突发,当报文速率过大时,可向PBS桶中借令牌。

界的实现基本上完全依照RFC的规定,用两个令牌桶来实现,两个令牌桶的容量不同,第一个是CBS,第二个是PBS。

3.2.2 令牌添加

双速率三色标记算法中两桶添加令牌的速率不同,CBS桶添加令牌的速率是CIR,PBS桶添加令牌的速率则是PIR。添加令牌时先添加CBS桶,CBS桶填满后再添加PBS桶。

3.2.3 报文处理流程

当发送连续流量时,先看报文速率是否超过PIR:当报文速率大于PIR时,超过PBS部分流量无法得到令牌,被标记为红色报文;未超过PBS而从PBS桶中获取令牌的报文标记为黄色报文;从CBS桶中获取令牌的报文被标记为绿色报文。当报文速率小于PIR,大于CIR时,报文不会得不到令牌,但会超过CBS部分报文将从PBS桶中获取令牌,被标记为黄色报文;其他报文将从CBS桶中取令牌,被标记为绿色报文;当报文速率小于CIR时,报文所需令牌数不会超过CBS,所

以只会被标记为绿色报文。

当发送突发报文时,若突发流量大于PBS,则超出部分统计为红色报文;当突发流量大于CBS,但小于PBS时,则超过CBS部分标记为黄色报文;当突发流量小于CBS时,全部标记为绿色报文。

在流量控制中,用户可针对不同颜色的报文设定不同行为,如:允许通过、丢弃,或重新标记优先级等。

3.3 单速率三色算法与双速率三色算法的比较

单、双速率三色标记算法的比较如表1所示。

单速率三色标记算法采用单桶或双桶结构,令牌添加方式和报文处理流程比较简单;双速率三色标记算法采用双桶结构,令牌添加方式和报文处理流程相对复杂。前者关注报文尺寸上的突发,后者关注速率上的突发,两者各有优点。

4 结束语

相对双速率三色标记算法而言,单速率三色标记算法由于实现简单

等原因,成为目前业界比较常用流量标记方式。但不同的实现方式决定了其具有一定的性能差异,合理的采用借债方式可以弥补其在丢包率、突发流量处理性能、大小包混合转发性能、数据转发平缓程度等性能方面的不足,但当存在较大速率的突发流量时,单速率三色标记算法的借债机制将不能较好的改善性能问题,所以单速率三色标记算法不能完全取代双速率三色表算法。在实际应用中,应针对不同的流量特征选择恰当的标记方式。

5 参考文献:

- [1] 何宝宏. IP网络的服务质量讲座:第4讲 IP网络流量与拥塞控制技术[J]. 中国数据通信, 2003, 5(5): 96-99.
- [2] Heinanen J, Guerin R. IETF RFC 2697: A single rate three color marker[R]. Philadelphia, PA, USA: University of Pennsylvania, 1999.
- [3] Heinanen J, Guerin R. IETF RFC 2698: A two rate three color marker[R]. Philadelphia, PA, USA: University of Pennsylvania, 1999.
- [4] 李建宝, 桑海. 令牌桶算法在IP QoS中的应用[J]. 华南金融电脑, 2006, 14 (4): 98-99.
- [5] QoS技术白皮书[EB/OL].
http://www.huawei-3com.com.cn/.

收稿日期:2007-04-03

作者简介



李晓利, 北京交通大学电子信息工程学院通信与信息系统专业在读硕士生。主要研究方向为通信信息网络。



郭宇春, 北京交通大学电子信息工程学院, 副教授, 硕士生导师, 主要研究领域为网络测量与建模、拓扑、路由、P2P网络和IP网络服务质量等,已发表论文20余篇。

QoS技术中令牌桶算法实现方式比较

作者: 李晓利, 郭宇春, [LI Xiao-li](#), [GUO Yu-chun](#)
作者单位: [北京交通大学电子信息工程学院, 北京, 100044](#)
刊名: [中兴通讯技术](#) **ISTIC**
英文刊名: [ZTE COMMUNICATIONS](#)
年, 卷(期): 2007, 13(3)
被引用次数: 2次

参考文献(5条)

1. 何宝宏 [IP网络的服务质量讲座:第4讲IP网络流量与拥塞控制技术](#)[期刊论文]-[中国数据通信](#) 2003(05)
2. Heinanen J. Guerin R [IETF RFC 2697: A single rate three color marker](#) 1999
3. Heinanen J. Guerin R [IETF RFC 2698: A two rate three color marker](#) 1999
4. 李建宝, 桑海 [令牌桶算法在IP QoS中的应用](#)[期刊论文]-[华南金融电脑](#) 2006(04)
5. [QoS技术白皮书](#)

相似文献(3条)

1. 期刊论文 [蒋维成 令牌桶算法比较研究](#) -[电脑知识与技术](#)2010, 6(4)
令牌桶算法是流量整形的重要方法, 该文在对令牌桶算法作了分析的基础上, 对IETF的两种令牌桶算法: 单速率三色标记算法和双速率三色标记算法进行了研究. 对算法的性能进行了比较分析, 并用仿真实验对不同算法的输出流与参数值之间的关系作了研究, 揭示了不同算法中参数设置的内在关系.
2. 期刊论文 [黄霞. 李一兵 一种基于srTCM的令牌桶改进算法及其在FRTS中的应用](#) -[黑龙江科技信息](#)2009(4)
如同人类社会越来越重视生活质量一样, 计算机世界也越来越重视服务质量, 因此QoS技术越来越受到人们的关注. 令牌桶算法作为目前QoS技术中最常用的一种流量测量方法, 广泛应用于流量整形等技术, 当然在拥有自己的QoS服务机制的帧中继网络中也不可或缺. 提出了一种基于srTCM算法的令牌桶改进算法, 并描述了该算法在帧中继流量整形中的应用.
3. 学位论文 [蒋维成 多优先级队列分组调度研究](#) 2009
随着网络技术的发展, 各种新的业务相继出现. 这些业务在带宽和延迟等方面有着不同的要求. 如何支持这些业务的QoS要求, 是当前网络研究的一个热点. 流量整形和分组调度都是实现网络QoS的重要内容.
本文对流量整形的常用方法: 令牌桶算法, 进行了研究, 分析了令牌桶算法中各参数在流量整形中的作用, 还讨论了IETF的两种令牌桶算法, 单速率三色标记算法和双速率三色标记算法, 在这些研究的基础上, 提出了一种与调度器相配合的令牌桶算法的设想.
分组调度机制能保证不同业务的QoS要求. 本文在分析相关调度算法的基础上, 详细介绍了一种将优先级和时延相结合的动态优先级调度算法: PQBEDF (priorityqueuebasedonEDF) 算法. 同时提出了PQBEDF_R (PQBEDF_Return) 算法. 在PQBEDF_R算法中, 为每个队列引入一个计数器, 对队列处于最高优先级时获得的服务次数进行计数, 并根据相应规则将队列的优先级返回到初始值. 这样就避免了优先级长时间相同的可能, 使优先级具有一定的相对性, 从而为各业务提供既有一定保证又有所区别的服务, 具有一定的公平性.
在以上研究的基础上, 提出了结合令牌桶的PQBEDF_R算法. 它为每个队列增设一个令牌桶来对数据流进行流量整形, 经流量整形后再进行调度. 根据调度器的需要对令牌桶算法作了适当的修改, 在令牌桶之间引入了互相通讯的机制, 根据缓冲队列中分组数目来对令牌桶的参数进行动态调整. 文中对令牌桶与PQBEDF_R算法相结合的方法进行了模型设计, 分析了性能. 结合令牌桶的PQBEDF_R算法能限制各业务流对带宽的占用, 有利于各流公平合理地共享网络资源, 从而保证不同业务的服务质量.
最后, 利用OpnetTM10.0进行仿真实验, 在实验的基础上分析PQBEDF算法、PQBEDF_R算法, 以及结合令牌桶的PQBEDF_R算法等在公平性、分组丢失率和延迟等方面的性能, 验证了上述理论.

引证文献(1条)

1. [胡云 对网络流量管理与拥塞管理的研究](#)[期刊论文]-[电脑开发与应用](#) 2009(5)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_zxtxjs200703016.aspx

授权使用: 大连理工大学图书馆(d11g), 授权号: 3b067696-7581-4195-82c7-9e690139cc49

下载时间: 2011年1月12日