

一种丢包率比例区分服务及其实现^{*}

马宏伟, 秦 松, 袁卫华

(山东建筑大学 计算机科学与技术学院, 济南 250101)

摘 要: 针对区分服务的定量描述和提供问题, 基于比例区分模型提出了一种丢包率比例区分的确保服务, 并给出了一种基于丢包率测量和动态调节 RED 队列最大丢包概率因子的实现机制。作为区分服务模型的一种扩充, 丢包率比例区分服务有利于运营商制定细致的价格策略, 也便于用户平衡价格和性能因素选择合适的服务。

关键词: 服务区分; 丢包率比例区分; 最大丢包概率因子; 比例区分性能指数

中图分类号: TP393.4 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2010)08-3127-05

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.08.085

Loss proportional differentiated service and its implementation

MA Hong-wei, QIN Song, YUAN Wei-hua

(School of Computer Science & Technology, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract: Aiming at the service describing and providing quantificationally, this paper proposed a loss proportional differentiated model based on the proportional differentiation service. And put forward an implementation scheme based on loss rate measurement and maximum drop probability factor adjustment dynamically of RED. As an enhancement to DiffServ, the loss proportional differentiated service was conducive to the network operators constituting pricing policy in detail and to the users choosing an appropriate service that best meets their performance requirements and price constraints.

Key words: DiffServ; loss proportional differentiation; maximum drop probability of RED; loss proportional differentiation index

随着 Internet 快速成为统一的基础通信设施, IP 网络服务质量(quality of service, QoS)问题受到了较多关注^[1]。运营商利用服务质量控制机制可以在成本与收益之间进行平衡, 有利于网络可持续发展。从这个意义上说, 服务质量控制不仅是一种服务方式, 也是一种管理方式^[2]。

应用的质量要求是端到端的, 只要传输路径上任意节点违反性能要求, 应用的要求就可能无法得到满足。因此, 服务质量控制机制需要网络全面部署, 这要求控制机制应尽量简单。从可扩展性、便于实现和部署等方面看, DiffServ^[3]比较理想, 并被认为是现阶段解决 IP 网络服务质量问题的一种可行方案。DiffServ 的实现方法主要有两类^[4]: a) 绝对服务区分。使用许可控制、资源预留等机制提供不同服务性能的确切性区分。服务性能一般使用最小服务速率、最大传输延迟等端到端性能指标描述, 不同服务等级相互独立。b) 相对服务区分。利用传输调度、缓存管理等实现服务的相对区分, 保证不同服务等级间的相对优劣关系, 但一般不提供确定性的性能保证。相对服务区分也被称做轻量级 QoS 方案^[5]。

DiffServ 是一种相对服务区分机制, 只是定性规定了为不同的服务分配一定的资源(带宽、缓冲等), 使某类服务好于其他类服务, 但没有定量说明传输性能的好坏, 不利于网络运营商制定灵活的价格策略, 也不利于用户在性能和代价之间进行

平衡。因此, 要求网络提供服务性能定量区分的呼声越来越高^[6, 7]。

比例区分^[8, 9]服务是一种相对服务区分模型, 利用传输调度和缓存管理等机制使不同业务类在延迟、丢包率上近似维持一个固定比例, 目标是定量区分不同服务的性能, 为网络运营商提供相应的调控手段。由于可以提供可控、一致、可扩展的服务区分, 比例区分服务受到了较多关注并被认为是在 IP 网络中提供定量服务区分的一种有效方法^[10]。

1 相关工作

1.1 相对服务区分

相对服务区分的中心思想是将业务分为 N 类, 网络承诺为业务类 i 提供好于(或至少不坏于)业务类 $i+1$ 的服务质量, 其中 $1 \leq i < N$ 。服务性能以在每跳经历的传输延迟、丢包率等来衡量。相对服务区分模型具有的两个特征, 包括^[4]: a) 可控性(controllability), 运营商能够有效地控制不同类服务性能区分的程度; b) 可预测性(predictability), 性能区分在大、小时间尺度上应保持一致。

通常相对区分服务可通过三种方式提供: a) 严格优先级。为各类业务设置不同的优先级, 网络优先为高等级业务提供服务。但是, 当高优先级业务负载比较重时, 低优先级业务可

收稿日期: 2009-12-15; 修回日期: 2010-01-25 基金项目: 国家住房和城乡建设部科技计划资助项目(2007K9-23)

作者简介: 马宏伟(1969-), 男, 山东济阳人, 副教授, 博士, 主要研究方向为 Internet 体系结构、服务质量控制、高性能网络设备(longbow@126.com); 秦松(1970-), 男, 讲师, 硕士, 主要研究方向为服务质量控制; 袁卫华(1979-), 女, 讲师, 硕士, 主要研究方向为服务质量控制、无线网络技术。

能无法得到所需的服务量,甚至无法得到服务。另外,除了控制业务的负载强度外,运营商没有其他用于调节性能区分程度的手段。b) 价格区分。通常情况下,高价格业务的负载强度会较低,传输质量较好,但网络定价方案不宜频繁调整。当高价格业务的负载变重时,其传输质量可能还不如低价业务,导致不同业务服务性能间的相对关系可能被打破。c) 资源区分。为高等级业务分配相对于其负载更多的资源,使高等级业务的传输质量更好一些。

1.2 比例区分服务及其实现

比例区分服务是相对区分服务的一种,也被称做定量区分服务^[11]。 $q_i(t, t + \tau)$ 表示业务类 i 在 $(t, t + \tau)$ 内获得的服务性能,比例区分服务模型定义为 $q_i(t, t + \tau)/q_j(t, t + \tau) = c_i/c_j$ 。其中: $c_1 < c_2 < \dots < c_N$,为性能区分参数(quality differentiation parameters, QDPs),QDP 可以为延迟、丢包率。如果性能区分参数为延迟,则叫做延迟比例区分服务模型(delay proportional differentiation model, DPD);如果性能区分参数为丢包率,则叫做丢包率比例区分模型(loss proportional differentiation model, LPD)。某类业务性能可能随负载的变化而变化,但不同类业务性能间的比例关系保持不变。运营商可以通过 QDP 选择控制服务性能区分的程度。同时, τ 足够小时这种比例关系如果仍然可以保持,则服务性能区分是一致的。

丢包率对多数网络应用来说是一种重要的性能指标,特别是对基于 TCP 的网络应用^[12]。一般来讲,丢包率比例区分的实现机制一般包括控制器和丢包器两个模块,控制器用于控制何时丢包,丢包器负责选定从哪个队列丢弃哪个数据包。丢包可以只在队列溢出时进行,也可以在队列未滿时丢包。自 Dovrolis 等人^[9]提出比例区分服务模型以来,针对丢包率比例区分已经有了较多研究。PLR(∞)和 PLR(M)是最早提出的两种丢包算法,两者的丢包处理机制相同,不同之处在于丢包率估算中丢弃和到达包数量的统计时间区间不同。PLR(∞)统计当前时刻以前所有的到达和丢弃数量,PLR(M)统计当前时刻以前 M 个到达及其中丢弃的包数量。PLR 的基本处理机制描述如下:时刻 t 到达一个数据包,如果队列已滿,PLR 将从队列 i 中选择一个丢弃。其中 i 满足 $\min_{i \in B(t)} \frac{l_i}{\delta_i}$, l_i 为业务类 i 的丢包率, δ_i 为丢包率比例区分参数(loss QDPs), $B(t)$ 为 t 时刻非空队列的集合。PLR(∞)存在计数器长度问题,而 PLR(M)对于不同到达速率业务类的丢包率统计时间尺度不同。另外,PLR 存在数据包短缺(packet shortage)问题,即在某些时候被选中的队列中可能没有数据包供丢弃。PLQ^[13]、ADD-PLR^[14]、PLR-DA^[15]等均是在 PLR 基础上的改进。PLQ 根据队列占用情况和丢包率比例区分参数计算各类业务的丢包率,在队列溢出时根据丢包率选择队列丢弃其中的一个数据包。队列 i 被选中的概率为 $p_i = \sqrt{Q_i/C_i}/\sum_j \sqrt{Q_j/C_j}$ 。其中: Q_i 为业务 i 的队列长度, C_i 为丢包率比例区分参数。ADD-PLR 采用了叫做平均丢包长度(average drop distance, ADD)的丢包率估计方法,其他方面与 PLR 相同。PLR-DA 的基本思想是在确定丢包队列时从所有队列中选择,而不仅是从当前非空队列

中选择。如果被选中的队列此时没有数据包供丢弃,使用计数器记录应该丢弃但未能丢弃的包数量,该业务以后到达的一个或几个包将被直接丢弃,不管到达时队列是否已滿。PLR-DA 可以较好地解决数据包短缺问题,Lai 等人^[16]研究了 PLR-DA 在无线网络中的应用;Awewa 等人^[17,18]提出了一种基于主动队列管理(AQM)的丢包率比例区分机制,其基本思想是每隔一段计算每类业务的丢包概率: $P_{d,i} = \frac{\delta_i}{\sum_{j=1}^N \delta_j} \cdot P_d$ 。其中: P_d 为各类业务的总体丢包概率,由运营商根据负载状况、队列目标占用情况等因素综合确定。当业务 i 到达一个数据包时,被以概率 $P_{d,i}$ 丢弃。单 FIFO 队列的好处是调度算法简单,同时在队列溢出前随机丢弃数据包可以向发送端传递网络拥塞的信息;缺点是不利于传输延迟等的性能保证。WSAP^[19]也是一种基于主动队列管理机制的丢包率比例区分机制,采用了叫做 SAP^[20]的队列管理机制,优点是参数调节简单,缺点是部署存在一定困难。Koo 等人在一定流量到达模式假设条件下,基于排队论分析了动态多 RED 队列(dynamic multiple RED queues)的最大丢包率因子和丢包率之间的关系,提出了一种通过调节 RED 队列最大丢包率因子实现丢包率比例区分的机制 DMQDDP^[21,23]。DMQDDP 假设所有类业务的流量到达模式和到达强度均相同,条件比较苛刻,无法反映负载强度动态变化的实际情况。

2 丢包率比例区分服务及实现机制

本文借鉴比例区分模型的思想,提出了一种丢包率比例区分服务模型。基于丢包率测量和 RED 最大丢包率的动态调节给出了该模型的一种实现方法,仿真实验结果表明这种实现方案是可行的。

2.1 丢包率比例区分服务模型

假设有 N 种服务, AF_i 表示第 i 类服务。 $A_i(t, t + \tau)$ 、 $L_i(t, t + \tau)$ 分别表示时间区间 $(t, t + \tau)$ 内到达、丢弃的 AF_i 数据包数量。其中: $\tau > 0$,为服务区分的时间尺度。丢包率比例区分确保服务模型描述如下:

$$\begin{aligned} P_1(t, t + \tau) &= \varepsilon \\ P_2(t, t + \tau) &= k_1 P_1(t, t + \tau) = \varepsilon k_1 \\ &\dots \\ P_N(t, t + \tau) &= k_{N-1} P_{N-1}(t, t + \tau) = k_1 k_2 \dots k_{N-1} \varepsilon = \varepsilon \prod_{i=1}^{N-1} k_i \end{aligned}$$

其中: $P_i(t, t + \tau)$ 为 AF_i 在 $(t, t + \tau)$ 内的丢包率; ε 为 AF_1 在 $(t, t + \tau)$ 内的丢包率; k_1, k_2, \dots, k_{N-1} 为性能区分参数。运营商可以通过合理的资源提供来控制 ε 的大小,通过 k_i 的选择实现对丢包率区分程度的控制。

业务类 $AF_i (1 \leq i \leq N)$ 在时间区间 $(t, t + \tau)$ 内的规格化丢包率为

$$\begin{aligned} P_i^*(t, t + \tau) &= \frac{P_i(t, t + \tau)}{\prod_{j=1}^{i-1} k_j} \quad (i \neq 1) \\ P_1^*(t, t + \tau) &= \varepsilon \end{aligned}$$

则丢包率比例区分服务模型可以定义如下:

定义 1 丢包率比例区分服务模型(loss proportional differentiated service, LPDS):

$$P_i^*(t, t+\tau) = P_j^*(t, t+\tau) \quad \forall i, j (1 \leq i, j \leq N) \text{ 和 } \tau > 0$$

2.2 基于测量和丢包率调节的丢包率比例区分实现方法

RED^[24]是一种主动式队列管理机制,最早被用于拥塞控制,其基本思想是网络在出现拥塞前随机丢弃某个(些)数据包,促使发送端降低发送速率,避免拥塞的发生。RED共有四个可以配置的参数,分别为最小和最大队列长度阈值 \min_{th} 和 \max_{th} 、最大丢包概率因子 \max_p 、指数加权因子 w 。其中 w 主要用在平均队列长度估算中。当一个数据包到达时,计算平均队列长度 avg_q 。如果 $avg_q \leq \min_{th}$,数据包直接入队;如果 $\min_{th} < avg_q \leq \max_{th}$,按式(1)计算数据包丢弃概率 p ,以概率 p 丢弃数据包,以概率 $(1-p)$ 入队。当 $avg_q > \max_{th}$ 时,直接丢弃数据包。WRED(weighted RED)^[25]是对 RED 的扩充,其基本思想是为不同类别业务分别设置 RED 队列,并选择不同的队列参数,实现一定的服务区分(如丢包率)。关于 RED 和 WRED 参数及其设置,可以参考文献[25]。

$$p = \begin{cases} 0 & \text{当 } avg_q < \min_{th} \text{ 时} \\ \frac{\max_p (avg_q - \min_{th})}{\max_{th} - \min_{th}} & \text{当 } \min_{th} \leq avg_q \leq \max_{th} \text{ 时} \\ 1 & \text{当 } avg_q > \max_{th} \text{ 时} \end{cases} \quad (1)$$

首先讨论调节 RED 的哪个(些)参数对于实现丢包率比例区分更合适。 \max_{th} 反映的是网络拥塞程度与平均队列长度的关系,如果 $avg_q > \max_{th}$ 时,RED 认为网络已经严重拥塞,丢弃随后到达的所有数据包,向发送端隐式地传递拥塞信号,希望相关发送端降低发送速率,则平均队列长度会随着发送端降低发送速率而慢慢降低,直到平均队列长度降到 \max_{th} 以下。最小队列长度阈值 \min_{th} 用于控制在何种情况下开始丢弃数据包,即用于判定网络拥塞的开始。具体取值需要在排队延迟和链路利用率之间进行折中。一方面 \min_{th} 较小时,一个小的突发就可能致丢包,网络容纳突发的能力随 \min_{th} 的减小而下降,输出链路的利用率随之下降;另一方面,较小的 \min_{th} 会带来延迟性能的改善。如果为了容纳较大突发而设置较大的 \min_{th} ,可以提高输出链路利用率,但也会导致较大的排队延迟。因此, \min_{th} 的取值主要反映排队延迟、突发容纳能力、链路利用率、拥塞检测灵敏度之间的综合关系。另外,指数加权因子 w 只与平均队列长度的计算有关,其取值也需要在突发容纳能力和拥塞检测的灵敏度之间进行平衡。综合起来,最小、最大队列长度阈值关乎 RED 的效率,指数加权因子与平均队列长度估算有关。因此,通过调节最小、最大队列长度阈值和指数加权因子对于丢包率的比例区分并不合适,虽然通过调节最小、最大队列长度阈值也可以实现一定程度上的丢包率区分^[26]。

本文的丢包率比例区分实现方法主要通过调整 RED 队列的 \max_p 来实现。DMQDDP 也是通过调整 \max_p 实现了不同业务的丢包率比例区分。两者的不同主要在于 \max_p 的调整方法。DMQDDP 基于一定的流量到达模式假定条件推导出了丢包率比例区分性能参数与 \max_p 的关系,本文则是基于 RED 队列丢包率计算公式,结合丢包率的实际测量来调整 \max_p 。

从式(1)可以看出,调节 \max_p 来控制丢包率有不利因素。当 $avg_q < \min_{th}$ 或 $avg_q > \max_{th}$ 时, \max_p 与丢包率没有任何关系。在网络负载较轻或过重时, \max_p 的动态调节对丢包率比例区分并不起作用。当负载较轻时, avg_q 较小,所有到达数据包会直接入队,各类业务的丢包率一般为零。需要指出,在网

络负载较轻时,刻意保持各类业务丢包率之间的比例关系,实际意义不大。当网络负载过重时, avg_q 较大,如果超过了 \max_{th} ,则数据包直接被丢弃。如果这种状态持续的时间较长,则各类业务的丢包率接近 100%,丢包率间的比例关系也很难维持。这种情况意味着网络的资源供给出现了问题,需要通过网络扩容加以解决。综上所述,通过动态调节 RED 队列最大丢包率因子实现丢包率比例区分的使用条件是网络负载既不太重,也不较轻。

下面讨论通过调节 \max_p 实现不同确保服务业务类丢包率比例区分的相关机制。

时间区间 $(t, t+\tau)$ 内系统的平均规格化丢包率为

$$P^*(t, t+\tau) = \frac{\sum_{i=1}^N P_i^*(t, t+\tau)}{N}$$

业务类 $AF_i (i=1, 2, \dots, N)$ 在时间区间 $(t, t+\tau)$ 内的规格化丢包率偏移为 $\Delta_i(t+\tau) = P_i^*(t, t+\tau) - P^*(t, t+\tau)$

当 $\Delta_i(t+\tau) \neq 0$ 时,表明 AF_i 的丢包率要么偏大,要么偏小。各类业务丢包率之间的比例关系被打破,这时需要进行调节以维持各类业务丢包率间的比例关系。根据规格化丢包率偏移的定义,保持丢包率比例区分就是要使所有类业务的规格化丢包率偏移均为 0。

由规格化丢包率偏移的定义可以得到

$$P_i^*(t, t+\tau) = \Delta_i(t+\tau) + P^*(t, t+\tau)$$

结合规格化丢包率的定义可得

$$P_i(t, t+\tau) = P_i^*(t, t+\tau) \prod_{j=1}^{i-1} k_j = (\Delta_i(t, t+\tau) + P^*(t, t+\tau)) \prod_{j=1}^{i-1} k_j$$

当 avg_q 介于 \min_{th} 、 \max_{th} 之间时,根据丢弃概率 p 与平均队列长度 avg_q 的关系,可以得到最大丢包率因子 \max_p 和丢包率之间的关系:

$$\max_p = \frac{p(\max_{th} - \min_{th})}{avg_q - \min_{th}}$$

RED 队列 i 最大丢包率因子 $\max_{p,i}$ 和规格化丢包偏移 $\Delta_i(t+\tau)$ 之间有如下关系:

$$\max_{p,i} = \frac{(\max_{th,i} - \min_{th,i})(P^*(t, t+\tau) + \Delta_i(t+\tau)) \prod_{j=1}^{i-1} k_j}{(avg_{q,i} - \min_{th,i})} \quad (2)$$

其中: $\min_{th,i}$ 和 $\max_{th,i}$ 为 AF_i 业务 RED 队列的最小、最大队列长度阈值。式(2)表明,业务的规格化丢包率偏移和丢包率因子之间存在着一种近似的正比关系。当规格化丢包率偏移大于零时,通过减小最大丢包率因子使数据包被丢弃的概率下降,从而降低规格化丢包率偏移;当规格化丢包率偏移小于零时,通过加大最大丢包率因子来提高丢弃数据包的概率。即通过调节最大丢包率因子 \max_p 使规格化丢包率偏移 Δ 趋向于 0,以使不同业务丢包率之间的比例关系得以实现和维持。

具体实现方法为:每隔一定时间根据实际丢包率测量,结合计算得出的规格化丢包率、规格化丢包率偏移、平均队列长度等调节 RED 队列的最大丢包率因子。将相邻两次最大丢包率因子调节之间的时间间隔叫做一个调整周期。以相邻的两次调节 n 和 $n+1$ 为例,即根据周期 n 中的规格化丢包率偏移等计算新的最大丢包率因子,以使在第 $n+1$ 个周期中的规格化丢包率偏移趋向于零,即 $\Delta_i(n+1) = 0$ 。

最大丢包率因子 \max_p 调节方法如下:

$$\max_{p,i}(n+1) = \max_{p,i}(n) - K_i(\Delta_i(n)) \quad (3)$$

其中:函数 $K_i(\cdot)$ 的选取应使最大丢包率因子和规格化丢包率偏移之间维持一种负反馈关系,以保证控制的稳定性。即当规格化丢包率偏移大于零时,减小队列的最大丢包率因子;当规格化丢包率偏移小于零时,则增大最大丢包率因子。

如果在两个相邻的调整周期内,平均队列长度 avg_q 和平均规格化丢包率的变化较小,则从式(2)和(3)可以得到式(4)。具体实现时,就是根据式(3)和(4)来调节最大丢包率因子 max_p 。

$$K_i(\Delta_i(n)) \approx \frac{(\max_{th,i} - \min_{th,i}) \Delta_i(n) \prod_{j=1}^{i-1} k_j}{(avg_q(n) - \min_{th,i})} \quad (4)$$

3 仿真实验

定义 2 丢包率比例区分性能指标(loss proportional differentiation index, LPDI):

$$LPDI = \frac{\sum_{j=1}^N |L_{1,j}/L_{i,j} - \prod_{m=1}^{i-1} k_m|}{count}$$

其中: $L_{i,j}$ 为 AF_i 在第 j 个调整周期中的丢包率测量值; k_i 为性能区分参数; N 为业务类数量;count 为调整次数。从 LPDI 的定义可以看出,LPDI 越小,比例区分的性能越好。当 LPDI = 0 时,表明各业务类的丢包率之间严格满足预先设定的比例关系。

实验采用了如图 1 所示的网络拓扑。为简单起见,假设共有三种服务,分别以 AF_1 、 AF_2 、 AF_3 表示,其中 AF_1 的丢包率最低。所有链路的传输容量为 10 Mbps。利用 R_1 和 R_2 分别连接发送端(S_1 、 S_2 和 S_3)和接收端(D_1 、 D_2 和 D_3)。 R_1 和 R_2 间的链路是瓶颈链路。实验主要通过测量经过 R_1 时各类业务的丢包率,检查丢包率比例区分的性能。丢包率比例区分性能参数为 $k_1 = 2, k_2 = 2$, 各种业务丢包率之间的关系为 $L_1 : L_2 : L_3 = 1 : 2 : 4$ 。其中 L_i 表示业务类 AF_i 的丢包率。实验中 $\varepsilon = 0.01$ 。每个发送端产生一种类别长度为 500 Byte 的数据包,从 S_1 发向 D_1 的数据包属于 AF_1 ;从 S_2 发向 D_2 的属于 AF_2 ;从 S_3 发向 D_3 的属于 AF_3 。 R_1 为每类业务设置独立的 RED 队列,所有队列最多可以容纳 100 个定长数据包。除最大丢包率因子 max_p 外,各 RED 队列的参数设置相同, min_{th} 、 max_{th} 、 w 分别为 3、30、0.002。瓶颈链路容量的负载强度为 120%,模拟实验持续 40 s。

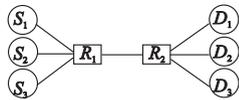


图1 模拟实验拓扑

模拟实验的目的是比较不同长度的调节周期对丢包率比例区分性能的影响,调节周期分别为 20 ms(相当于 50 个数据包的传输时间)、4 ms(相当于 10 个数据包的传输时间)。实验结果包括各类业务的丢包率与时间的关系、各类业务丢包率之间的比例关系。图 2 和 3 为调节间隔 20 ms 的实验结果;图 4 和 5 为调节间隔 4 ms 时的实验结果。

由于在实验开始阶段, R_1 处各 RED 队列需要一定时间达到一个较为稳定的状态,在此期间各类业务丢包率间的比例关

系难以得到较好的保持。经过比较短的时间后(1 s 左右),各类业务的丢包率基本能够满足相互之间的比例约束,表明了利用调节 RED 队列最大丢包率因子实现丢包率比例区分的方法是可行性的。另外,比例区分性能指标 LPDI 为 0.618 54、0.780 8。

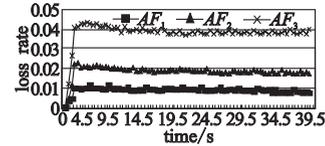


图2 丢包率(调节间隔=20 ms)

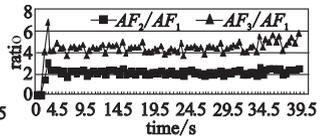


图3 丢包率间的比例关系(调节间隔=20 ms)

实验结果显示,通过测量不同业务的丢包率,调节相应 RED 队列的最大丢包率因子 max_p ,可以实现一种比较理想的丢包率比例区分确保服务,各类业务的丢包率能够维持一种近似比例关系。应当指出,由于网络负载的动态变化、资源提供情况、业务流的突发等都会对丢包率比例区分服务性能产生影响,丢包率间严格比例关系实现起来难度较大。

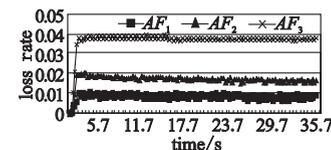


图4 丢包率(调节间隔=4 ms)

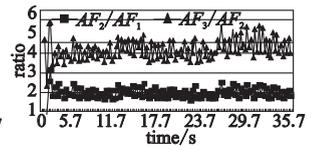


图5 丢包率间的比例关系(调节间隔=4 ms)

本文也通过模拟实验比较了三种基于多队列、主动式队列机制的丢包率比例区分实现方法性能,即本文所提方法、DMQDDP 和 WSAP。仍然采用了图 1 所示的实验拓扑,瓶颈链路的负载强度分别设置为 100% 和 120%。实验中,本文所提方法的调节周期设定为 20 ms,设置 DMQDDP 的相关控制参数与文献[23] 相同,WSAP 的相关控制参数与文献[19] 相同。模拟实验均持续 100 s,表 1 为不同负载强度下三种丢包率比例区分实现机制的 LPDI。从实验结果可以看出,在负载强度较大时三种机制的 LPDI 相差不多,均比较小,表明均能够获得近似的丢包率比例区分。但本文所提实现方法在链路负载强度为 100% 时的 LPDI 值最小,丢包率比例区分的性能最好。

表 1 不同负载强度下的 LPDI

实现方法	负载(100%)	负载(120%)
本文	0.810 2	0.602 3
WSAP	0.903 4	0.813 6
DMQDDP	0.925 5	0.822 2

4 结束语

本文首先简单介绍了比例区分服务模型,综述了丢包率比例区分的已有研究成果;然后给出了丢包率比例区分确保服务模型及其数学描述,即不同业务类的规格化丢包率在任意测量间隔内均相等;提出了一种根据丢包率测量结果调节最大丢包率因子的丢包率比例区分确保服务实现方法,定义了一种丢包率比例区分性能指标。仿真实验结果表明,在网络负载比较重时,通过调节最大丢包率因子可以实现一种近似的丢包率比例区分确保服务。

参考文献:

[1] XIAO Xi-peng, LIONEL M N. Internet QoS: a big picture[J]. IEEE

Networks, 1999, 13(2):8-18.

[2] 马宏伟. 层次式交换网络服务质量控制机制研究[D]. 北京:中国科学院计算技术研究所,2004.

[3] BLAKE S, BLACK D, CARLSON M, *et al.* RFC 2475, an architecture for differentiated services [S]. [S. l.]: Internet Engineering Task Force,1998.

[4] DOVROLIS C, RAMANATHAN P. A case for relative differentiated services and the proportional differentiation model[J]. *IEEE Network*, 1999, 13(5):26-34.

[5] CHAI W K, KARALIOPOULOS M, PAVLOR G. Providing relative service differentiation to TCP flows over split TCP geostationary bandwidth on demand satellite network[C]// Proc of the 5th International Conference on Wired/Wireless Internet Communications. Berlin: Springer, 2007:17-29.

[6] CHRISTIN N, LIEBEHERR J, ABDELZAHER T F. A quantitative assured forwarding service[C]//Proc of INFOCOM. New York: IEEE Press, 2002:864-873.

[7] CHRISTIN N. Quantifiable service differentiation for packet networks [D]. Charlottesville: University of Virginia, 2003.

[8] DOVROLIS C, STILIADIS D, RAMANATHAN P. Proportional differentiated services: delay differentiation and packet scheduling[J]. *IEEE/ACM Trans on Networking*, 2002, 10(1):12-26.

[9] DOVROLIS C, RAMANATHAN P. Proportional differentiated services part II: loss rate differentiation and packet dropping[C]// Proc of the 8th International Workshop on Quality of Service. Pittsburgh: IEEE Press, 2000:53-61.

[10] CHEN Yang, QIAO Chun-ming, HAMD M, *et al.* Proportional differentiation: a scalable QoS approach[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2003, 41(6):52-58.

[11] LIAO R R, CAMPBELL A T. Dynamic core provisioning for quantitative differentiated service[C]// Proc of the 9th International Workshop on Quality of Service. Berlin: Springer, 2001:9-26.

[12] AWEYA J, OUELLETTE M, MONTUNO O Y. Relative loss rate differentiation: performance of short-lived TCP flows[J]. *International Journal of Communication Systems*, 2005, 18(1): 77-93.

[13] LI J S, LAI H C. Providing proportional differentiated services using PLQ[C]//Proc of GLOBECOM. San Antonio: IEEE Press, 2001: 2280-2284.

[14] BOBIN U, JONSSON A, SHELEN O. On creating proportional loss-rate differentiation; predictability and performance[C]// Proc of the 9th International Workshop on Quality of Service. Berlin: Springer, 2001:372-388.

[15] ZENG Jing-di, NIRWAN A. An enhanced dropping scheme for proportional differentiated services[C]//Proc of IEEE ICC. Anchorage. Alaska: IEEE Press, 2003:1897-1901.

[16] LAI Yuan-cheng, SZU Y C. Achieving proportional delay and loss differentiation in a wireless network with a multi-state link[C]//Proc of International Conference on Information Networking Towards Ubiquitous Networking and Services. Berlin: Springer, 2007: 811-820.

[17] AWEYA J, OUELLETTE M, MONTUNO O Y. Proportional loss rate differentiation in a FIFO queue[J]. *Computer Communications*, 2004, 27(18):1851-1867.

[18] AWEYA J, OUELLETTE M, MONTUNO O Y. Weighted proportional loss rate differentiation of TCP traffic[J]. *International Journal of Network Management*, 2004, 14(4):257-272.

[19] ZHANG Miao, WU Jian-ping, LIN Chuang, *et al.* WSAP: provide loss rate differentiation with active queue management[C]// Proc of International Conference on Communication Technology. Beijing: IEEE Press, 2003: 385-391.

[20] ZHANG Miao, WU Jian-ping, LIN Chuang, *et al.* SAP: on designing simple AQM algorithm for supporting TCP flows[C]//Proc of ICOIN. Berlin: Springer, 2003: 515-524.

[21] KOO J, AHN S J. Analysis of RED with multiple class-based queues for supporting proportional differentiated services[C]// Proc of the 9th International Conference on Knowledge-based Intelligent Information and Engineering Systems. Berlin: Springer, 2005:618-623.

[22] KOO J, SHAKHOV V V, CHOO H. An enhanced RED-based scheme for differentiated loss guarantees [C]// Proc of APNOMS. Berlin: Springer, 2006: 481-490.

[23] CHO K, BAE S, KOO J, *et al.* On achieving proportional loss differentiation using dynamic-MQDDP with differential drop probability [C]// Proc of HCII. Berlin: Springer, 2007: 584-593.

[24] FLOYD S, JACOBSON V. Random early detection gateways for congestion avoidance[J]. *IEEE/ACM Trans on Networking*, 1993, 1(4): 397-413.

[25] Cisco System Inc. Distributed weighted random early detection [EB/OL]. <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios111/cc111/wred.pdf>.

[26] BODIN U, SCHELEN Q, PINK S. Load-tolerant differentiation with active queue management[J]. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2000, 30(3):4-16.

(上接第 3131 页)

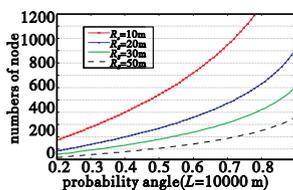


图5 一维直线区域节点随机覆盖模型节点数随覆盖概率角的变化

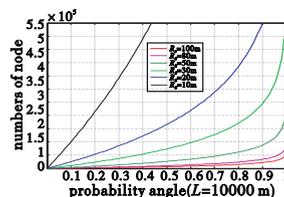


图6 一维直线区域正态分布覆盖模型节点数随覆盖概率角变化

参考文献:

[1] MEGUERDICHIAN K S, POTKOJAK F, SRIVASTAVA M B. Coverage problems in wireless Ad hoc sensor networks[C]//Proc of IEEE INFOCOM. 2001:1380-1387.

[2] 汪学清. 无线传感器网络中连通与覆盖问题研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2006.

[3] LI Xiang-yang, WAN Peng-jun, FRIEDER O. Coverage in wireless

Ad hoc sensor networks[J]. *IEEE Trans on Computers*, 2003, 52(6):753-763.

[4] MEGRIAN S, KOUSHANFAR F, POTKOJAK M, *et al.* Worst and best-case coverage in sensor networks[J]. *IEEE Trans on Mobile Computing*, 2005, 12(4): 84-92.

[5] 任彦, 张思东, 张宏科. 无线传感器网络三维空间最佳覆盖路由协议[J]. *电子学报*, 2006, 34(2):306-311.

[6] RAVELOMANANA V. Extremal properties of three-dimensional sensor networks with applications[J]. *IEEE Trans on Mobile Computing*, 2004, 3(3):246-257.

[7] SANTI P. Topology control in wireless Ad hoc and sensor networks [M]. [S. l.]: Wiley, 2005.

[8] LEONCINI M, RESTA G, SANTI P. Partially controlled deployment strategies for wireless sensors[J]. *Ad hoc Networks*, 2009, 7(1):1-23.

[9] 赵仕俊. 数字化钻井系统的无线传感器网络研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2010.