

FCA-ItswTCM: 区分服务中一种公平的 拥塞自适应标记算法

龚 静¹, 吴春明², 孙维荣², 张 旻²

(1. 铜仁学院计算机科学系, 贵州铜仁 554300; 2. 浙江大学人工智能研究所, 浙江杭州 310027)

摘 要: 本文提出了一种新的滑动窗口标记算法——公平的拥塞自适应标记算法(FCA-ItswTCM)。算法近似识别 TCP 流和 UDP 流, 适度区分标记, 规避拥塞控制机制对公平性的影响; 细粒度描述拥塞, 预测拥塞, 以此自适应调节各流注入黄包比例, 兼顾网络拥塞状态对公平性的影响。仿真实验表明, 与其他几种滑动窗口标记算法相比, FCA-ItswTCM 对确保 TCP 流和 UDP 流带宽共享的公平性、提高资源利用率及系统稳定性有较好的效果。

关键词: 区分服务; 标记算法; 公平性

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 07-1624-04

FCA-ItswTCM : A Fair Adaptive Labeling Algorithm on Congestion Control Mechanism in the DiffServ

GONG Jing¹, WU Chun-ming², SUN Wei-rong², ZHANG Min²

(1. Computer Science Department, Tongren University, Tongren, Guizhou 554300, China;

2. AI Institute of Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract: We give a new labeling algorithm for sliding windows – a fair adaptive labeling algorithm on congestion control mechanism. The algorithm approximately identifies TCP and UDP flows, moderately distinguishes labels, and avoids the impact of congestion control mechanism on fairness. Based on the fine-grained description and prediction of the network congestion problem, the paper presents the self-adaption of the ratio of yellow package infused by each flow, and gives consideration to the impact on fairness caused by the state of network congestion. Compared with other labeling algorithms of sliding window, simulation experiment results show that FCA-ItswTCM has better effects on ensuring fairness between TCP and UDP flows and raising resource utilization and system stabilization.

Key words: DiffServ; labeling algorithm; fairness

1 引言

DiffServ (Differentiated Services, DiffServ)^[1]在体系结构、服务定义、设置、管理细节等方面的研究已较明确,但在端到端服务的 QOS 机制、组播服务、及带宽分配的公平性方面还尚待完善,近年来,广大研究者对此也展开了研究^[2,3]。

文献[4]研究了 DiffServ 中影响各业务流间带宽公平分配的因素,其中拥塞控制机制是影响业务流带宽公平分配的主要原因。目前,DiffServ 关于 TCP /UDP 流公平性问题的各种解决方法都集中于惩罚 UDP 流,这一方法也带来新的问题,UDP 流的公平性会遭到损害。随着 UDP 流的应用在 Internet 所占比例的增加,DiffServ 如

何保证 TCP 流竞争网络资源的能力,同时为 UDP 提供良好的 QOS 支持,是值得研究的问题。

DiffServ 中常用的标记算法是滑动窗口的标记算法,较著名的有 TSWTCM、ItswTCM、P²tswTCM 及 M-P²tswTCM^[5],其标记绿包以保证数据流获得订购的最低带宽,标记黄包则允许数据流竞争剩余带宽。但由于 TCP 拥塞控制机制的存在,一旦拥塞,则无法确保 TCP 流与 UDP 流获得公平的比例带宽分配。又由于滑动窗口的标记算法缺乏对网络拥塞状态的考虑,可能在网络拥塞时注入过多的黄包,导致因网络拥塞而丢弃过多黄包,使 TCP 流竞争带宽能力下降;而在网络空闲时,则可能注入较少黄包,致使链路利用率较低。

本文提出一种提高资源利用率、以及保证 TCP 流

和 UDP 流带宽共享公平性的拥塞自适应标记算法 FCA-ItswTCM(Fair Congestion Adaptive ItswTCM)。

2 FCA-ItswTCM

2.1 FCA-ItswTCM 算法思想

FCA-ItswTCM 的主要设计目标是保证 TCP 流和 UDP 流带宽共享公平性的同时提高资源利用率。其主要设计思想是: (1) 近似区分标记。近似识别 TCP 流和 UDP 流, 以此适度区分标记 TCP 流和 UDP 流, 规避拥塞控制机制对公平性的影响; (2) 自适应调节标记比例。调节各流注入的黄包数量与核心域拥塞状态自适应, 兼顾网络拥塞状态对 TCP 汇聚流及微流带宽共享公平性的影响, 同时提高资源利用率。

2.2 近似区分标记

FCA-ItswTCM 用采样击中近似识别 UDP 流, 实现适度的区分标记。用采样击中近似识别 UDP 流, 主要考虑了因特网中流量分布特征和采样特性。在某段采样时间内通过有限的采样次数即可获得给定精度, 其计算开销和存储开销较小, 实现简单^[6]。因此, 可利用采样技术对到达分组采样, 在一个较小的采样列表存储采样的流标识, 以获取边界路由器中分组分布特征信息。当到达的分组速率超过订购速率时, 与采样列表中随机抽取的一个流标识进行比较, 若击中称为采样击中。由于高速率的 UDP 流在队列中分组数较多, 且高速率 UDP 流在单位时间内到达的分组也较多。故采样击中, 能近似检测出 UDP 流。进一步, 在拥塞时, 对 TCP 流和 UDP 流区分标记黄包比例, 适度降低 UDP 流标记黄包比例, 以此, 平衡 UDP 流和 TCP 流带宽竞争能力。

2.3 自适应调节标记比例

FCA-ItswTCM 设计标记因子 λ , 调节黄包标记比例与核心域拥塞状态自适应, $\lambda_i = (1 - CI) * F_i * X$ 。X 是链路带宽; CI 是拥塞指数, 区分服务网络核心域拥塞状态的测度; $F_i = CIR_i / \sum_{i=1}^n CIR_i$ 是汇聚流 i 的比例公平因子, 其中 CIR 为汇聚流的目标速率。

比例公平因子 F_i 保证各流所得到的剩余带宽与它们的目标速率成比例。拥塞指数 CI 对比例公平因子 F_i 自适应调节, 使累计注入黄包数量与网络拥塞状态自适应, 拥塞加重时, 各流注入黄包数量比例性降低, 拥塞减轻时, 各流注入黄包数量比例性增加。

FCA-ItswTCM 通过拥塞反馈控制机制获取核心域拥塞状态。但由于传输延迟, 发送端边界路由器得到的拥塞信息往往不能准确地反映网络的实际拥塞状况, 规避拥塞信息滞后现象尤为重要。

FCA-ItswTCM 的关键在于设计拥塞指数和拥塞预测。

2.4 拥塞指数及拥塞预测

区分服务中拥塞感知的标记算法往往基于拥塞状态的二值信号 1 和 0(拥塞和不拥塞)调节数据包标记比例^[7]。事实上, 根据二值信号 1 和 0 调节数据包标记比例, 无法取得细粒度的调节。

本文采用文献[8]定义的拥塞指数, 利用队列及队列的变化细粒度描述核心域拥塞程度, 其值域为 $[-1, 1]$, CI 为负, 表示网络轻载, 为正, 表示网络拥塞, 且值越大, 网络越拥塞。

为了规避拥塞信息滞后现象, 采用卡尔曼滤波预测核心节点的队列状态, 进而预测拥塞指数。

建立排队队列的状态方程和观测方程:

$$\mathbf{x}(k) = \Phi(k, k-1, \mathbf{x}(k-1)) + w_d(k) \quad (1)$$

$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{H}\mathbf{x}(k) + v(k) \quad (2)$$

其中, $\mathbf{x}(k)$ 描述排队队列在 k 时刻的状态, Φ 是 n 维矩阵, 描述排队队列从 $k-1$ 到 k 时刻的状态变换。 $\mathbf{y}(k)$ 是观测向量, \mathbf{H} 是观测矩阵。 w_d 是状态噪声, v 是观测噪声。

根据式(1)、(2)建立 Kalman 预测模型:

$$\hat{\mathbf{x}}_k^- = \Phi(k, k-1, \hat{\mathbf{x}}_{k-1}) \quad (3)$$

$$P_k^- = \Phi(k, k-1)P_{k-1}\Phi(k, k-1)^T + Q \quad (4)$$

和估计模型:

$$K(k) = P_k^- \mathbf{H}^T (\mathbf{H}P_k^- \mathbf{H}^T + R)^{-1} \quad (5)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^- + K(k)(y_k - \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}}_k^-) \quad (6)$$

$$P_k = (1 - K(k)\mathbf{H})P_k^- \quad (7)$$

其中, $\hat{\mathbf{x}}_k^-$ 为 k 时刻的预测结果, $\hat{\mathbf{x}}_k$ 为 k 时刻最优估计结果, 其对应的协方差为 P_k^- 和 P_k 。 K 为卡尔曼增益, Q 和 R 为系统过程和测量过程的高斯白噪声的协方差, 分别描述 w_d 和 v 的强度。

预测的关键是求 Φ 、 Q_d 、 \mathbf{H} 、 \mathbf{R} 。

本文用队列长度和队列服务速率描述排队系统的状态, 设 x_1 是队列长度, x_2 是数据包到达的速率, x_3 是数据包输出速率, 则:

$$\mathbf{x}(k) = \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \end{bmatrix} \quad (8)$$

用 Q_d 描述 w_d ,

$$Q_d = \begin{bmatrix} Q_1 & 0 & 0 \\ 0 & Q_2 & 0 \\ 0 & 0 & Q_3 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Q_1, Q_2, Q_3 分别与 x_1, x_2, x_3 相关联。

Φ 描述为^[9]:

$$\Phi_{ij}(k, k-1) = \frac{\partial \phi_i}{\partial x_j} \Big|_{x = \hat{\mathbf{x}}_{k-1}}$$

$$\approx \frac{\phi_i \left[x + \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right] - \phi_i \left[x - \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right]}{2\Delta x_i} \Bigg|_{x=\hat{x}_{k-1}}, \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (10)$$

其中, Δx_i 必须选择足够小. 由于实际队列的大小必须是整数, Δx_1 可以取最小值为 1. 而为了保证 Δx_2 和 Δx_3 足够小, 可取其值为 $x_2/100$ 和 $x_3/100$.

3 实验及性能分析

3.1 仿真实验的配置

为了分析 FCA-ItswTCM 的性能, 利用 ns-2 仿真平台, 对 TswTCM、ItswTCM、I²tswTCM、FCA-ItswTCM 进行了比较分析. 网络拓扑结构见图 1.

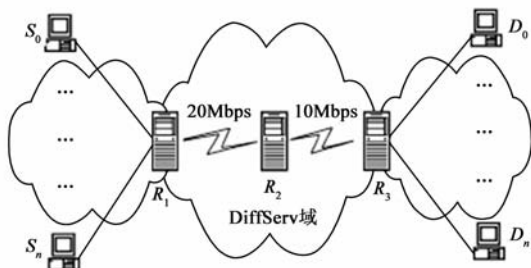


图1 网络拓扑

设计两种实验场景. 场景一, 汇聚流 S_0 是 10 个发送速率为 1Mbps 的 TCP 流, 其目标速率从 1Mbps 依次变化到 10Mbps; 汇聚流 S_1 的目标速率固定为 2Mbps, S_1 只有 1 个 UDP 流, 其发送速率从 0.5Mbps 递增到 10Mbps. 场景二, 汇聚流 S_0 是 10 个发送速率为 1Mbps 的 TCP 流, 其目标速率从 1Mbps 依次变化到 10Mbps; 汇聚流 S_1 的目标速率固定为 2Mbps, S_1 中 9 个 TCP 流的发送速率为 1Mbps, 2 个 UDP 流的发送速率从 0.5Mbps 递增到 10Mbps.

3.2 采样误差率

对 FCA-ItswTCM 而言, 采样的精确度是影响其性能的重要因素. 分别对场景一和场景二中采样误差率进行测量, 每次实验时间为 300s, 每隔一秒钟记录一次误差率, 共进行了 200 次实验. 在这些实验中, 误差率的分布基本相同, 如图 2. 实验显示, 采样误差率基本上在 0 至 0.08 间波动, 很少大于 0.1. 统计 200 次实验中误差率超过 0.1 的次数仅有 9 次, 即采样能以 $(1 - 9/200 = 0.955)$ 的概率达到采样精度.

3.3 拥塞预测

对 FCA-ItswTCM 而言, 预测的准确性是影响其性能的重要因素. 图 3 显示, 本文预测算法对网络拥塞状态的预测效果较好, 预测的拥塞指数变化趋势与真实拥塞指数变化趋势几乎一致.

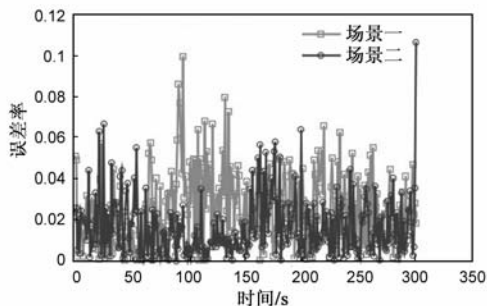


图2 采样误差率

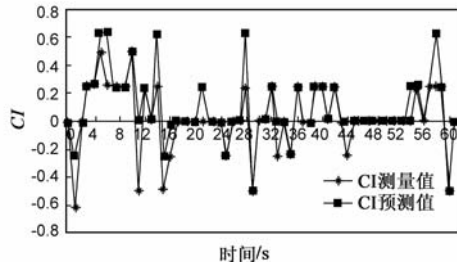
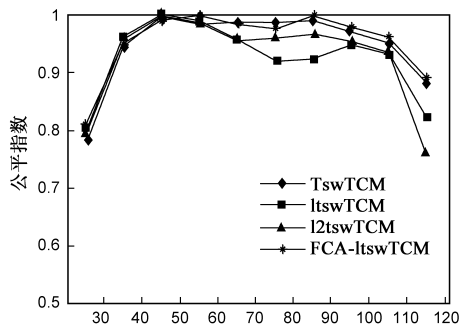


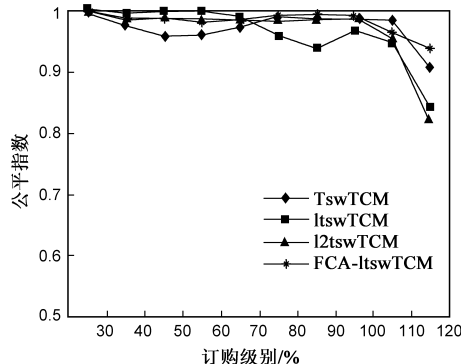
图3 测量CI和预测CI对比图

3.4 目标速率对公平指数的影响

图 4(a)、(b) 显示, 当网络订购级别从 30% 变化到 120% 时, FCA-ItswTCM 算法的公平指数明显高于 TswTCM、ItswTCM、I²tswTCM 算法, 并且 FCA-ItswTCM 算法的公平指数波动范围较小, 这表明, 相对其它几种算法而言, FCA-ItswTCM 算法较好的提高了带宽分配的公平性, 且稳定性较好.



(a) 场景一



(b) 场景二

图4 公平指数与订购级别关系

3.5 TCP 汇聚流及微流的吞吐量

我们还分析了场景一、二中, TCP 汇聚流的吞吐量随其订购速率变化的情况, 以及场景二中, 不同订购情况下, 汇聚流 S_1 中 TCP 微流的吞吐量随网络拥塞程度变化的情况. 实验结果显示: FCA-ItswTCM 算法不仅能保证 TCP 流和 UDP 流带宽共享公平性, 同时也能提高带宽利用率. 另外, FCA-ItswTCM 算法在确保 TCP 微流的公平性方面, 优于其他几种算法. 这也充分体现了 FCA-ItswTCM 利用网络拥塞程度自适应调节各流竞争带宽的能力是有效的.

4 总结

本文针对滑动窗口标记算法存在的问题, 以确保 TCP 流和 UDP 流带宽共享公平性, 及提高带宽利用率为目的, 提出 FCA-ItswTCM 算法. FCA-ItswTCM 的主要设计策略是近似区分标记和自适应调节各流标记比例. FCA-ItswTCM 虽然增加了采样计算和拥塞预测运算, 但其计算开销和存储开销较小.

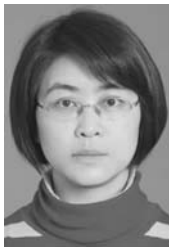
相比 TSWTCM、ItswTCM、I2tswTCM 而言, FCA-ItswTCM 对确保 TCP 流和 UDP 流带宽共享的公平性、提高资源利用率及系统稳定性有较好的效果.

参考文献

- [1] Nichols K, Jacobson V, Zhangl. A Two-Bit Differentiated Services Architecture for the Internet[S]. IETF RFC 2638, 1999.
- [2] Neda Moghim, Seyed Mostafa Safavi, Masoud Reza Hashemi. A new end-to-end quality of service algorithm in diffServ networks[A]. Proceedings of IEEE ICCEE' 2008 [C]. Phuket: IEEE ICCEE Press, 2008. 349 - 353.
- [3] Nguyen Hong Son, M Eng, Le Huu Lap. A method for performing connection admission control in diffserv networks[A]. Proceedings of IEEE ICACT' 2009 [C]. Korea: IEEE Press, 2009. 227 - 232.
- [4] JAIN R, LIU C, GOYALM, et al. Performance Analysis of Assured Forwarding[S]. IETF DRAFT, 2000.

- [5] S Sudha, B Srinivasa Rao, N Ammasaigounden. A modified I²TSWTCM to improve bandwidth fairness in DiffServ[A]. Proceedings of the 2008 IEEE Region 10 Colloquium and the Third ICIIS[C]. Kharagpur: IEEE Press, 2008. 1 - 4.
- [6] 龚静, 吴春明. S-CHOKe: 一种增强 CHOKe 公平性的主动式队列管理算法[J]. 电子学报, 2010, 38(5): 1 - 5. GONG Jing, WU Chun-ming. S-CHOKe: An AQM algorithm for enhances the fairness of the CHOKe[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(5): 1 - 5. (in Chinese)
- [7] 姜明, 吴春明, 朱森良. 区分服务中一种拥塞感知的单速三色标记算法[J]. 电子学报, 2004, 32(1): 69 - 74. JIANG Ming, WU Chun-ming, ZHU Miao-lian. A congestion aware single rate three-color marker for differentiated services [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(1): 69 - 74. (in Chinese)
- [8] 任丰原, 林闯, 魏丫丫, 等. 主动队列管理中的智能分组丢弃新机制[J]. 电子学报, 2002, 30(12): 1933 - 1937. REN Feng yuan, Lin Chuang, Wei Ya Ya, et al. An intelligent packet dropping mechanism for active queue management[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(12): 1933 - 1937. (in Chinese)
- [9] Nathan C Stuckey, Juan R Vasquez, Scott R Graham. Estimating queue size in a computer network using an extended kalman filter[A]. Proceedings of IEEE Aerospace Conference 2007 [C]. Toronto: IEEE Press, 2007. 1 - 12.

作者简介



龚 静 女, 1974 年出生, 硕士, 铜仁学院数学与计算机科学系副教授. 主要从事计算机网络、数据挖掘等领域的科学研究工作. 2009 年赴浙江大学人工智能研究所访学, 参加国家自然科学基金(No. 60773182)及国家 863 重大项目课题(No. 2008AA01A323)的研究工作.
E-mail: gongjingyh@126.com

吴春明 男, 1967 年出生, 博士, 浙江大学计算机学院教授, 博士生导师. 主要从事网络服务质量、可重构网络技术、网络虚拟化等领域的科学研究工作. E-mail: wuchunming@zju.edu.cn