

基于 PPBP 流量检测模型的带宽规划研究

王苏南, 赵 昕, 张校辉, 罗兴国

(国家数字交换系统工程技术研究中心, 河南 郑州 450002)

摘 要: 宽带接入情况下的链路带宽资源规划是网络部署实施过程中所面临的首要问题。为有效解决带宽规划问题, 本文基于流量检测技术提出了具有一般意义的链路带宽规划方法, 该方法采用了泊松帕雷托突发过程模型, 能够通过有限时间尺度集解决带宽规划问题。通过统计本地缓存信息的方式, 实现了链路带宽规划方法并验证了其有效性。从满足 QoS 的角度出发, 给出了一种便于工程实施的最优网络部署方法。

关键词: 流量检测; PPBP 模型; 流量规模计算; 带宽规划

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)07-0047-04

Research of Bandwidth Planning Based on PPBP Traffic Detection Model

WANG Su-nan, ZHAO Xin, ZHANG Xiao-hui, LUO Xing-guo

(National Digital Switching System Engineering & Technology R&D Center, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Link bandwidth resource planning is both the foundation of the implementation of the large scale real-time streaming media applications and the precondition of network deployment in the broadband access environment. This paper proposes a link bandwidth planning method with Poisson Pareto burst process traffic model. And this new method can resolve the planning problem with the traffic information of only a small set of timescales. The method is realized in the way of counting local cache information. The validity and the performances of the method, including the space complexity and computational complexity, are investigated in the paper. An optimal network deployment scheme is proposed. This scheme can meet the requirement of QoS and is easy to be implemented.

Key words: traffic detection; PPBP; traffic-scale calculating; bandwidth planning

1 引言

网络互联至目前以超摩尔定律的发展速度融入千家万户生活的各个方面。其具有的非技术驱动的特点, 使网络建设、设备研制与业务提供相关其理论研究滞后于实际应用, 难以在系统的理论体系指导下实现各自的目标。这不仅难以保证用户服务提供的质量, 往往还浪费了资源。八十年代早期随着宽带综合服务数字网络 (Broadband Integrated Service Digital Network, B-ISDN) 的部署^[1], 而高速数据传输业务已扩展到单纯的话音业务网络, 在传统话务网中每个用户源所占固定带宽模型早已不再适用。

本文通过经典的 PPBP 流量模型检测突发流量, 估计其规模, 为 QoS 保障进行带宽规划及部署。

2 流量特征检测模型

基于流量突发检测技术的泊松帕雷托突发过程模型 (Poisson Pareto Burst Process, PPBP) 其刻画自相似流量的方法最早是由 Timothy Neame 在文献[2]中提出, PPBP 模型表示输入顾客流到达服从参数为 λ 的 Poisson 过程, 系统内拥有无穷个服务设备, 而每个服务设备的服务时间 T 独立同分布呈 Pareto 重尾分布。PPBP 构成排队系统中顾客流总数在时间轴上的分布序列, PPBP 模型的构造如下

收稿日期: 2011-11-03; 修回日期: 2011-12-10

基金项目: 国家“八六三”计划项目 (2009AA01A346)

图 1 所示。

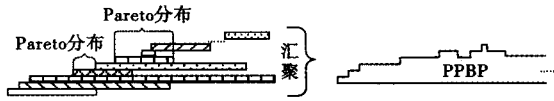


图 1 PPBP 检测模型

在随机过程 $\{N_t; N_t \in Z^+, t \geq 0\}$ 表示时间 t 流量中的突发数量, 其中 Z^+ 表示正整数. $\{A_i^t; A_i^t \in R, i=0, 1, 2, \dots\}$ 表示流量所到达时间, $\{L_j^t; L_j^t \in R, j=0, 1, 2, \dots\}$ 表示流量所离开的时间. 若用 D_T 表示突发流量的持续时间. 则 $L_T^t = A_T^t + D_T^t$. 尽管 A_T^t 表示增量序列, 突发流量持续时间 A_T^t 是随机过程, 那么 L_T^t 也是随机的. 在随机过程 X_n 表示 $[0, t]$ 时间内累计到达量的连续时间的随机过程, t 时刻的突发数 N_t 可表示为:

$$N_t = \sum_{i=0}^{\infty} X_i, \quad i \in [A_T^t, L_T^t]$$

$$X_i = \begin{cases} 1, & i \in R \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

在 PPBP 模型中, 突发持续时间的 D_T 相互独立, 并服从 Pareto 分布的随机变量. 有 D_T 服从:

$$P(D_T > x) = \begin{cases} \left(\frac{x}{\delta}\right)^{-\gamma}, & x \geq \delta \\ 1, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

其中 $\delta > 0, 1 < \gamma < 2$. 同时 D_T 均值服从:

$$E(D_T) = \frac{\delta\gamma}{\gamma-1} \quad (3)$$

若突发过程具有平稳性, 初始突发流量的持续时间为 D_T^0 , 则 D_T^0 是均值为 $\lambda E(D_T)$ 的泊松随机过程, 故突发流量持续时间有相互独立. 从而 D_T 与 L_T 相同分布, 对于 $i \in \{1, \dots, D_T^0\}, L_T$ 满足:

$$P(L_T > x) = \begin{cases} \frac{1}{\gamma} \left(\frac{x}{\delta}\right)^{1-\gamma}, & x \geq \delta \\ \frac{\gamma-1}{\gamma} \left(1 - \frac{x}{\delta}\right) + \frac{1}{\gamma}, & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

令 X_n 表示在 $[0, t]$ 时间内累计到达量连续时间的随机过程, 若所有流量到达率为均值 r , 因此 PPBP 模型刻画的流量突发数可表示为^[3]:

$$X_n = \lambda r \int_0^t D_T dt \quad (5)$$

3 流量规模计算

获取流量的规模是为了保障 QoS 的基础上实现大规模非正常突发流量汇聚下的统计复用数学描述, 同时也是网络部署需先决的前提. 因此在上述所

得流量特性分析的基础上, 再估计流量的规模, 其本质上是由 QoS 指标约束(需要接入的带宽决定). 为估计所获得流量的规模, 先基于 MV-LD 算子^[4],

$$\log P\{Q_r > b\} = \inf \frac{(b + (C_P - \mu)t)^2}{(-2\sigma_X^2(t))} \quad (6)$$

变换公式(4)得到 $\text{var}(t)$ 估计:

$$\text{var}(t) \approx \inf \frac{(b + (C_P - \mu)t)^2}{(-2\log P\{Q_r > b\})} \quad (7)$$

其次依照 QoS 的约束:

$$\log P\{Q_r > b\} \approx \log P\left\{\sum_{i=1}^{\lambda} X_i \geq nc\right\} \leq \epsilon \quad (8)$$

在估计流量规模时, 通常认为流量汇聚具有高斯性, 是由 λ 个独立的相同分布子流构成, 同时子流的均值和方差分别为 μ, σ^2 , 并且队列服务速率与队列服务数量分别为 c, n . 若满足上述最好情况的条件下, λ 是流量汇聚规模的最低保证. 则根据方差的特性:

$$\sqrt{\text{var}(t) + \text{var}(t)} \leq \sqrt{\text{var}(t)} + \sqrt{\text{var}(t)} \quad (9)$$

再根据公式(6), 可得:

$$P\left\{\sum_{i=1}^{\lambda} X_i \geq nc\right\} \approx e^{-\frac{(nc - \lambda\mu)^2}{2\lambda\sigma^2}} \quad (10)$$

而由公式(10)可得 $\lambda(n)$ 为:

$$\lambda(n) = \left(\frac{c}{\mu}\right)n - \left(\sqrt{\epsilon c \frac{\text{var}}{\mu^3}}\right)\sqrt{n} + o(\sqrt{n}) \quad (11)$$

显然公式(11)通过计算所得 $\lambda(n)$, 其在 QoS 约束带宽保障为 $C = nc$ 时, 为汇聚流量规模近似结果.

4 网络部署方案

在得到流量规模基础上, 再来研究一下其网络部署问题, 就是从若干可能的方案中设计一个如何有效地计划和管控的网络系统, 使其发挥出最高效、最优化的方案, 即在流量规模下满足 QoS 带宽资源的约束, 同时设计出其部署方案为使其系统开销最小. 为此涉及到系统的开销问题主要包括三方面: 设备部署和业务部署开销, 以及远程传输的带宽资源开销.

为便于计算机网络部署的最优化方法实现, 文中选择了动态规划(Dynamic Programming, DP)的方法, 作为运筹学的一个分支, 由美国数学家 R. E. Bellman 等人于 20 世纪 50 年代初在研究多阶段决策过程(multistep decision process)中的优化问题时提出的最优化方法. 其核心思想是将多阶段过程

问题转化并分解为一组单阶段过程,并利用单阶段与单阶段间的关系而逐步求解^[5].

虽然 DP 方法便于分段递归实现,但不存在一种可以解决各类最优化问题的形式化的 DP 方法以此来解决针对不同性质的最优化问题,并寻求灵活地确定最优化解的模型描述. 因为对于解最优化的问题,动态规划程序设计只是一种途径或方法,并不是一种特殊算法. 不具备一个明确、标准的数学表达. 所以需分级分析最优化网络部署问题,并明确最优化的要素,以便下一步给出最优网络部署的策略.

经前文所述,可利用下述公式(12)表示,若将最优网络部署简化为整数规划(Integer Program, IP)进行分析^[6-7],则优化目标可表述为:

$$\min \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad \text{s. t.} \quad Ax \geq b, x \geq 0, x \in Z^n \quad (12)$$

其中线性 IP 的参数均为整数, $c, x \in Z^n, b \in Z^m, A \in Z^{m \times n}, x \in R^n, b \in R^m, A \in R^{m \times n}$.

由于 A 是行满秩的,且 $m \leq n, b \geq 0$. 所以对照图 2 给出 DP 思想的算法要素. 虽然在实际情况中可能优化结果策略中的子策略不一定是最优(不满足判定最优化原理的标准),但使其基于 DP 思想的计算过程中可以用递推方式进行实现.

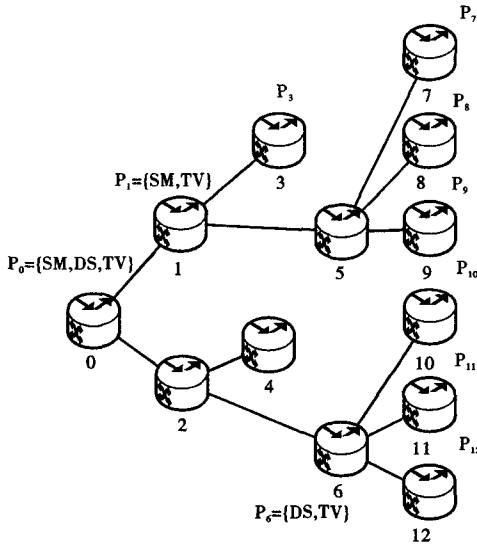


图 2 网络业务部署

算法要素:在部属算法中所需变量、目标、管控因子和状态.

(1) 变量

S_i : 节点 i 设备硬件部属开销;

P_{ip} : 节点 i 业务部属 p 开销;

C_{ip} : 节点 i 未部属硬件或业务,仅为业务传输 p 的带宽开销.

(2) 目标

$$\min \left[\sum_{i=1}^n S_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^P P_{ip} y_{ip} + \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^P C_{ip} z_{ip} \right] \quad (13)$$

(3) 管控因子

$x_i: x_i = \{0, 1\}, x_i = 1$ 表示节点 i 硬件部属;

$y_{ip}: y_{ip} = \{0, 1\}, y_{ip} = 1$ 表示节点 i 业务部属 p ;

$z_{ip}: z_{ip} = \{0, 1\}, z_{ip} = 1$ 表示节点 i 传输业务 p ;

$y_{ip} \leq z_{ip}, j = 0, 1, \dots, N, p = 0, 1, \dots, P$;

$N_j: N_j = (n_{j1}, n_{j2}, \dots, n_{jp})$, 节点 i 所需业务类型集.

(4) 状态

$n_{jp}: n_{jp} = \{N, M, T\}$, 其中 $n_{jp} = N$ 表示节点 j 无需业务部属 p , 并无需传输, $n_{jp} = M$ 表示节点 j 所需业务部属 p 及硬件设备, $n_{jp} = T$ 表示节点 j 所需由其他节点传输的使用业务 p . 并设定网络中至少存在一个设备、一种业务、一级传输的初始状态.

在节点 i 若需业务集 N_j , 并对应的部属开销(目标)可表示为:

$$R_j(N_j) = S_j + \sum_{j=1}^P P_j + \sum_{j=1}^n C_j \quad (14)$$

动态规划算法的递推公式(转移规律)为:

$$R_j(N_j) = R_j(N_j) + \sum_n \min R_n(N_n) \quad (15)$$

其中, $n \in CHILD(j), N_j \in EXIST_j, j = n, n-1, \dots, 0$. 由于在实际业务部属的情况下,不是所有的 N_j 都存在,而对于存在的 N_j 集合表示为 $EXIST_m(N_j)$, 此时 N_m 为优化的结果, $N_m \in EXIST_m(N_j)$, $CHILD(j)$ 表示 j 节点所属子节点的集合.

(5) 决策

表示在阶段的给定状态后,选择由该状态演进推到下一阶段某个状态,即阶段的 N_m .

5 网络部署实例

以图 2 为例,网络拓扑由基于动态规划的思想给出了三类业务 $P_j = \{SM, DS, TV\}$ 的最优部署,其中流媒体传输业务(Streaming Media, SM)、数据传输业务(Data Share, DS)、传统电视业务(TV),可分为四个阶段. 初始状态 $P_0 = \{SM, DS, TV\}$, 业务需求为 $P_7 = P_8 = \{SM, TV\}, P_9 = P_3 = \{SM\}, P_{10} = P_4 = \{DS\}, P_{11} = P_{12} = \{DS, TV\}$, 为便于描述将 $n_{jp} = \{N, M, T\}$ 记为 $n_{jp} = \{0, 1, 2\}$, $P_j = \{SM, DS, TV\}$ 记为 $P_j = \{0, 1, 2\}$, 采用以 N_j 对应向量值表示的状态变量 n_{jp} , 同时对应位置代表所需的业务

类型. 而后定义所有部署硬件的开销均为 $S_i = S = 6$, $P_{ip} = P = 2$, 为传输带宽开销分别是 $C_{01} = 6$, $C_{02} = 4$, $C_{13} = 3$, $C_{15} = 1$, $C_{24} = 1$, $C_{26} = 4$, $C_{57} = C_{58} = C_{59} = C_{610} = C_{611} = C_{612} = 3$.

阶段一: 如表 1 所示, 计算所有有效状态的开销的末端节点集 $\{7, 8, 9, 10, 11, 12\}$.

表 1 末端节点计算方法与网络部署决策

状态 N_j	状态集 $EXIST_j$	结果 $R_j(N_j)$	计算方法	决策
(0,1,1)	$EXIST_{12}$	10	$S+P+P$	
(0,1,2)		11	$S+P+C_{12}$	
(0,2,1)		11	$S+P+C_{12}$	
(0,2,2)		6	$C_{12}+C_{12}$	*
(0,1,1)	$EXIST_{11}$	10	$S+P+P$	
(0,1,2)		11	$S+P+C_{11}$	
(0,2,1)		11	$S+P+C_{11}$	
(0,2,2)		6	$C_{11}+C_{11}$	*
(0,1,0)	$EXIST_{10}$	8	$S+P$	
(0,2,0)		3	C_{10}	*
(1,0,0)	$EXIST_9$	8	$S+P$	
(2,0,0)		3	C_9	*
(1,0,1)	$EXIST_8$	10	$S+P+P$	
(1,0,2)		11	$S+P+C_8$	
(2,0,1)		11	$S+P+C_8$	
(2,0,2)		6	C_8+C_8	*
(1,0,1)	$EXIST_7$	10	$S+P+P$	
(1,0,2)		11	$S+P+C_7$	
(2,0,1)		11	$S+P+C_7$	
(2,0,2)		6	C_7+C_7	*

阶段二: 在表 1 的基础上, 计算所有有效状态开销的紧邻末端节点集 $\{3, 4, 5\}$, 如表 2 所示.

最终部署决策则由表 1 和表 2 中的“*”标识, 即状态位 $N_0 = \{M, M, M\}$, $N_1 = \{M, N, M\}$, $N_2 = \{N, T, N\}$, $N_3 = \{T, N, N\}$, $N_4 = \{N, T, N\}$, $N_5 = \{T, N, T\}$, $N_6 = \{N, M, M\}$, $N_7 = N_8 = \{T, N, T\}$, $N_{10} = \{N, T, N\}$, $N_{11} = N_{12} = \{N, T, N\}$. 详细说明在根节点 0 部署设备及三种业务 $P_0 = \{SM, DS, TV\}$, 在下一级节点 1 部署设备及两类业务 $P_1 = \{SM, TV\}$, 在下二级节点 6 部署设备及两类业务 $P_6 = \{DS, TV\}$, 同时若使得网络部署开销达到最小, 其余节点传输时则使用所需业务的决策, 即完成.

表 2 节点集 $\{3, 4, 5\}$ 开销与网络部署决策

状态 N_j	状态集 $EXIST_j$	计算方法	结果 $R_j(N_j)$
(0,0,0)		$R_5(0,0,0)+R_9(1,0,0)+R_8(1,0,1)+R_7(1,0,1)$	28
(0,0,1)		$R_5(0,0,1)+R_9(0,1,1)+R_8(1,0,1)+R_7(1,0,1)$	36
(0,0,2)		$R_5(0,0,2)+R_9(0,1,1)+R_8(1,0,1)+R_7(1,0,1)$	29
(1,0,0)		$R_5(1,0,0)+R_9(2,0,0)+R_8(0,1,1)+R_7(0,1,0)$	31
(1,0,1)	$EXIST_5$	$R_5(1,0,1)+R_9(2,0,0)+R_8(2,0,2)+R_7(2,0,2)$	25
(1,0,2)		$R_5(1,0,2)+R_9(2,0,0)+R_8(2,0,2)+R_7(2,0,2)$	24
(2,0,0)		$R_5(2,0,0)+R_9(2,0,0)+R_8(0,1,1)+R_7(0,1,0)$	24
(2,0,1)		$R_5(2,0,1)+R_9(2,0,0)+R_8(2,0,2)+R_7(2,0,2)$	24
(2,0,2)		$R_5(2,0,2)+R_9(2,0,0)+R_8(2,0,2)+R_7(2,0,2)$	17 *
(0,1,0)	$EXIST_4$	$S+P$	8
(0,2,0)		C_4	1 *
(1,0,0)	$EXIST_3$	$S+P$	8
(2,0,0)		C_3	3 *

6 结束语

本文研究的利用 PPBP 流量检测模型对集群性异常突发的流量进行计算, 估计流量规模、规划带宽, 并根据动态规划的思想给出一套最优网络部署策略. 验证了链路带宽规划的有效性, 并从业务和网络设备层面, 以及满足 QoS 的角度出发并获得流量规模的基础上, 通过空间复杂度换取计算复杂度, 设计出一种便于工程实施的最优网络部署方法.

参考文献:

- [1] Agner K, Erlang. The theory of probabilities and telephone conversations [J]. Nyt Tidsskrift for Matematik, 1909(20): 33-39.

(下转第 54 页)

5 结束语

基于 $0.18\mu\text{m}$ SiGe BiCMOS 工艺,采用预放大器、主从锁存器和输出缓冲器三级结构,在速度、精度、功耗等方面做了适当的折中,设计了一个 8 bit 8Gs/s 高速比较器. 仿真结果表明该比较器具有较好的性能,在工作电压 3.3V,输入信号为频率 1GHz、幅度 2mV 的正弦信号,时钟频率为 8GHz 时,锁存时间和过驱动回复时间分别为 37ps 和 22ps,输出摆幅 $\pm 300\text{mV}$.

参考文献:

- [1] 郭永恒,陆铁军,王宗民. 一种高速高精度比较器的设计[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(1): 50-53.
- [2] Behzad Razavi. Principles of data conversion system design [M]. New York: IEEE PRESS, 1995: 181-182.
- [3] Paul R Gray. Analysis and design of analog integrated circuits [M]. New York: Wiley, 2003: 421-422.
- [4] Peter J Lim, Bruce A Wooley. An 8 bit 200-Mhz BiCMOS Comparator[J]. IEEE JSSC, 1990, 25(1): 192-199.
- [5] 殷湛,郭立,杨吉庆. 一种用于流水线 ADC 的高速电压比较器[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23 (2): 182-184.
- [6] Xiangtao Li, John D Cressler. A 7 bit, 18GHz SiGe HBT comparator for medium resolution A/D conversion[J]. IEEE BCTM, 2005, 9(2): 144-147.
- [7] Gu Jun, Lian Yong, Design and analysis of a high speed comparator [C] // RFIT - IEEE. Washington 2005: 215-218.
- [8] Jensen J C, Larson L E. A 16-GHz ultra-high-speed Si-SiGe HBT comparator[J]. IEEE JSSC, 2003, 38 (9): 1584-1589.
- [9] Michael Chu, John F. McDonald. A 40Gs/s time interleaved ADC using SiGe BiCMOS technology [J]. IEEE JSSC, 2010, 45(2): 380-390.

作者简介:

陈天佐 男,(1986-),硕士研究生. 研究方向为高速集成电路设计.

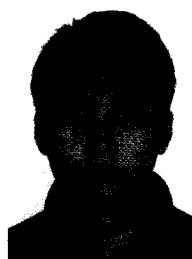
吴玉平 男,(1968-),研究员,硕士生导师. 研究方向为混合信号集成电路设计技术与方法学研究.

陈 岚 女,(1968-),研究员,博士生导师. 研究方向为超深亚微米芯片设计方法学及计算机体系结构.

(上接第 50 页)

- [2] Addie R G, Neame T D, Zukerman M. Performance analysis of a poisson-pareto queue over the full range of system parameters [J]. Computer Networks, 2009, 53 (7):1099-11134.
- [3] ZhaoXin. an Analysis of aggregation of streaming media traffic[C] MINES2009, [EI,ISTP 收录]
- [4] 赵昕. 有限尺度汇聚流带宽规划研究[J]. 电子与信息学报,2010,33(2):255-259.
- [5] Richard Ernest Bellman. Dynamic programming [M]. N Y: Dover Publications, 2003.
- [6] 谢金星,邢文训. 网络优化[M]. 北京:清华大学出版社, 2000.
- [7] Koonlachat Meesublak. Network design under demand uncertainty [C]// Proc. of the Asia-Pacific Advanced Network Meeting China: Beijing, 2008: 11-18.
- [8] 程光,龚俭. 互联网流测量[M],南京,东南大学出版社,2008

作者简介:



王苏南 男,(1984-),博士研究生. 研究方向为计算机网络体系结构、网络测量、流量检测.

赵 昕 男,(1981-),博士. 研究方向为计算机网络流量研究.

张校辉 男,(1979-),博士. 研究方向为计算机网络流量研究.

罗兴国 男,(1951-),教授,博士生导师. 研究方向为通信与信息系统.