

TWDM-PON 中用户行为感知的动态资源分配策略

熊 余,唐剑波,张 鸿,吕 翊

(重庆邮电大学光纤通信技术重点实验室,重庆 400065)

摘 要: TWDM-PON 是下一代光接入网的主流方案,具有带宽高、距离长、用户多等特点. 针对用户行为差异性增大的问题,为有效降低网络时延及提升资源分配的公平性,提出一种用户行为感知的动态资源分配策略. 根据用户行为带来的业务动态变化状况,动态调整 ONU 的轮询机制以满足用户服务水平变化要求,并划分子周期交替发送不同等级的业务,设计高效的数据块加载方法来实现负载均衡的多波长传输. 仿真结果表明,与传统策略相比,所提策略在保证资源利用率高达 95% 的同时,既使业务平均时延改善 50% 以上,也使资源分配具有更好的公平性.

关键词: TWDM-PON; 动态资源分配; 用户行为; 资源利用率; 业务时延; 公平性

中图分类号: TN929.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2016)02-0398-07

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2016.02.022

User-Behavior Aware Dynamic Resource Allocation Strategy in TWDM-PON

XIONG Yu, TANG Jian-bo, ZHANG Hong, LÜ Yi

(Key Laboratory of Optical Fiber Communication, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: As a mainstream solution for next generation optical access network, the TWDM-PON has the characteristics of high bandwidth, long distance, numerous access users etc. In order to effectively reduce the network delay and promote the fairness of resource allocation, an user-behavior aware dynamic resource allocation strategy is proposed for adapting to the increasing differences of user-behaviors in TWDM-PON. According to the dynamic traffic status brought by user-behaviors, the ONU polling mechanism is adjusted in real-time to satisfy the requirements of ONU service level. And the introduction of traffic sub-cycle can make the different grade service alternately send. Finally, for achieving multi-wavelength transmission of load balance, an efficient data block loading mechanism is designed. The simulation results show that the proposed strategy can reduce packet delay more than 50% and keep better fairness during resource allocation, while the utilization rate of network resource can reach 95%.

Key words: TWDM-PON; dynamic resource assignment; user-behaviors; bandwidth utilization; traffic delay; fairness

1 引言

TWDM-PON (Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network) 具有成本低、带宽大和组网灵活等优势,是下一代无源光网络最有竞争力的技术方案^[1]. 而资源分配策略是关系 TWDM-PON 传输性能的重要问题. 不同于传统基于时分复用的无源光网络, TWDM-PON 引入多波长,其资源分配由授权调度和

授权大小组成^[2,3],即由波长和时隙两个资源分配维度构成. 同时,多媒体应用的不断涌现及用户网络行为差异性增大带来业务动态化,向用户提供自适应高质量的网络服务成为 TWDM-PON 实际部署的巨大挑战.

针对 TWDM-PON 资源分配的二维性问题,文献[4]提出一种在线调度策略,光线路终端(Optical Line Terminal, OLT)按照先来先处理原则为 ONU (Optical Network Unit, ONU) 分配资源,该方法排队时延较低,但不能充分

收稿日期:2014-06-19;修回日期:2014-09-23;责任编辑:蓝红杰

基金项目:国家自然科学基金(No. 61401052);重庆市自然科学基金重点项目(No. CSTC2011BA2041);重庆市教委科学技术研究项目(No. KJ1400418);重庆市高校优秀人才支持计划(No. 2011-29)

挖掘多波长的信道优势. 文献[5]提出离线-在线混合调度策略, 当 OLT 收到 ONU 的报告帧时就为 ONU 分配带宽, 使轻负载 ONU 有可能比重负载 ONU 占更多机会发送数据, 导致带宽分配不合理. 文献[6]采用离线调度策略, 就重负载 ONU 提出三种动态资源分配机制, 能较公平地分配剩余时隙带宽, 但资源调度效率不高. 文献[7]将资源调度形式化为矩形 Packing 问题, 提出一种高效的离线调度策略, 但未考虑业务多样性. 文献[8~10]提出基于业务等级的资源分配策略, 减少了业务排队时延, 但波长间共享机会较少导致带宽浪费较大. 文献[11]提出多业务服务的资源分配策略, 采用不同控制机制以满足各业务的服务质量(Quality of Service, QoS)要求, 但其未研究用户行为且实现较为复杂.

由于 TWDM-PON 中用户网络行为差异化变大, 使业务呈波动性和多样化趋势; 同时, 其多级结构带来网络时延增加, 从而影响网络服务质量. 因此, 在对 TWDM-PON 进行资源分配时, 需综合考虑用户的网络行为, 从而实现资源分配的合理性及满足业务时延要求.

为此, 提出一种用户行为感知的动态资源分配策略 (User-Behavior Aware Dynamic Resource Allocation Strategy, UBA-DRAS) 分析用户在当前时刻的网络行为, 动态确定 ONU 的重要度, 改变轮询机制以自适应 ONU 服务重要性的变化; 并采用子周期交替发送不同类型业务, 以减少实时业务的网络时延; 最后通过所提的数据块加载方法进行多波长的数据传输.

2 问题描述

TWDM-PON 网络中, 用户在不同时段内网络行为的差异性导致带宽请求大小差别较大^[12,13], 即用户不同及用户所处时间段不同均会导致带宽请求发生变化. 如文献[14]指出, 商业区和住宅区用户的带宽需求在一天内差异较大. 可见, 基于历史流量信息感知用户在当前时刻的重要度, 并根据其重要度的动态变化提供不同优先级的资源分配策略, 具有重要的现实意义.

一般地, OLT 能感知到第 q 天 t 时刻 ONU _{i} 的历史流量信息 $u_{i,q}^t$. 由此, 可以计算出 P 天内 ONU _{i} 在 t 时刻的历史平均带宽需求值, 如式(1)所示.

$$u_i^t = \frac{\sum_{q=1}^P u_{i,q}^t}{P} \quad (1)$$

根据 ONU 的 u_i^t 值, 确定每个 ONU 的重要度, 自适应改变轮询机制来提供区分服务.

由于上述轮询机制会导致低服务等级 ONU 发送数据延后, 而该类 ONU 也存在时延敏感的实时业务. 为此, 需根据业务的 QoS 要求设计合理的轮询机制来调整不同业务的发送顺序. 可将轮询周期划分为实时和

非实时业务子周期, 使 ONU 实时业务总在周期的前段发送, 从而满足时延要求以保证其 QoS.

由于 TWDM-PON 具有多波长属性, 确定轮询机制及业务发送顺序后, 如何利用多波长传输是所提策略的重要问题. 据排队服务理论, OLT 相当于多服务窗口(多波长)资源池, 各 ONU 向其请求资源以进行数据传输. 对于离线调度机制, 调度服务的最优目标是最小化排队时延和最大化资源利用, 该问题已被证明是 NP-hard 问题. 为此文献[7]提出拟人策略的启发式算法, 将多波长带宽资源分配形象化为矩形 packing 问题来解决. 受其启发, 充分考虑用户行为及不同业务的时延要求, 将 ONU 发送的数据分为实时和非实时业务数据块, 排序后构造两个数据块发送的顺序表; 在对应的子周期中, 将数据块按顺序表依次进行多波长传输. 这既达到了减少波长转换以避免资源浪费的目的, 也使各波长的业务传输达到负载均衡.

3 UBA-DRAS 策略

UBA-DRAS 的基本思想为: 基于用户的历史流量信息, 感知用户在当前时刻的网络行为, 动态调整 ONU 权重因子以自适应改变轮询机制, 从而满足不断变化的用户服务水平; 通过划分子周期并基于权重因子分配剩余带宽, 确保实时业务的时延要求, 以满足用户对业务 QoS 的差异化需求及带宽分配的公平性; 利用数据块加载的策略进行多波长传输, 以达到负载均衡和提高波长利用率的目的.

为分析基于用户行为感知的资源分配策略, 定义变量如表 1:

表 1 变量定义表

符号	意义
N	网络中总的 ONU 数量
n	某一周期实际参与轮询过程的 ONU 数量
K	使用的波长数
d_k	最高服务等级 ONU 组的时延要求
T_g	ONU 之间的保护时隙
T_u	波长转换时间
R	波长传输速率
$report_i$	ONU _{i} 的带宽请求量
b	顺序表中的某一数据块
$b_1^{j,r}$	服务等级 j 待发送的最小实时业务数据块
$b_m^{j,r}$	服务等级 j 待发送的最大实时业务数据块
$b_1^{j,nr}$	服务等级 j 待发送的最小非实时业务数据块
$b_m^{j,nr}$	服务等级 j 待发送的最大非实时业务数据块
φ_b^λ	某一数据块 b 是否在波长 λ 上传输, 若是则其值为 1, 否则其值为 0
S_λ^b	在波长 λ 上发送数据块 b 的开始时间
F_λ^b	在波长 λ 上发送数据块 b 的结束时间
$\varphi_\lambda^{t,b}$	任意 t 时刻波长 λ 上是否传输数据块 b , 若是则其值为 1, 否则其值 0

3.1 高效自适应的轮询机制

根据每个 ONU 的 u_i^t 值确定 ONU 重要度,如定义 1 所示.

定义 1 权重因子 $w_{i,t}$,即根据历史平均流量信息确定第 i 个 ONU 在 t 时刻的重要度,以确定 ONU 的在 t 时刻的服务等级,如式(2)所示.

$$w_{i,t} = \frac{u_i^t}{\sum_{i=0}^{N-1} u_i^t} \quad (2)$$

该权重因子反映 ONU _{i} 在当前时刻 t 平均历史带宽的请求大小占当时总带宽请求值的比例.该值越大,表明该 ONU 此时带宽需求越大,则视为高服务等级 ONU (H-ONU);值越小,表明该 ONU 带宽需求越小,则视为低服务等级 ONU (L-ONU).

OLT 查询各 ONU 在当前时刻的 $w_{i,t}$ 值,将 ONU 划分为不同的服务等级.一般地,OLT 将 $w_{i,t}$ 从大到小排列后,可把 ONU 分为 K 个服务等级组,其中第 j 服务等级组的 ONU 数量 $m_j = \lceil N/K \rceil$.为更好地对 ONU 进行区分服务,可令第 j 级 ONU 组的时延要求为 jd_k ,得出一个周期内参与轮询的 ONU 数量,如式(3)所示.通过式(3)减少轮询 L-ONU 的数量,能有效消除保护时隙及信息交互时间,从而在满足时延要求的同时提高信道利用率.

$$n = m_1 + \lceil m_2/2 \rceil + \dots + \lceil m_j/j \rceil \dots + \lceil m_k/k \rceil \quad (3)$$

其中,第 j 级 ONU 组在本周期内轮询的 ONU 个数为 $\lceil m_j/j \rceil$ (其中 $\lceil \cdot \rceil$ 表示向上取整).

为进一步说明该轮询机制,下面举例说明,如图 1 所示.假设 PON 系统中 ONU 总数 $N=8$,为便于说明令波长数 $K=2$,即有两个 ONU 服务组,每组 ONU 的个数为 $m_1 = m_2 = N/2 = 4$.根据式(3),一个周期内 OLT 轮询的 ONU 个数 $n = m_1 + m_2/2 = 6$,即 4 个 H-ONU 均被轮询,而 L-ONU 只轮询 2 个.下一周期,OLT 继续轮询全部的 4 个 H-ONU,并且轮询另外 2 个 L-ONU.如此交替轮询,通过减少 L-ONU 的轮询次数使 H-ONU 获得更多带宽进行数据发送.

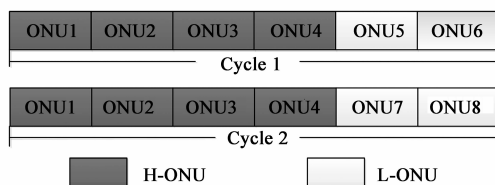


图1 ONU按服务优先级轮询图

轮询机制在 $t+1$ 时刻更新 ONU 的权重后,按照上述过程自适应动态改变轮询策略.

3.2 基于业务等级的子周期划分机制

采用 3.1 节中所提的轮询机制,通过感知用户在当前时刻 t 的网络行为来划分不同的服务等级 ONU 组,但该机制减少了周期内轮询 L-ONU 的数量,出现 L-ONU

“惩罚”现象.而 L-ONU 中同样存在对时延敏感的实时业务,应保证其业务的 QoS 要求.因此,为使第 K 个轮询周期结束时,服务等级最低的 ONU 组中实时业务能得到发送,轮询周期设定较传统定义方式有所区别.

定义 2 轮询周期大小 T_{cycle} ,即保证第 K 个周期结束时服务等级最低的 ONU 实时业务能得到发送的最小周期,如式(4)所示.

$$T_{cycle} = \frac{d_k}{K} \quad (4)$$

同时,为尽可能地让每一等级 ONU 组的实时业务较非实时业务总先得到发送,本节提出将轮询周期划分业务子周期的策略.OLT 在当前时刻 t 接收到各 ONU 带宽请求包括实时带宽请求 $B_{i,t}^{req,rt}$ 及非实时带宽请求 $B_{i,t}^{req,nrt}$,如下式所示:

$$B_{i,t}^{req} = B_{i,t}^{req,rt} + B_{i,t}^{req,nrt} \quad (5)$$

定义 3 业务子周期大小 T_{rt} 及 T_{nrt} ,即用于发送实时和非实时业务的时间,如式(6)和(7)所示,以对两种业务进行区分服务.

$$T_{rt} = \frac{B_{i,t}^{req,rt}}{\sum_i B_{i,t}^{req}} \times T_{cycle} \quad (6)$$

$$T_{nrt} = T_{cycle} - T_{rt} \quad (7)$$

OLT 根据实时业务发送子周期 T_{rt} ,计算出本周内可以分配给 ONU 用以发送实时业务的最小保证带宽 G :

$$G = (T_{rt} - n \times T_g - K \times T_u) \times K \times R \times w_{i,t} \quad (8)$$

如果单个 ONU 实时业务的带宽申请量不大于 G ,则由式(9)统计出所有轻负载 ONU 的剩余带宽量 $B_{rt,l}$,否则由式(10)统计出所有重负载 ONU 的额外带宽需求量 $B_{rt,k}$:

$$B_{rt,l} = \sum_{i=0}^l (G - report_i) \quad (9)$$

$$B_{rt,k} = \sum_{i=0}^k (report_i - G) \quad (10)$$

为每个轻负载 ONU 按需分配带宽,利用式(11)为重负载 ONU 分配剩余带宽 e_i :

$$e_i = R_{rt,l} * w_{i,t} \quad (11)$$

则为重负载 ONU 分配带宽为:

$$Gate_i = G + e_i \quad (12)$$

至此,实时业务数据发送周期的带宽分配结束.

同理,根据非实时业务子周期 T_{nrt} 计算出 OLT 可以分配给 ONU 发送非实时业务的最小保证带宽 G' ,如下式所示:

$$G' = (T_{nrt} - n \times T_g - K \times T_u) \times K \times R \times w_{i,t} \quad (13)$$

重复实时业务带宽分配过程,得到各 ONU 用于发送非实时业务所需的带宽.

为避免 OLT 发送 GATE 帧时间过长而造成带宽浪费,采用部分授权的方式对 ONU 进行授权,如图 2 所

示. OLT 能感知到某一服务等级 ONU 组发送数据结束时间, 利用该信息对下一服务等级 ONU 组提前授权. 经保护时隙 T_g , OLT 接收到下一服务等级 ONU 组的上行数据. 照此方式, 实时业务子周期结束后, 进入非实时业务子周期, 如此交替部分授权直到本轮询周期结束.

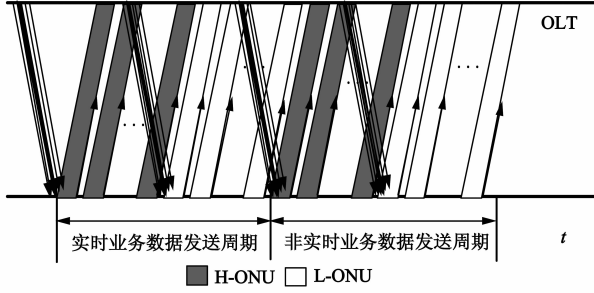


图2 ONU业务子周期发送图

3.3 带有负载均衡的波长分配机制

前面感知用户行为确立了 ONU 的轮询机制, 并设定子周期使时隙资源得到有效分配. 因 TWDM-PON 的多波长特性, 如何利用多波长进行数据发送及减少带宽浪费是所提策略的重要问题. 因此, 这里提出一种高效的数据块加载多波长传输机制.

OLT 对各等级 ONU 实时和非实时业务的带宽大小进行升序排序, 即可确定 ONU 的轮询顺序. 因此, 为每个服务等级的 ONU 构造数据发送的顺序表, 如下所示:

$$\text{Data}_{j,rt} = \{b_1^{j,rt}, b_2^{j,rt}, b_3^{j,rt}, \dots, b_m^{j,rt}\} \quad (14)$$

$$\text{Data}_{j,nr} = \{b_1^{j,nr}, b_2^{j,nr}, b_3^{j,nr}, \dots, b_m^{j,nr}\} \quad (15)$$

ONU 的数据包括实时和非实时业务子数据块, 其中数据块长表示时隙大小, 宽表示波长信道速率, 则其面积表示待发送的数据量大小. 将这些子数据块加载到 K 条波长上进行传输, 其调度应遵循的约束条件如下:

$$K < N \quad (16)$$

$$\sum_K \phi_\lambda^b = 1 \quad (17)$$

$$S_\lambda^b - F_\lambda^b = T_g \quad (18)$$

$$\sum_{2m} \varphi_\lambda^{t,b} = 1 \quad (19)$$

其中, 式(16)表示波长数小于总的 ONU 数量. 式(17)表示同一数据块不能同时在两条及以上的波长上传输. 式(18)表示任意波长传输两个数据块的时间间隔相等. 式(19)表示同一时间内每条波长只能传输一个数据块.

为此, 所提数据块加载机制的步骤如下:

步骤 1 在实时业务子周期, 将服务等级 j 最高的 ONU 组中前 K (K 为波长数) 个实时业务子数据块依次加载到 K 条波长信道上传输. 如图 3 所示, 设 $K=4$, 按照实时业务数据块发送表将 $b_1^{j,rt}$ 、 $b_2^{j,rt}$ 、 $b_3^{j,rt}$ 及 $b_4^{j,rt}$ 同时加载到 4 条波长上. 由于数据块大小不一, 各波长信道最早出现空闲的时间不等.

步骤 2 对于最早可用波长 λ , 以降序的方式加载同一服务等级 ONU 组内的数据块, 如图 3 中的 $b_m^{j,rt}$ 即数据表中最大的数据块, 此后依次将 $b_{m-1}^{j,rt}$ 、 $b_{m-2}^{j,rt}$ 和 $b_{m-3}^{j,rt}$ 数据块加载到最早可用波长上. 采用步骤 1 及步骤 2 先升序后降序交替加载数据块, 依次发送各等级 ONU 组的实时业务子数据块. 如此循环往复, 直到所有服务等级 ONU 组的实时业务子数据块发送完毕, 则转至步骤 3.

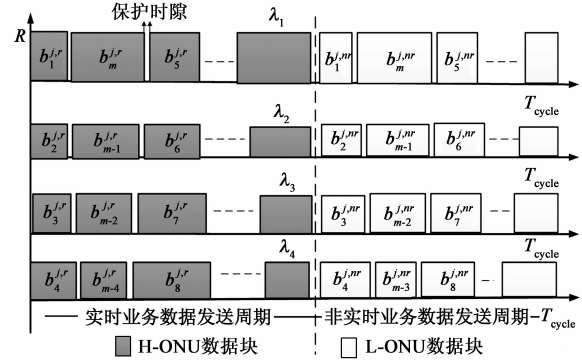


图3 ONU数据块加载图

步骤 3 接着进入非实时业务子周期, 对于最早可用波长 λ , 将服务等级最高 ONU 组中的非实时业务数据块 $b_1^{j,nr}$ (如顺序表中第一个非实时业务数据块) 加载到该波长上进行传输. 同样地, 将非实时业务数据块 $b_2^{j,nr}$ 、 $b_3^{j,nr}$ 和 $b_4^{j,nr}$ 依次加载到此后的最早可用波长上进行传输. 按照实时业务子周期的发送方式, 使各等级 ONU 组的非实时业务子数据块在多波长上进行传输, 直到非实时业务子数据块发送完毕.

采用上述两头加载数据块的方式, OLT 能追踪到各波长发送数据块的顺序及时间, 从而避免波长的频繁转换以减少带宽浪费.

同时, 权重因子 $w_{i,t}$ 未更新前的轮询周期内, 相同等级的 ONU 组由于用户行为差异较小, 其带宽请求大小相当, 使各波长发送该等级 ONU 数据的结束时间相差不大. 采取该高效的数据块加载方式, 也能使各波长信道上的负载达到均衡.

利用用户行为的统计规律特点, 充分考虑了 ONU 的历史流量信息, 使得整个策略具有较小的时间复杂度 $O(N^2)$.

4 仿真分析

4.1 仿真评价指标

定义 4 上行带宽利用率, 即单位时间内用来传送有效数据的带宽占总带宽的百分比.

定义 5 上行网络吞吐量, 即假设系统内不存在丢包的情况, 网络吞吐量为给定网络环境下单位时间内从网络所有 ONU 发出的数据总量.

定义 6 上行平均包时延, 即给定网络环境下, 数据

业务从到达 ONU 起至抵达 OLT 时经历的端到端时延。

定义 7 公平性,即轻负载 ONU 的剩余带宽在各重负载 ONU 之间公平分配的性能指标.采用文献[15]对剩余带宽公平分配的定义方式,即剩余带宽与权重因子的一个函数关系式,如式(20)所示:

$$f = \frac{\left(\sum \frac{e_i}{w_{i,t}}\right)^2}{n \sum \left(\frac{e_i}{w_{i,t}}\right)^2} \quad (20)$$

4.2 仿真环境设定

本文所提策略 UBA-DRAS 的对比策略为文献[6]的 DWDB 和文献[10]的 DWPBA-TCH. DWDB 只考虑将剩余带宽怎样合理的分配给重负载 ONU 而未考虑业务 QoS,采用三种策略对剩余带宽进行分配即 DWDB-UE(无控制)、DWDB-CE(控制)和 DWDB-FE(公平). DWPBA-TCH 基于业务进行波长分配,未考虑用户行为及采用业务子周期的思想.采用图 4 所示网络拓扑,OLT 通过 RN(远端节点)与 4 个 TDM 子网相连,且各子网具有两种类型的 ONU(即 H-ONU 和 L-ONU),ONU 数量 $N=64$,其中 H-ONU 与 L-ONU 的数量比为 1:1;波长数 $K=(2,4,6,8)$,且每条波长的速率为 1Gbit/s;ONU 到 OLT 的物理距离均为 20km;用户数据源服从泊松分布,单个数据包的大小服从 64 字节到 1518 字节的均匀分布;轮询最大周期为 2 毫秒,ONU 保护时隙为 1 微秒^[6],动态带宽分配运行时长为 10 微秒.

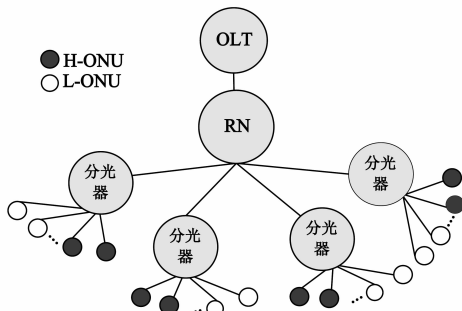


图4 仿真所用网络拓扑图

4.3 仿真结果分析

图 5 为不同波长数下,UBA-DRAS 进行资源分配时负载对上行带宽利用率的影响.可见,随着负载增大,上行带宽利用率呈上升趋势,特别是 $K=4,6,8$ 时呈线性上升,因为各波长承载的业务量增大而处于空闲的时间逐渐减少,则上行带宽利用率不断提高.但 $K=2$ 时在负载为 0.6 时上行带宽利用率渐趋于平缓,说明已达到系统带宽容量的饱和值.从图 5 中还可看出,波长数越多,相同负载下的上行带宽利用率越低,这是由于波长数较多时系统总带宽更大,导致各波长处于空闲状态的时间变长.可预见,波长数越多的系统承载业务能

力越大,但并不意味波长数越多越好,波长数的选取应基于业务状况以获得较高的上行带宽利用率为宜,从而避免资源开销浪费.

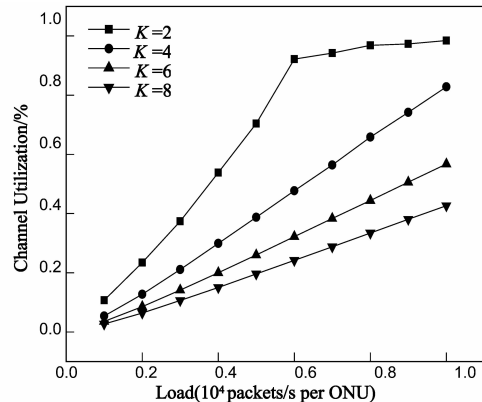


图5 不同波长数的上行带宽利用率

图 6 表示不同波长数下,采用 UBA-DRAS 进行资源分配时负载对上行网络吞吐量的影响.显然,上行网络吞吐量随负载的增大而增大.负载较小时,不同波长数的上行网络吞吐量相差不大;但随着负载的增加,由于较小的波长数更先满载达到最大上行网络吞吐量,不同波长数的网络承载能力就显示出较大差别.如负载为 0.8, $K=2$ 时吞吐量趋于稳定达到最大,其值甚至可能超过更多波长数的情况,但负载的进一步增大后,其上行网络吞吐量比多波长数的网络明显更小.

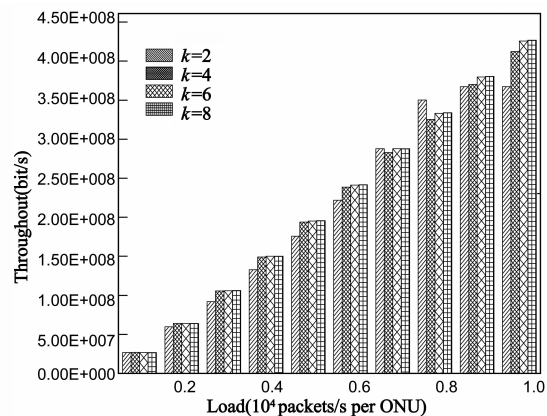


图6 不同波长数的上行网络吞吐量

图 7 比较了三种策略在 $K=2$ 时上行带宽利用率情况.可见,随着负载的增大,三种策略的上行带宽利用率逐步增大,最后趋于稳定值.UBA-DRAS 较 DWPBA-TCH 策略,上行带宽利用率的改善效果能够达到 20%,主要是因为 DWPBA-TCH 策略为每种业务分配一条波长进行传输,减少了波长共享的机会导致上行带宽利用率不高.UBA-DRAS 低负载时与 DWDB-CE 的上行带宽利用率相当,高负载时约差 2%.这主要是因为 UBA-DRAS 划分了业务子周期,导致保护时隙增加浪费了部分带宽,但 UBA-DRAS 采用部分授权减少了闲置时间,

同时数据块加载的多波长传输减少了波长转换时间,使上行带宽利用率最终达到在一个理想的效果。

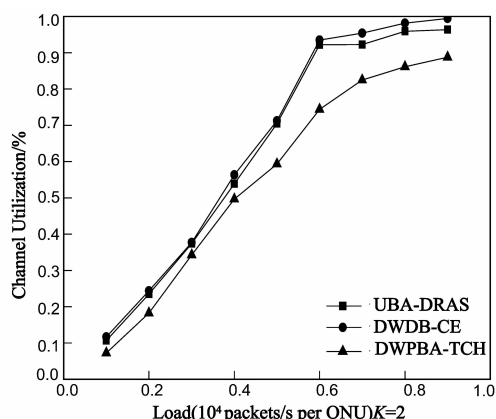


图7 不同策略的上行带宽利用率

图8 当 $K=2$ 时,对实时和非实时业务的上行平均包时延在三种策略中进行比较.由图8(a)图可见,实时业务的上行平均包时延随着负载增大均呈上升趋势,但负载增加到一定值时系统处于饱和状态,时延都会急剧增加.UBA-DRAS 在系统饱和之前,H-ONU 实时业务的平均时延较 L-ONU 更小且均小于 2ms,表明 UBA-DRAS 策略能保证实时业务的时延要求并对 ONU 进行区分服务.与 DWDB-CE 策略相比,UBA-DRAS 策略的

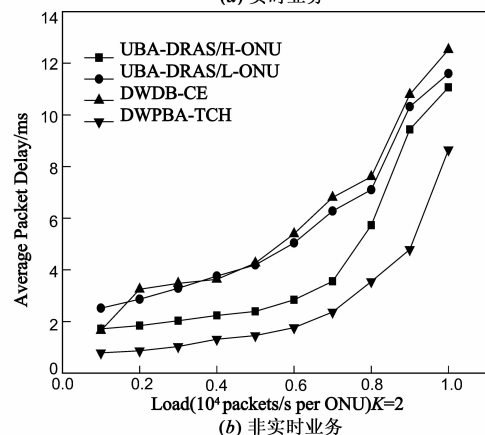
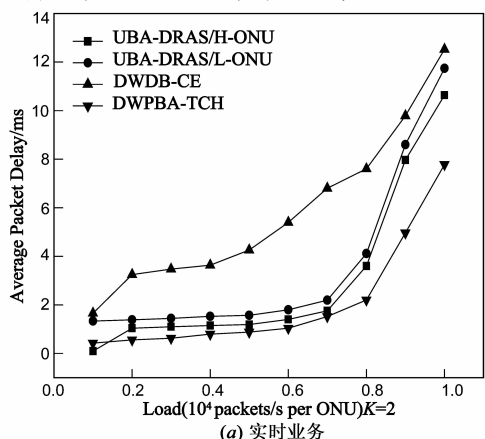


图8 不同策略的上行平均包时延对比

实时业务上行平均包时延性能提升了 68%,这是因为 DWDB-CE 并未对业务进行分级考虑且未划分子周期.然而,在一般负载情况下 UBA-DRAS 实时业务的上行平均包时延性能与 DWPBA-TCH 的差不多,但在网络过高负载 ($load > 0.8$) 时,其时延性能较 DWPBA-TCH 急剧恶化,这是因为 DWPBA-TCH 策略基于业务进行波长分配能使实时业务能尽快得到发送.

从图8(b)可见,UBA-DRAS 中 H-ONU 非实时业务的上行平均包时延较 L-ONU 更小,满足了 H-ONU 服务水平要求.UBA-DRAS 中 L-ONU 的非实时业务上行平均包时延与 DWDB-CE 相差不大,而 H-ONU 非实时业务的上行平均时延性能比 DWDB-CE 改善率达 50%.由于非实时业务对时延不敏感,L-ONU 具有更低的服务等级,故满足 H-ONU 时延性能的策略是值得的.

结合图7和图8,UBA-DRAS 与 DWDB-CE 相比,上行带宽利用率大致相当,但 UBA-DRAS 对时延效果改善显著,甚至提升了 68% 的时延性能;与 DWPBA-TCH 相比,UBA-DRAS 策略实时业务的上行平均包时延在中低负载下差不多,但其带宽开销可以节约 20%,而在高负载下恶化了 10% 左右,但此时带宽利用也提升了 7%~11%.可见,所提策略在保证较高资源利用率的同时,有效地降低了网络时延,满足了业务的 QoS 要求,并对不同 ONU 用户进行了区分服务.

图9 根据式(20)对公平性的定义,将文献[5]中剩余带宽分配策略与 UBA-DRAS 策略进行比较.负载较小时,几种策略的公平性值均在 0.8 以上,这是由于所有 ONU 的带宽需求均能得到满足.随负载增加,UE 以均分的方式分配剩余带宽给各重负载 ONU,其公平性下降最快最终在 0.1 上下,因为会出现大量 ONU 带宽得不到满足的情况;CE 据 ONU 实时带宽请求为其分配剩余带宽,会导致有些重负载 ONU 根本分不到剩余带宽,其公平性稍好最终也只在 0.6 左右;FE 按请求比例为重负载 ONU 分配剩余带宽,虽使所有 ONU 均分到了剩余带宽,但会出现所有重负载 ONU 的带宽均未得到

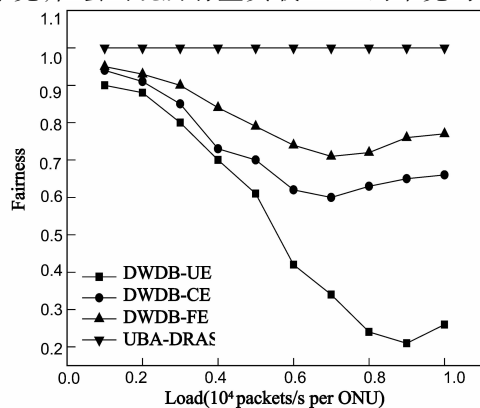


图9 不同策略的公平性对比

满足的情况,其公平性进一步提升最后为 0.75 左右;UBA-DRAS 策略基于服务权重因子为各重负载 ONU 分配剩余带宽,而不受带宽请求的影响,其公平性不随负载变化,一直保持在公平性较高的状态接近为 1.

5 总结

本文针对 TWDM-PON 网络提出了一种用户行为感知的动态资源带宽分配策略,根据用户的历史流量信息确定 ONU 当前时刻的重要度,通过调整各等级 ONU 的轮询机制以适应 ONU 对带宽差异化需求;为减轻低服务等级 ONU“惩罚”现象及满足业务的 QoS 要求,采用子周期的思想;将不同业务数据形象化为子数据块,将数据块排序后进行多波长传输.相比未考虑用户行为的资源分配策略,所提策略兼顾考虑了用户行为及业务的 QoS 要求.仿真表明,UBA-DRAS 策略具有较高带宽利用率,且有效地降低了业务时延,特别使实时业务的时延得到大幅降低,为用户提供了实时差异化服务,也保证了资源分配的公平性.

参考文献

- [1] Luo Y, Zhou X, Effenberger F, et al. Time-and wavelength-division multiplexed passive optical network (TWDM-PON) for next-generation PON stage 2 (NG-PON2) [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2013, 31(4): 587 – 593.
- [2] 杨壮,何岩,张傲.基于千兆以太网的无源光网络系统及其实现技术[J]. *电子学报*, 2005, 32(F12): 78 – 81.
Yang Zhuang, He Yang, Zhang Ao. Research and implementation of gigabit ethernet passive optical network system [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2005, 32(F12): 78 – 81. (in Chinese)
- [3] Kim K S, Gutierrez D, An F T, et al. Design and performance analysis of scheduling algorithms for WDM-PON under SUCCESS-HPON architecture [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2005, 23(11): 3716.
- [4] Das G, Lannoo B, Jung H D, et al. A new architecture and MAC protocol for fully flexible hybrid WDM/TDM PON [A]. 35th European Conference on Optical Communication (ECOC) [C]. Vienna: IEEE, 2009. 1 – 2.
- [5] McGarry M P, Reisslein M, Colbourn C J, et al. Just-in-time scheduling for multichannel EPONs [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2008, 26(10): 1204 – 1216.
- [6] Dhaini A R, Assi C M, et al. Dynamic wavelength and bandwidth allocation in hybrid TDM/WDM EPON networks [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2007, 25(1): 277 – 286.
- [7] 汪学舜,余少华,戴锦友.新颖的 WDM-EPON 动态带宽调度算法[J]. *通信学报*, 2012, 33(2): 69 – 75.
Wang Xueshun, Yu Shaohua, Dai Jinyou. Novel algorithm for dynamic bandwidth scheduling in WDM EPON [J]. *Journal on Communications*, 2012, 33(2): 69 – 75. (in Chinese)
- [8] Radivojevic M, Matavulj P. Novel wavelength and bandwidth allocation algorithms for WDM EPON with QoS support [J]. *Photonic Network Communications*, 2010, 20(2): 173 – 182.
- [9] Radivojevic M, Matavulj P. Advanced scheduling algorithm for quality of service support in WDM EPON [A]. 37th European Conference on Optical Communication (ECOC) [C]. Geneva: IEEE, 2011. 1 – 3.
- [10] Radivojevic M, Matavulj P. Highly flexible and efficient model for QoS provisioning in WDM EPON [J]. *Optical Communications and Networking, IEEE/OSA Journal of*, 2013, 5(8): 921 – 931.
- [11] Qin Y, Xue D, Zhao L, et al. A novel approach for supporting deterministic quality-of-service in WDM EPON networks [J]. *Optical Switching and Networking*, 2013, 10(4): 378 – 392.
- [12] Shi L, Lee S S, Song H, et al. Energy-efficient long-reach passive optical network: A network planning approach based on user behaviors [J]. *Systems Journal, IEEE*, 2010, 4(4): 449 – 457.
- [13] Yang H, Sun W, Li J, et al. User migration in time and wavelength division multiplexed PON (TWDM-PON) [A]. *Transparent Optical Networks (ICTON)*, 15th International Conference on [C]. Cartagena: IEEE, 2013. 1 – 4.
- [14] Glatty R, Guignard P, Chanclou P. Fair resource distribution within the flexible WDM/TDMA optical access network based on GPON infrastructure [J]. *Optical Communications and Networking, IEEE/OSA Journal of*, 2009, 1(2): 17 – 24.
- [15] Ni C, Gan C, Chen H, et al. Novel bandwidth allocation with quota-based excess-distribution algorithm and wavelength assignment in multi-wavelength access network [J]. *Optical Switching and Networking*, 2014, 13: 103 – 111.

作者简介



熊余 男, 1982 年生于四川资中. 重庆邮电大学副研究员. 研究方向为下一代无源光网络的服务质量控制和绿色节能技术、全光网络的故障管理技术.
E-mail: xiongyu@cqupt.edu.cn



唐剑波 男, 1990 年生于四川威远. 硕士研究生, 研究方向为基于混合接入的无源光网络动态资源分配机制研究.