

WDM-PON 的动态波长分配算法

张春蕾, 陈海灵, 闫彩化

(兰州交通大学 电子与信息工程学院, 兰州 730070)

摘要:介绍了基于动态波长分配的 WDM-PON 的运行原理, 结合已有算法的优缺点, 提出了一种新的区分业务等级的动态带宽分配算法。新算法对不同的业务区分等级, 并把波长资源优先分配给高优先级, 在保证服务质量的前提下提高了上行带宽的利用率。

关键词:光纤通信; 波分复用无源光网络; 动态波长分配; 区分业务等级; 带宽利用率

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2013)01-005-04

Dynamic wavelength assignment algorithm in WDM-PON

ZHANG Chun-lei, CHEN Hai-ling, YAN Cai-hua

(School of electronic and Information, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The article describes the operating principle of WDM-PON based on dynamic wavelength assignment, combined with the advantages and disadvantages of existing algorithms, a novel dynamic wavelength allocation is proposed, which supports differentiating service levels. The novel allocation on a different level of service differentiation, and the wavelength resources priority assigned to high-priority, which not only ensures the quality of service but also improves the efficiency of up-link bandwidth.

Key words: optical fiber communication; WDM-PON; dynamic wavelength assignment; differentiating service levels; the efficiency of bandwidth

0 引言

随着现代通信网的迅速发展, 对宽带接入技术提出了更高的要求, 但是现存的接入网络并不能满足将来人们对高速率、超带宽的需求。在这种情况下, 人们想到在一根光纤中传输多路光波从而克服带宽受限问题, 也就是将 WDM 技术应用到接入网中, 即 WDM-PON。WDM-PON 以其无与伦比的优势被认为是下一带宽接入网的发展方向和 FTTx(光纤到 x)的最终选择^[1]。

WDM-PON 的理想方案是为每个 ONU 配置一对固定的波长, 在 CO 端使用多波长激光器发射多波长光源用于下行的传输, 在每个 ONU 端配置不同的单波长的激光器用于上行的传输^[2]。但是, 这种方案的缺点是代价太高, 不适合大量部署, 而且上行传输所需的带宽从 1Mb/s 到 100Mb/s 不等, 因此我们提出了在保证传输质量的情况下, 上行传输采用波长共享方

案, 各个上行波长要在不同的 ONU 中动态分配。采用怎样的动态波长分配算法, 在保证传输质量的同时, 最大程度地提高带宽利用率成为了 WDM-PON 研究的热点问题^[3]。

1 基于动态波长分配的 WDM-PON 运行原理

基于动态波长分配的 WDM-PON 结构由局端光链路单元(OLT)、传输光纤、远端节点(RN)和用户侧的光网络单元(ONU)^[4], 在下行方向上采用固定波长分配方式, 在上行方向上采用波长共享方式, 如图 1 所示。在下行传输时, OLT 发射多波长光源, 将数据加载到载波上, 多个载波复用到一根光纤中传输, 信号通过 RN 处的解复用器进行分路, 最后每个 ONU 得到一个不同波长的光信号并由光接收机完成接收; 在上行传输时, ONU 调谐到 OLT 为其分配的波长, 并在规定的时隙上进行上行数据的传输。图 1 中, 16 个 ONU 的上行共享 4 个波长, 可调发射机可以调谐到 4 个波长中的任意 1 个, 各路信号在 RN 处功率耦合后传输到 OLT 由接收阵列接收, 从而完成上行信号的传输^[5]。

收稿日期: 2012-09-11。

基金项目: 甘肃省自然科学基金(1010RJZA071)资助。

作者简介: 张春蕾(1976-), 女, 副教授, 主要研究方向为光接入网技术。

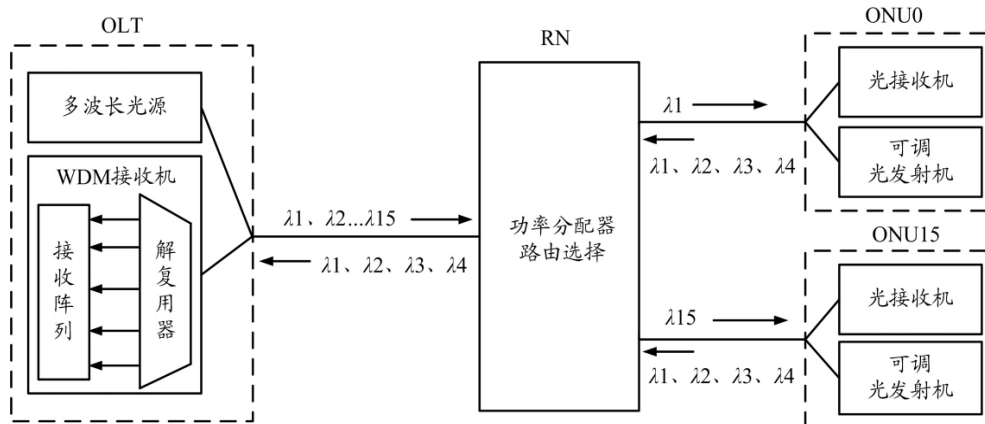


图1 动态波长分配的 WDM-PON 系统结构

2 WDM-PON 中动态波长分配算法

动态波长分配是由 OLT 和 ONU 之间通过 MPCP 协议来实现的,涉及到两种控制帧—REPORT 帧和 GATE 帧,其中 REPORT 帧是各个 ONU 向 OLT 上报待传输数据的情况,而 GATE 帧负责向 ONU 传送为其分配的带宽和时隙,并通过下行信道将分配的信息传送到各个 ONU。目前现存的两种上行波长分配有在线分配和离线分配。在在线分配方法中,当 OLT 收到某个 ONU 的报告信息后,不管请求带宽有多大,都按需求分配所需的带宽,并立即为其分配上行信道中最先可用的波长,ONU 收到为其分配的波长和时隙后,就立即调谐到相应的波长上,并在规定的时隙内发送数据。这种算法在一定程度上能减小某些节点数据的传输等待时间,但是没有考虑到全部的 ONU 对带宽的要求,同时,也没有考虑到在实际的网络中存在业务等级差异的情况,如高优先级的时延要求远远大于低优先级。考虑到实际网络中业务等级的差异性,目前主要集中在离线分配方案上,我们提出了一种新的离线分配算法。

2.1 离线分配的帧结构

图2是上行速率为 2.488Mb/s 时的帧结构,每帧

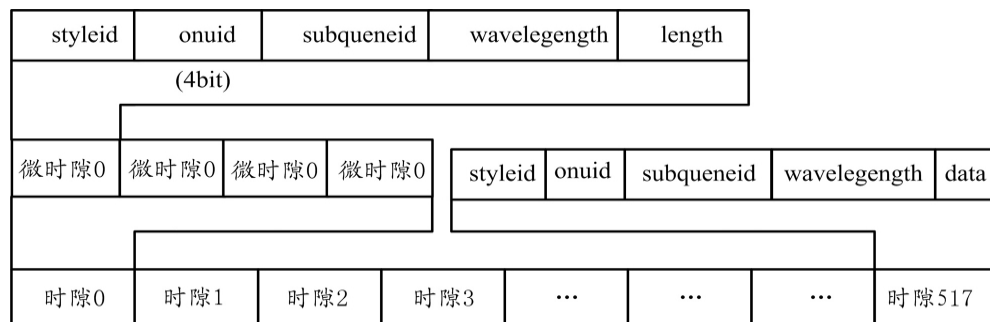


图2 上行帧结构

为 518 个时隙 ($125 \times 10^{-6} \times 2.488 \times 10^9 \div 600$, 每帧为 $125 \mu s$, 每个时隙为 600bit)。时隙 0 又被分为 20 个微时隙,每一个微时隙用于一个 REPORT 信息的传输。图2中给出了 REPORT 信息的格式,styleid 用来指明本数据包类型,上行为 0 下行为 1;onuid 用来指明这个数据包是产生于哪个 ONU;subqueneid 用于记录本数据包

是哪一个优先级队列;wavelength 是指明本数据包用哪个上行波长传送;length 是指明 ONU 中某等级数据在下个时隙传输的需求带宽^[6]。下行与上行有一样的帧结构,所不同的是它的前面一个时隙用于 OLT 下发的 GATE 帧的传输。图3为 GATE 帧结构,onuid 用来指明目的 ONU,wavelength 是指明本数据包是用哪个下行波长传输,timeslot 用来指明在上个周期的 REPORT 帧中上报的目的 ONU 的数据发送的时隙,其它的区域指明信息与 REPORT 帧指明信息是一样的。

styleid	onuid	subqueneid	wavelegenth	timeslot
(1bit)	(4bit)	(1bit)	(4bit)	(16bit)

图3 下行 GATE 帧的结构

2.2 离线分配算法原理

考虑到实际网络中业务等级差异的情况,将 ONU 的数据分为“高优先级”、“尽力而为”两个不同等级,其中高优先级(如视频会议)对数据的时延要求较高,并在 ONU 内分配两个缓存队列用于存放不同优先级的上行业务。OLT 内有一张 ONU 的状态表和为每一个 ONU 分配的一个缓存队列,OLT 每收到一个上行帧,将读取它的 REPORT 域信息,并将 ONU 编号、下一次要发送的数据长度和优先级队列等 REPORT 域的信息记录到 ONU 的状态表中;OLT 每收到一个下行帧,将数据包存放在 ONU 相应的缓存队列中,等待数据的发送。

首先,将源模块产生的数据按照优先级的不同存入到相应 ONU 的缓存队列中,由 ONU 在相应波长的第

一个时隙中将下一个周期内各个队列的请求带宽上报个 OLT。其次,设置一个固定的轮询周期(125μs),在一个周期内每个 ONU 都发送且仅发送一个 REPORT 帧,从而避免了当轮询周期小时 REPORT 帧占用过多的上行带宽造成上行带宽利用率低的问题,REPORT 帧报告 ONU 下一个周期要发送的数据大小。当轮询周期结束后,OLT 会收到所有 ONU 的队列请求信息,OLT 再通过波长分配算法为每个 ONU 的不同缓存队列进行波长和时隙的分配。

波长分配算法如下:当 OLT 节点收到所有队列的 REPORT 信息后,先进行带宽的分配。带宽分配如式(1)和式(2)所示:

$$G_{Hi} = \begin{cases} R_{Hi}, \sum_{i=1}^N R_{Hi} \leq B_{remain} \\ \left(R_{Hi} / \sum_{i=1}^N R_{Hi} \right) \times B_{remain}, \sum_{i=1}^N R_{Hi} > B_{remain} \end{cases} \quad (1)$$

$$G_{Mi} = \begin{cases} R_{Mi}, \sum_{i=1}^N R_{Mi} \leq B_{remain} - G_{Hi} \\ \left(R_{Mi} / \sum_{i=1}^N R_{Mi} \right) \times B_{remain}, \sum_{i=1}^N R_{Mi} > B_{remain} - G_{Hi} \end{cases} \quad (2)$$

式(1)为“高优先级”的带宽分配,式(2)为“尽力而为”优先级的带宽分配。其中 N 为网络中 ONU 的个数, R_{Hi} 为 ONU 编号为 i 的“高优先级”队列的 REPORT 请求带宽, G_{Hi} 为编号为 i 的 ONU“高优先级”的最终授予带宽; R_{Mi} 为 ONU 编号为 i 的“尽力而为”队列的 REPORT 请求带宽, G_{Mi} 为编号为 i 的 ONU“尽力而为”的最终授予带宽。 B_{remain} 表示剩余带宽长度,指波长个数与每周期内可用带宽的乘积,可用带宽指的是一个周期的总带宽去掉 ONU 发送 REPORT 信息所占用的带宽和保护时间占用的带宽。当请求带宽小于可用带宽时,就按需分配带宽;当所有优先级请求带宽大于可用带宽时,要先保证“高优先级”带宽需求,再为“尽力而为”优先级分配带宽,如果“尽力而为”优先级在当前周期得不到带宽,就为其在下一个周期内分配带宽。

分配完带宽再进行波长和时隙的动态分配。假定上行速率为 2.488Gb/s,每帧的长度为 125μs,16 个 ONU 节点共享 4 个上行波长(λ_1 、 λ_2 、 λ_3 和 λ_4),且每个节点中有两个优先级缓存队列,每个周期内需要报告 16×2=32 个 REPORT 信息,这样在同一周期内每个上行信道需要传输 32÷4=8 个 REPORT 信息,即 4 个 ONU 节点的队列请求包占用每帧的第一个时隙。假定

一个简单情况,ONU0 的“高优先级”和“尽力而为”两个优先级请求带宽分别为 6000bit、8000bit,ONU1 的请求带宽分别为 8000bit、8000bit,ONU2 的请求带宽分别为 7000bit、8000bit,ONU3 的请求带宽为 6000bit、6000bit。上一个轮询周期 16 个 ONU 所有等级的请求带宽之和小于可用带宽,按照需求为每个 ONU 分配 REPORT 信息中的请求带宽,分配好每一个 ONU 每一个优先级的队列的带宽后,为了保证上行带宽的利用率,再进行波长和时隙的分配,依次将上行数据分配到最早可用的波长和时隙上,最早可用波长的最早是指可用时隙上比其他波长要早。由于每一时隙的大小是 600bit,所以 ONU0“高优先级”的 6000bit 的请求带宽需要 10 个时隙传输,“尽力而为”优先级的 8000bit 的请求带宽需要 14 个时隙传输。

波长和时隙的分配方式如下。ONU0 下一个周期内请求带宽用第一个波长(λ_1)的时隙 0 的微时隙 0 和微时隙 1 传输,“高优先级”数据用第一个波长(λ_1)的第 1~10 个时隙传输。由于可调发射机在不同波长之间进行调谐转换时调谐期间无法进行数据的发送,为了避免调谐时间对网络性能的影响^[7],所以,在同一周期内每个 ONU 的两个缓存队列内的数据都安排在同一传输信道中传输,则“尽力而为”优先级仍用第一个波长的(λ_1)的第 11~24 个时隙传输。ONU1 下一个周期内请求带宽用第一个波长(λ_1)的时隙 0 的微时隙 2 和微时隙 3 传输,“高优先级”用第一个波长(λ_2)的第 1~14 个时隙传输,“尽力而为”优先级仍用第二个波长的(λ_2)的第 15~28 个时隙传输,同样的分配方式将 ONU2 和 ONU3 分别在 λ_3 、 λ_4 上传输。ONU4 要进行上行数据的传输时,就选择最早可用的波长和时隙来发送,在 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 这四个波长中,波长 λ_4 是最早可用的。因此,ONU4 上行数据的传输用波长 λ_4 ,从第 21 个时隙开始上行数据的传输,这是由于 ONU0、ONU1、ONU2 和 ONU3 中 ONU3 的数据量最小,ONU3 传输用的波长 λ_4 可用时隙比其它波长要早,依次类推,直到所有的数据都分配了波长和时隙。因为每个 ONU 都有一个固定波长用于下行数据的传输,这些分配的信息写入到 GATE 帧随着下行数据传输到 ONU,当发送时隙到来,ONU 就在这些分配的波长和时隙上传输上行数据。图 4 为 ONU 收到 GATE 帧发送的上述波长和时隙分配信息后,再进行上行数据的传输原理图。

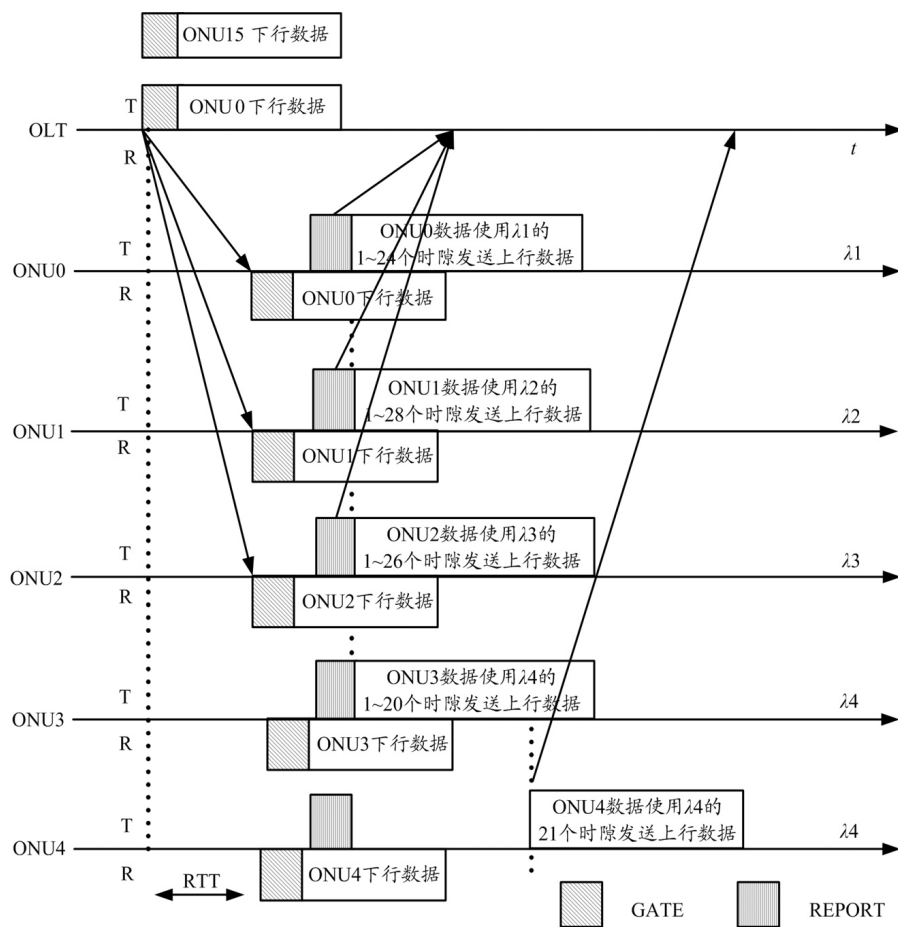


图4 WDM-PON 离线分配算法原理

3 结束语

1994年,WDM-PON技术方案就由贝尔实验室提出^[8],但由于成本过高,一直没有商用。2004年,KT和Novera Optics合作在光州推出WDM-PON FTTH服务,WDM-PON在韩国率先实现商用^[9],但是这个系统波长数较少,仅有16波,且是一个基于固定分配波长方式的WDM-PON系统,网络灵活性较差。动态波长的分配的提出很大程度上提高了网络的灵活性,一种理想的动态波长分配算法应该具备高带宽利用率、低

时延、带宽分配灵活等特点,正是由于动态波长分配算法有着巨大的潜力,才使之成为了目前WDM-PON系统研究热点之一。从长远来看,随着各种光器件价格的不断下降,WDM-PON关键技术的进一步研究以及用户对宽带业务的需求不断增加,在不久的将来,WDM-PON必将成为接入网的最佳解决方案。

参考文献:

- [1] ZHUANG Weiwei,ZHUANG Hongwei. Study on WDM-PON Schemes [C].2011 International Conference on Business Computing and Global Information,2011.
- [2] 冯翰林,刘逢清,路勇.采用再调制技术的WDM-PON性能研究[J].光通信技术,2010,34(6):29-31.
- [3] 张晓敏,李维民,李发庆.一种改进的EPON动态波长分配算法[J].应用光学,2009,30(6):1016-1019.
- [4] KIM H, HWANG J,YOO M. A cost-efficient WDM-PON architecture supporting dynamic wavelength and time slot allocation [J]. ICACT,2007(3):1564-1568.
- [5] 石磊,甘朝钦.基于动态波长分配的WDM-PON技术研究[J].光通信技术,2008,32(11):8-11.
- [6] 刘强.WDM-PON的接入算法及DBA算法的研究[D].成都:电子科技大学硕士论文,2010.
- [7] 胡明,李庆华.WDM-PON光信道分配方法的研究[J].光通信技术,2009,33(12):34-36.
- [8] FRIGO N J, IANNONE P P,MAGILL P D,et al. A Wavelength-Division Multiplexed Passive Optical Network with Cost-Shared Components[J]. IEEE Photonics Technology Letters,1994,6(11):1365-1367.
- [9] LEE C H,LEE S M,CHOI K M,et al. WDM-PON experiences in Korea [J].Journal of Optical Networking,2007,6(5):451-464.

优秀论文评选活动公告

为推动光通信技术的发展,促进技术交流,活跃学术气氛,广开科研思路、加强科技合作,及时刊登本领域的前沿信息,努力开阔广大科研人员的学术和技术视野,从2006年第1期开始,本刊每期评选一篇优秀论文,获得优秀论文的作者由本刊给予一定额度的奖金。敬请广大作者积极支持我们的工作,踊跃佳作,与我们共同携手把《光通信技术》办得更好。