

摘要

EPON(Ethernet Passive Optical Network)是采用点到多点结构,无源光纤传输,在以太网之上提供多种类型业务的一种新的接入网技术。EPON 建立在 ITU 为 APON 建立的 G.983 标准基础上,并希望最终实现在单一的光接入系统上传输数据、视频和语音等各种业务的全业务接入的梦想。EPON 中多个 ONU 争用上行信道,每个 ONU 所需带宽不断变化,为了更好地利用上行信道带宽,需对上行信道进行带宽管理。EPON 动态带宽分配根据业务需求实时地(ms/ μ s 量级)改变 EPON 各 ONU 上行带宽。

本文首先论述了接入网的应用、发展状况和前景,然后说明了接入网的基本结构、组成和各部分所完成的功能,EPON 的优势和 EPON 与已有的 APON 的区别及 EPON 各组成部分的功能,分析了 EPON 的关键技术,如动态带宽分配、上行实现技术等;阐述了 PON 动态带宽分配的研究现状、研究成果及研究空白。然后讨论了 EPON 工作原理;EPON 相关协议,特别是支持动态带宽分配的协议、规范,如静态时隙分配、动态时隙分配、流量容器和带宽请求、许可帧结构。在 APON 的动态带宽分配算法基础上,提出了 EPON 的两种动态带宽分配算法:最小分配算法、最少业务量损失算法,并对这两种动态带宽分配算法进行了具体介绍和分析。两种 EPON 动态带宽分配算法与 APON 动态带宽分配算法不同的是,它考虑的数据包长度不是等长的,这更符合 EPON 系统的实际情况。对以太网媒体转换器进行了研制,它可以大大扩展局域网的直径,并可以应用于采用 WDMA 方式的 ONU 中,作为光发射模块。

关键词: 以太网无源光网络 动态带宽分配 接入网 媒体转换器

Abstract

Ethernet Passive Optical Networks(EPON) are an emerging access network technology that provide a low-cost method of deploying optical access lines between a carrier's central office(CO) and a customer site. EPONs build on the International Telecommunications Union(ITU) standard G.983 for asynchronous transfer mode PONs(APON) and seek to bring to life the dream of a full-services access network(FSAN) that delivers converged data, video, and voice over a single optical access system.

DBA is the mechanism in place to dynamically change upstream bandwidth on a millisecond/microsecond timescale to improves the efficiency of the PON upstream bandwidth by dynamically adjusting the bandwidth among the ONUs in response to ONU burst traffic requirement.

The development, configuration and function of each part of EPON are discussed; The key technology of EPON, such as DBA, upstream MAC technology are analyzed; The principle and related protocol of EPON, especially the protocol for DBA, such as static timeslot assignment, dynamic timeslot assignment, Traffic Containers (T-CONTs), bandwidth request/grant frame are discussed. Two DBA algorithms, minimum allocation algorithm and the minimum traffic loss algorithm are put forward and analyzed. Which bandwidth allocation scheme is best choused in certain condition is given. Finally, the DBA schemes of EPON put forward are summarized and improved.

Ethernet media converter is also developed, which can be used in LAN and EPON.

Keywords: Ethernet Passive Optical Network Dynamic Bandwidth Allocation
Access Network Media Converter

1 绪论

1.1 引言

随着经济的发展和科学技术的进步，人们的工作和日常生活已经越来越离不开各种通信服务了，对电信业务也提出了越来越高的要求，电信业务正逐渐从传统的电话等窄带业务向集语音、高速数据和视频为一体的多媒体宽带业务发展。社会对信息的要求推动了信息产业的发展，迫切要求各种专业信息系统共同融入一个信息网络，能使人在任何地点、任何时间，将文本、声音、图象、电视信息传送给任何地点的任何人。由国家骨干电信网（数字交换网、光纤网、数字微波网、卫星通信网等）构成的高速通信网提供了高速信息传送的通道。接入网就是这个通道的“最后一公里”，它解决如何将图像、数据、语音等多种业务综合传送到用户的问题。然而，目前，被称为“信息高速公路最后一公里”的位于端局和用户间的接入网部分，其传输介质现在多为铜线结构，由于受传输损耗、传输带宽以及噪声等的限制，现行铜线接入方式已经越来越难以满足电信新业务发展的需求。要真正地实现多媒体宽带接入，就必须将光纤引入用户网，大力发展资源丰富、性价比高的光接入网（OAN）。

1.2 光接入网概述

1.2.1 光接入网定义

光接入网定义^[1]为共享相同网络侧接口并由光接入传输系统所支持的接入链路群，一般称为光纤环路系统（FTTL）。由光接入网（OAN）的定义可以看到，一般情况下，OAN 是一个点对多点的光传输系统，从系统配置上可分为无源光网络（PON）和有源光网络（AON）。

无源光网络基本构成包括：ONU（光网络单元），ODN（光配线网），OLT（光线路终端）。ONU 和 OLT 之间的通信是双向的，它们的连接可以是点对点、也可以是点对多点。通过无源光分路器将光线路终端与若干个光网络终端相连的无源光网络，由于采用无源光器件组成光配线网，它对业务是透明的，易于升级和扩容，而且网络设备由众多用户分享，建造费用和运行费用比较低，因此这种方案越来越受

到网络运营者的重视，在众多的 OAN 接入方案中占据着越来越重要的地位。

1.2.2 无源光接入网的参考配置^[2]

ITU-T 建议 G.982 提出了一个与业务和应用无关的无源光网络的参考配置，如图 1.1 所示。该功能参考配置描述了 PON 的功能单元配置及其连接关系。图 1.1 中各组成部分的功能是：

ODN：光配线网络。它是 OLT 和 ONU 之间的光传输媒介，由无源器件组成。

OLT：光线路终端。它提供 PON 网络侧接口，并且连接一个 ODN。

AF：适配功能。

UNI：用户网络接口。

SNI：业务节点接口。

PON 的范围是从 V 接口（即业务节点接口 SNI）到 T 接口（即用户网络接口 UNI）。PON 是共享同样的网络侧接口，且由光接入传输系统支持的一系列接入链路，它由一个光线路终端（OLT），至少一个光配线网（ODN），至少一个光网络单元以及适配设施所组成，它可能包含若干与同一 OLT 相连的 ODN。

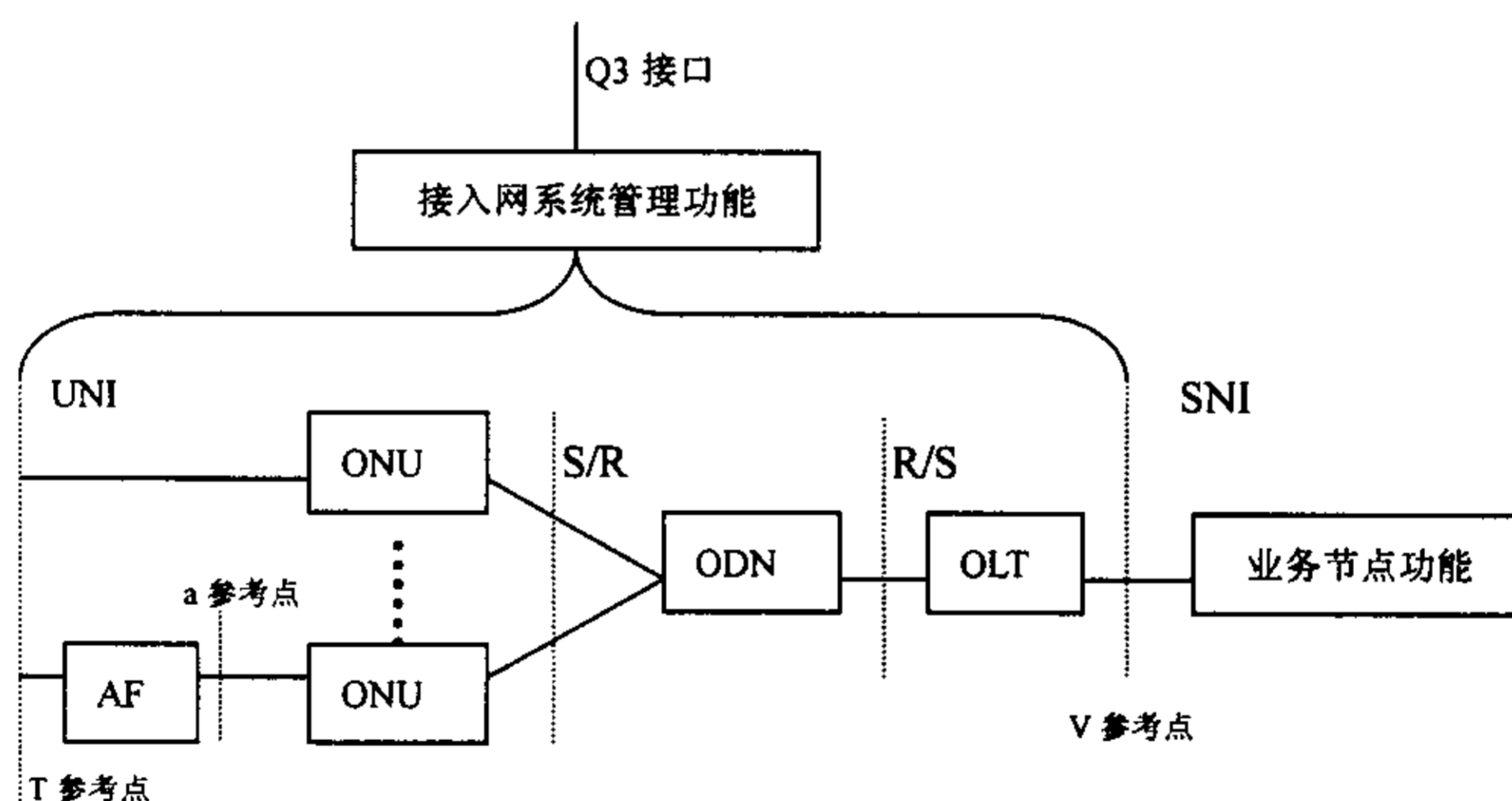


图 1.1 无源光网络的参考配置

OLT 的作用是为 PON 提供网络侧与本地交换机之间的接口，并经一个或多个 ODN 与用户侧的 ONU 通信。OLT 与 ONU 的关系是主从通信关系。OLT 的任务是分离交换和非交换业务，管理来自 ONU 的信令和监控信息，为 ONU 和本身提供维护和适配功能。OLT 可直接设置在本地交换机接口处，也可设置在远端，与远端的

集中器或复接器接口。在物理上, OLT 可以是独立设备, 也可以与其功能集成在同一设备内, ODN 为 OLT 与 ONU 之间提供光传输手段, 其主要任务是完成光信号功率的分配, ODN 是由无源器件(如光纤光缆、光连接器、光分路器等)组成的纯无源光配线网。ONU 的作用是为 PON 提供直接的或远端的用户接口。ONU 的主要任务是终结来自 ODN 的光纤, 处理光信号, 并为多个用户提供业务接口。ONU 的用户侧是电接口, 而网络侧是光接口, 因此 ONU 具有光/电和电/光转换功能, 还要完成对语言信号的数字化处理、复用、信令处理以及维护管理功能。AF 为 ONU 和用户设备提供适配功能。其具体物理实现可以包含在 ONU 内, 也可以完全独立。当 ONU 与 AF 在物理上相互独立时, 则 AF 还要完成在最后一段引入线上的业务传送任务。OAM 为 PON 的操作管理与维护单元, 它通过 Q3 接口与电信管理网相连, 与其进行通信并接受其管理。

1.3 以太网无源光网络

以太网是在 20 世纪 80 年代发展的一种局域网技术, 其带宽为 10Mbps, 最初是共享媒体型, 需要防止数据碰撞对信道进行侦听, 限制了其使用效率和传输距离。90 年代发展了交换型以太网, 解决了上述问题, 并先后推出了快速以太网 FE (100Mbps) 和千兆以太网 GbE (1000Mbps)。以太网由于具有使用简单方便、价格低、速度高等优点, 很快成为局域网的主流。以太网的帧格式与 IP 是一致的^[33], 特别适合于传输 IP 数据。随着因特网的快速发展, 以太网被大量使用, 目前全世界有 6 亿个以太网端口。随着吉位以太网的成熟和万兆 (10Gbps) 以太网的出现, 以及低成本在光纤上直接架构 GbE 和 10GbE 网技术的成熟, 以太网开始进入城域网 MAN 和广域网 WAN 领域。目前, GbE (10GbE) 已经成为宽带 IP 城域网的首选方案, 也已经开始用于 WAN。2002 年 10GbE 标准完成后, 将被广泛用于 MAN 和 WAN。如果接入网也采用以太网, 将形成从局域网、接入网、城域网到广域网全部是以太网的结构。采用与 IP 一致的统一的以太网帧结构, 各网之间无缝连接, 中间不需要任何格式转换。这将可以提高运行效率、方便管理、降低成本。这种结构可以提供端到端的连接, 根据与用户签订的服务协议 SLA, 保证服务质量 QoS。

基于以太网技术的宽带接入网与传统的用于计算机局域网的以太网技术大不一样, 它仅借用了以太网的帧结构和接口, 网络结构和工作原理完全不一样, 它具有高度的信息安全性。电信级的网络可靠性, 强大的网管功能, 并且能够保证用户的

接入带宽，这些都是现有的以太网技术根本做不到的。因此基于以太网技术的宽带接入网完全可以应用在公网环境中，为用户稳定可靠的宽带接入服务。另外，由于基于以太网技术的宽带接入网给用户提供标准的以太网接口，能够兼容所有带标准以太网接口的终端，用户不需要另配任何新的接口卡或协议软件，因而它又是一种十分廉价的宽带接入技术。

基于上述原因，以太网接入网得到快速发展和广泛重视。2001年初，IEEE成立了802.3EFM工作组（EFM的意思是“以太网第一哩”，即以以太网接入网），发展制定以太网接入网标准。随着标准的制定完成，将有一批以太网接入网设备出现。

以太网PON相对于现有类似技术的优势主要体现在以下几个方面：

- (1) 与现有以太网的兼容性：以太网技术，是迄今为止最成功和成熟的局域网技术。EPON只是对现有IEEE802.3协议作一定的补充，基本上是与其兼容的。考虑到以太网的市场优势，EPON与以太网的兼容性是其最大的优势之一。
- (2) 高带宽：根据目前的讨论，EPON的下行信道为百兆/千兆的广播方式，而上行信道为用户共享的百兆/千兆信道。这比目前的接入方式，如MODEM、ISDN、ADSL甚至APON（下行622/155Mbps，上行共享155Mbps）都要高得多。
- (3) 低成本：首先，由于采用PON的结构，EPON网络中减少了大量的光纤和光器件以及维护的成本。其次，以太网本身的价格优势，如廉价的器件和安装维护使EPON具有APON所无法比拟的低成本。

虽然，EPON的网络结构在目前还没有定论，但肯定会采用PON的结构，因此，讨论中许多成员都沿用了ITU-T G.983中定义的APON的结构^[3]来描述EPON。由业务网络接口到用户网络接口间为EPON，而EPON通过SNI与业务节点相连，通过UNI与用户设备相连。EPON主要分成三部分，即OLT、ODN和ONU/ONT组成。其中OLT位于局端，ONU/ONT位于用户端（其区别为ONT直接位于用户端，而ONU与用户间还有其它的网络如以太网）。OLT到ONU/ONT的方向为下行方向，反之为上行方向。

EPON各部分实现的功能^[25]：

- (1) OLT：作为EPON的核心，OLT应实现以下功能。
 - 向ONU以广播方式发送以太网数据。
 - 发起并控制测距过程，并记录测距信息。
 - 发起并控制ONU功率。
 - 为ONU分配带宽，即控制ONU发送数据的起始时间和发送窗口大小。

- 其它相关的以太网功能。
- (2) ODN: 由无源光分路器和光纤构成。
- (3) ONU/ONT: ONU/ONT 为用户提供 EPON 接入的功能。
- 选择接收 OLT 发送的广播数据。
- 响应 OLT 发出的测距及功率控制命令, 并作相应的调整。
- 对用户的以太网数据进行缓存, 并在 OLT 分配的发送窗口中向上行方向发送。
- 其它相关的以太网功能。

从 EPON 中功能划分可以看出, EPON 中较为复杂的功能主要集中于 OLT, 而 ONU/ONT 的功能较为简单, 这主要是为了尽量降低用户端设备的成本。

EPON 和 APON 最主要的区别是: 在 EPON 中, 是不用定长的, 最大达到 1518 字节的包来传输数据; 而 APON 中是用 53 字节 (48 字节净负荷, 5 字节信头) 定长 ATM 信元传输数据。APON 中帧长一样, 能够有效而迅速地同步。APON 传输 IP 业务时, IP 包最大长度为 65,535 字节, IP 包必需分割成多个 48 字节, 再加上 5 字节的信头, 所以 APON 传输 IP 业务比较困难, 而且效率低。表 1.1 对 APON 与 EPON 进行了多方面的比较^[4]。

表 1.1 EPON 与 APON 比较

	EPON	APON
第二层协议	以太网	ATM
传输	可变长度的帧	固定长度的信元
速率	对称 100Mbps 对称 1.25GbE(802.3ah) 对称 10GbE	对称 155Mbps(G.983.1) 非对称 622Mbps(G.983.1) 对称性 622 Mbps 对称性和非对称性 1.25 Gbps 对称性和非对称性 2.5Gbps
标准	802.3ah 作为 IEEE802.3 EFM 的一部分, 尚未通过, 有望 2003 年通过	FSAN(建议, 非标准), ITU-T G.983.x 建议
上行接入	TDMA, 其他	TDMA
成本	以太网交换机	ATM 交换机
业务	POTS、数字电话业务(提供	POTS、数字电话业务-T1/E1/J1、数据

	DS-1 或 3(较难)、数据业务、IP 语音业务、IP 视频业务	业务、IP 业务(已打包)、ATM 语音业务
QoS 和 SLA 支持	支持有限	通过用 ATM QoS 控制可以很好的支持 SLA
优势	可以无缝扩展广域网/局域网, 可以扩展 IP/Ethernet 网络到用户。	拥有某些成熟的 ATM 技术; 可以通过新增 PON 波长来扩大带宽而不更改速度; 可以无缝接入 ATM 网络
劣势	未来带宽可能不够, 目前还没有定义单独的视频信道和可增加的波长。在网络末端可能需要昂贵的路由设备, 如果将 ATM 信号转换成以太网信号, 最后在同样的地域传送距离和分支能力可能没有 APON 经济。	需要配置 ATM 和 Ethernet (市场业务需求所致)。APON 的芯片会更加复杂而且更贵, 市场都期望 EPON 来竞争从而降低价格。对于相同的业务 APON ONT 的 IAD 功能要求更高并且 APON 的 OLT 比 EPON 的要贵。
分支能力和传送距离	传输 15km 具有 1:16 的分支能力, 传输 10km 具有 1:32 的分支能力。	现有水平做到了 15~18km 传输距离 1: 32 的分支能力。

1.4 无源光网的关键技术分析

当今 EPON 上行接入方式主要采用 TDMA 方式, 采用这种接入方式, EPON 的关键技术主要有上行信道复用实现技术、动态带宽分配、测距与延时补偿、光器件、突发信号的快速同步技术、QoS 等等。

1.4.1 上行实现技术

可以说上行的复用技术是 EPON 技术的核心, EPON 上行实现技术^[5]可以使用波分多址复用、时分多址复用、码分多址复用等方式。波分复用的缺点有: OLT 中需要多个探测器; 初期成本高; 信道容量固定; 增加/减少用户时比较麻烦。码分复用的缺点有: 信道间的干扰由 ONU 的数量决定; 需要高速器件。而时分复用具有 N 个 ONU 只需要一个 OLT 转发器和极少的波长等优点, 但时分复用还是需要高速

电子器件。综合考虑，一般我们都是采用时分复用多址接入方式。

时分多址复用方式又可以采用固定时隙的时分多址复用、统计时分多址复用、随机接入等方式。固定时隙时分多址复用方式不足之处有：当其中有的时隙未用时，还是占用一样的带宽；对高突发率业务适应力不强；ONU 需要同步。随机接入没有确定的接入时间；而且由于 MAC 接入方式采用 CSMA/CD，故有传输距离的限制。而统计时分多址复用可以克服前两者的不足，所以一般都选择采用统计时分多址复用。上行信号传输在 ONU 被分配到的时隙里发送以太网帧，统计复用通过提供的数据量的大小来改变时隙的大小来实现。统计 TDMA 中，如何使上行信道的带宽利用率、时延和时延抖动等指标达到要求等将是主要讨论的焦点^[27]。其中，上行带宽的分配方法、ONU 发送窗口固定还是可变、最大的 ONU 发送窗口应为多大、ONU 发送窗口的间隔、以太网帧是否切割等问题都有待于研究和确定。

考虑到 EPON 中的数据/视频业务流是自相似的，不存在最佳大小的固定时隙；突发包大小分布为长相关性（大的拖尾），即大多数突发包都比较小，但几乎都是大量的突发包同时出现；所以实现统计时分复用要考虑的问题有：

(1) 由于数据包突发时间与大小都难以预料，实现统计时分复用时需加上反馈；

(2) MAC 接入方式采用 Roll-call 轮询方式时需要 ONU 之间相互侦听，也就是 PON 只能为广播星型或无源环（这太严格了）；采用 Hub 轮询方式工作时间非常长。最佳方法为采用间插轮询路由方式。

上行信号应该采用灵活的请求/许可方式。例如可以通过采用“逻辑端口”^[6]，灵活地为一个 ONU 中的每个用户、每种业务提供许可信号，实现灵活操作；或采用“多请求方式”缩短许可周期，同时使 TCP 流量高。

1.4.2 测距和时延补偿技术

由于光纤信道时延较大的特点，ONU 与 OLT 之间的距离将会影响到上行信道的复用，如果准确测量各个 ONU 道 OLT 的距离并能精确的调整 ONU 的发送时延，则可以减小 ONU 发送窗口间的间隔，从而提高上行信道的利用率并减小时延。另外，测距过程应充分考虑到整个 EPON 的配置情况。例如，系统在工作中加入新的 ONU，此时对它的测距不应对其它 ONU 有太大的影响。

1.4.3 光器件

由于 EPON 上行信道是所有 ONU 分时复用的, 每个 ONU 只能在指定的时间窗口内发送数据。因此, EPON 上行信道中使用的是突发信号, 这就要求在 ONU 和 OLT 中使用支持突发信号的光器件。现有的大部分光器件还不能满足这一要求, 少数突发模式的光器件也只能工作在 622Mbps 的速率上, 而且价格昂贵。可以说, 这是 EPON 技术面临的一大问题, 但是, 目前已有厂商正在研制满足 EPON 要求的光器件, 相信随着 EPON 标准的制定, 会有更多的产品出现。

1.4.4 突发信号的快速同步

在上行方向, OLT 接收到的信号为突发信号, OLT 必须能在很短的时间(几个 bits)内实现相位的同步, 进而接收数据。这一技术与 APON 中使用的类似, 因此可以借鉴 APON 的经验。

1.4.5 QoS

EPON 的价格和性能上的优势使服务提供商可以在非常经济的平台上提供盈利业务。但是, EPON 提供商面临的一个主要的技术难题为: 确保实时业务, 如语音、IP 视频业务有 ATM 和 SONET 一样的 QoS 和易于对它们进行管理。

在 EPON 中, 怎样才能保证各种业务, 特别是实时业务的 QoS 呢? 可以从以下几个方面来保证实时业务的提供^[35]: 系统采用中心局时钟以保证低延时; 分配给实时业务更多的带宽和管理开销; 对不同业务提供不同的优先级, 对实时的业务优先传送, 支持协议第三层有 DiffServ/TOS (TOS 提供 8 种优先级, 以确保数据包按照优先级发送), 第二层协议有 802.1p, 802.1q, 还有 RSVP (资源预留协议: 提供一个开放的高速通道不传输数据, 专门用来传输语音业务, 以保证传统电话业务质量); 排队技术、带宽分配、视频缓冲等等。

为了阐明 EPON 接近 ATM/SONET 性能的途径, 表 1.2 给出了 EPON 与 ATM/SONET 几个方面解决技术的比较^[7]。表中 EPON 采用的技术可以传输与 ATM/SONET 同样可靠、安全和相同 QoS 的业务, 而 ATM/SONET 成本要高得多。

除此之外, 以太网在 PON 上的成帧技术与实现技术、下行信道安全性、如何实现 VLAN 和网管等也是影响 EPON 应用前景的问题, 必须加以考虑。

表 1.2 EPON 与 ATM/SONET 解决方案的比较

	ATM/SONET	EPON
实时业务	ATM 业务结构和面向连接的链路设计确保了实时业务所需的可靠性和服务质量。	用一路由/交换器提供对 IP/Ethernet 的自然分类、高级允许控制、带宽保证、业务整形、可明显地扩展目前企业局域网性能的网络资源管理等功能。
统计复用	业务整形和网络资源管理在传输非实时业务的用户中公平分配带宽，需要动态带宽分配。	业务管理作用于内部结构和外部与网元管理系统的接口，与基于 ONU 和 OLT 的业务管理提供一致的管理。IP 业务的带宽统计复用是其固有的。
多业务传输	ATM 的多种适配层协议保证不同的业务能在同一网络上公平共享网络资源。	业务优先级和业务级别确保每个用户的独特的业务获得网络资源。允许业务供应商对诸如 CATV、互动 IP 视频业务提供独立的信道。
管理能力	系统框架和先进的管理功能增强了管理网络工具的功能。	网元管理(EMS)与业务供应商操作支持系统(OS)结为一体，可以模拟面向连接网络和提供端到端连接的设备的优点，使用和管理 IP 业务。
保护	双向线路切换环(BLSR)和单向通路切换环(UPSR)提供了完整的系统备份和恢复。	逆时针旋转环结构提供保护，保护切换时间不超过 50ms。

1.5 动态带宽分配及当前研究水平

1.5.1 动态带宽分配

由于 EPON 中多个 ONU 共用上行信道，如果用带宽静态分配，对数据通信这样的变速率业务很不适合，如按峰值速率静态分配带宽则整个系统带宽很快就被耗尽，带宽利用率很低；而动态带宽分配使系统带宽利用率大幅度提高。动态带宽分配是按照业务的需求，实时地 (ms/ μ s 量级) 改变 EPON 的各 ONU 上行带宽的机制。通过 DBA，我们可以根据 ONU 突发业务的要求，通过在 ONU 之间动态调节带宽来提高 PON 上行带宽效率；由于能更有效地利用带宽，网络管理员可以在一个已有的 PON 上增加更多用户，终端用户也可以享有更好的服务，如用户可以用到的带宽峰值可以超过传统的固定分配方式的带宽。

基于以太网的各种业务，大都具有很强的突发性，很难预测业务的实时特征，所以 EPON 必须可以在不同业务之间动态分配带宽。同时，EPON 还是一种多用户

共享媒质的复用网络，各用户的业务请求也是实时变化的，EPON 还应在不同用户（ONU）之间动态分配带宽。

根据 EPON 的特点及 ITU-T G.983 建议，可以得出对动态带宽分配设计的具体要求^[26]有：业务透明、高带宽利用率、低时延和低时延抖动、公平分配带宽、可靠性好、实时性强。

动态带宽分配采用集中控制方式：所有的 ONU 的上行信息发送，都要向 OLT 申请带宽，OLT 根据 ONU 的请求按照一定的算法给予带宽（时隙）占用授权，ONU 根据分配的时隙发送信息。其分配准许算法的基本思想是：各 ONU 利用上行可分割时隙反映数据到达的时间分布并请求带宽，OLT 根据各 ONU 的请求公平合理地分配带宽，并同时考虑处理超载、信道有误码、有数据包丢失等情况的处理。

根据不同业务的特点以及对 QoS 的要求，可以把业务大致分成：语音业务、视频业务、及数据业务三种类型^{[8][28]}。多媒体业务的特点：

（1）语音业务

语音业务是恒比特率实时业务，它的特点是速率恒定、速率比较低，一般以比特率 64kbps 连续传输，若采用语音压缩技术，速率可能只有 16kbps；另一方面，语音业务对时延和时延抖动的要求还很高。当回音与自己发出的声音间的时延超过 25ms 时，人耳就能区分出来，而根据日本 NEC 的试验，当时延大于 18ms 时就应加回波抑制。在话音通信时，统计上只有 40%的时间是真正有话音的，其余 60%的时间是沉默期，如果合理利用静音消除技术，同样带宽的通路上就可以接入 2.5 倍的用户。

为保证通话质量，IP 网络一般要求包丢失率在 5%以下^[37]。

（2）视频业务

视频业务开始形成时也是恒比特率业务，但是经过压缩后为变比特率业务。视频业务也是实时业务，对时延和时延抖动的要求也很高。视频业务对带宽要求比较高，按视频压缩标准 MPEG-2 压缩后的视频流大约需要 4~10Mbps 的带宽。

（3）数据业务

数据业务为突发性业务。它不是实时业务，对时延和时延抖动的要求不高，但是对误码率要求很高。它所占用的带宽变化很大。

对于语音业务，考虑到它对时延敏感、业务产生具有预见性和业务所需带宽很低的特点，把它的优先级设为最高。对它采用半静态的媒质接入方案，即在呼叫建立时分配带宽，呼叫结束后释放带宽。对视频业务，考虑到它也对时延敏感、所需

带宽高的特点, 把它的优先级设为与语音业务一样。对数据业务, 考虑到它对时延不敏感和业务产生的突发性很强的特点, 把它的优先级定为最低。采用动态请求/许可分配方案, 尽力而为地为业务提供带宽。数据业务使用语音业务和视频业务剩余的带宽。具体实现动态带宽分配的总的思路为 OLT 在分配上行带宽时, 首先满足各 ONU 的最低带宽要求, 以保证电话等实时业务的传输, 同时又以特定的算法使 ONU 中的上行发送缓冲队列最短。

在 PON 中, 在传输会聚层上可以用流量容器 (Traffic containers) 来存储管理上行带宽分配的业务流/连接, 使 PON 的带宽利用率得到提高。有分析表明^[9], 对数据业务, 采用 DBA 时, 负载量与信道容量之比, 即归一化负载量大于 0.8, 数据包才开始丢失, 而没有采用 DBA 时归一化负载量 0.4 时, 数据包就开始丢失。数据业务平均传输时延无 DBA 时为 100ms, 而用 DBA 时为 <10ms。

下行信道由于是广播式工作, 逻辑上等于是点对点传输, 所以不需要带宽分配。

1.5.2 动态带宽分配方案

EPON 的标准还未制定, 当今国际上也还未见有对 EPON 的 DBA 算法研究的报道, 但是可以借鉴 APON 的动态带宽分配方法来进行 EPON 的动态带宽分配研究。

APON 动态带宽分配方案^{[10][11][12][13][14][15][16]}大致上有三种: 最小分配、最少业务量损失分配与最少虚信元丢失率方案。具体介绍如下:

(1) 最小分配方案^[10]

最小分配法分配方案把上行带宽请求帧中的队列信息分成实时队列信息 (即紧急申请) 和总队列信息 (即总申请)。OLT 将每次轮询时各 ONU 上报的队列信息分成紧急申请数据和总申请数据两部分存入一临时存储区, OLT 将临时存储区中的数据作为给 ONU 授权分配的依据。OLT 每分完一次授权, 都要将各 ONU 在临时存储区中的数据减去刚分给它们各自的授权数目, 以作为下一次分配授权的依据。在收到新上报的队列信息后, OLT 立即对临时存储区中对应 ONU 的数据进行累加。OLT 在对授权进行分配前, 首先计算此时所有 ONU 总申请的总和 R_z 和紧急申请的总和 R_j 。

OLT 在分配授权时, 首先用该帧可用数据授权的数目 F 与 R_z 进行比较, 若 $F \geq R_z$, 则按需分配授权。如还有剩余, 则从下一组的第一个 ONU 开始按模 N (PON 中 ONU 的数目) 顺序一次一个授权地分配, 直到分完为止; 若 $F < R_z$, 则再比较 F 与 R_j , 若 $F \geq R_j$, 则先按需分配。虚分配之后, 在保证紧急申请的前提下从本组(最

近上传了状态信息的那组)的最后一个 ONU 按模 N 倒序循环从各 ONU 一次一个授权地扣除回来,直到分下去的授权数目与可用的授权数相等。若连紧急申请都不能满足,则只有先按紧急申请虚分配,接下来与前面方法一样处理,只是不保证紧急申请。

(2) 最少业务量损失方案

最少业务损失方案通过计算业务损失函数值,调整分配给各业务的带宽,使业务损失函数值达到最小,即此时给各业务分配的带宽能使得下一个周期中信元丢失率最少。这种方法的原理为:带宽分配控制器每一次带宽分配,都通过一系列计算后给各 ONU 分配带宽,使业务损失函数 J_p 的值达到最小,业务损失函数值表示下一个周期中信元丢失的期望值。业务损失函数 J_p 的表达式^[14]:

$$J_p = \sum_{h=1}^M \sigma^{(h)} \left[\sum_{n=0}^{N_c^{(h)}} p_{loss}^{(h)}(n) v_{n, N_c^{(h)}}(m) + \xi \left(\sum_{n=0}^{N^{(h)}(m)} p_{loss}^{(h)}(n) v_{n, N^{(h)}}(m) - \sum_{n=0}^{N_c^{(h)}} p_{loss}^{(h)}(n) v_{n, N_c^{(h)}}(m) \right) \right] \quad (1.1)$$

式中常数 $\sigma^{(h)}$ ($h=1, \dots, M$) 是权重系数, ξ 是调整系数, $N^{(h)}(m)$ 是常数,可以选择代表 h 类业务特性的一个值, $p_{loss}^{(h)}(n)$ 是稳态信元丢失概率值, $v_{n, N}$ 为 N 个连接中只有 n 个连接是活动的概率。在求函数 J_p 的最小值时,必需满足两个约束条件:

$$\sum_{h=1}^M v_m^{(h)} = C_T \quad (1.2)$$

$$v_m^{(h)} \geq v_{min}^{(h)}(m) \quad h=1, \dots, M \quad (1.3)$$

约束条件(1.2)表示所分配的总带宽等于系统带宽,约束条件(1.3)表示要求分配给每类业务的带宽大于或等于此类业务最小要求的带宽。

(3) 最小虚信元丢失率方案^[11]

最小虚信元丢失率方案通过分级允许控制为各优先级业务分配相应的带宽,当有一新的连接要求时,它通过计算损失业务目标函数 Q 来调整带宽分配。其原理为:在 ATM 网络中,当发生业务量溢出时,虚信元丢失率(VCLP)是估计信元丢失率的一个重要参数,在最少业务量损失算法中采用 VCLP 作为评价性能的指标,通过带宽分配算法,使得 OLT 分配的带宽使 VCLP 的函数值达到最小,即此时分配给各 ONU 的带宽使得信元丢失最少。最小虚信元丢失率算法的主要优点是,能使系统的 VCLP 和 Q 函数值达到最小,并及时为每个要求建立连接请求有效而公平地分

配带宽，而且在多优先级业务的环境下，可提供高的吞吐量。

Q 函数表达式为：

$$Q = \sum_{i=1}^M \sum_{n_i=0}^{L_i} p_i(n_i) \left| \frac{\sigma_i R_i - b_i}{b_i} \right| \quad (1.4)$$

其中，M 代表有 M 种优先级业务类型； n_i 为业务类型 i 过载时可能的连接数； L_i 为业务类型 i 最大的连接数； $p_i(n_i)$ 为 L_i 个连接中有 n_i 个连接是激活的概率； σ_i 为加权因子； R_i 为业务类型 i 的峰值信元速率， b_i 为分配给业务类型 i 的带宽。

最小虚信元丢失率算法通过调整分配给各种业务类型的带宽 b_i ，使得 Q 函数为最小值，此时 VCLP 也达到最小。即此时的带宽分配使得整个系统的 VCLP 达到最小。

EPON 中的以太网数据包与 APON 中的 ATM 信元不同，以太网数据包是大小不一致的（64~1518 字节），而 ATM 信元是固定大小（53 字节）的。因此，EPON 的动态带宽分配与 APON 的动态带宽分配不同，需要考虑数据包长的影响。在 EPON 中，也可以把以太网数据包拆分成固定大小的数据包，然后 EPON 就与 APON 一样分配带宽，但是这样增加了 EPON 系统的复杂性，系统工作效率也会降低。因此，对 EPON 的动态带宽分配进行研究是非常有必要的。

1.6 本文的主要研究内容

1.6.1 本课题的任务

随着 EPON 中多媒体业务的增加，对支持这些业务的资源的需求也在增加。EPON 每条物理链路的带宽、缓冲器大小、每个节点的处理时间都应该以最高的性价比来分配。每个应用都希望网络提供所希望的服务质量，业务提供者希望能有效地提供所需带宽。EPON 采用 TDMA 方式时，多个 ONU 争用有限的上行信道带宽，本课题的任务是为了更有效地利用上行信道带宽，提供几种动态带宽分配方法分配上行带宽，并提供业务 QoS 保证。

EPON 的动态带宽分配是一个全新的课题，由于 EPON 的标准还没有指定，EPON 的协议、规范还在讨论中，所以，至今未见有对 EPON 动态带宽分配研究的报导，只有对 APON 的动态带宽分配的研究的报导。由于 APON 中传输的是大小一致的 ATM 信元，EPON 中传输的是大小不一的以太网数据包，故 EPON 带宽分

配协议和方案都比 APON 复杂。

1.6.2 本文的主要内容

首先介绍了无源光接入网的应用、发展状况和前景、接入网的构成及各组成部分所完成的功能，然后对以太网无源光接入网的发展及关键技术进行了介绍，最后介绍了 EPON 的动态带宽分配的研究空白和几种 APON 的动态带宽分配方案。

第二章介绍了 EPON 的工作原理、动态带宽分配的用途及支持动态带宽分配的协议。

第三章提出了适合于 EPON 的两种动态带宽分配算法，最小分配算法和最少业务量损失算法。并具体介绍了这两种动态带宽分配算法原理和实现。

第四章介绍了以太网媒体转换器的研制，并指出了以太网媒体转换器的一些运用。

第五章对本论文进行了总结。

文章最后列举了作者在硕士期间发表的论文、参考文献和专业词汇缩写对照表。

2 EPON带宽分配

2.1 EPON简介

EPON 是采用点到多点结构, 无源光纤传输, 无源光分束器分光, 在以太网之上提供多种业务的一种新的接入网技术。EPON 由 OLT、ODN、ONU 等单元组成, 如图 2.1 所示。EPON 采用与 IP 一致的统一的以太网帧结构, 对现有 IEEE802.3 协议作一定的补充, 与现有以太网的兼容性, EPON 可以用于 FTTC、FTTB、FTTH, 提供语音、数据、视频服务 (如 POT, 以太网、T1/T3 业务等)。

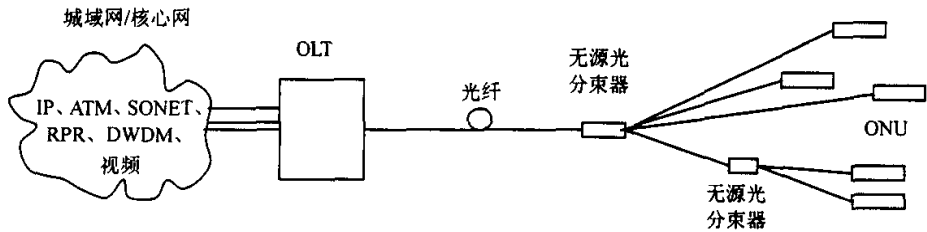


图 2.1 EPON 基本组成

EPON 给每个 ONU 提供业务并动态分配带宽 (1~1000Mbps)。交换机/路由器与城域/核心网相连。采用无源光分束器使得在本地环路中避免了使用有源器件, 一般 ONU 的个数为 4~32, 采用单纤, 上行波长 1310nm、下行波长 1550nm。下行传输采用一点对多点的广播方式, 上行传输为多点对一点, 需要有多点对一点的接入协议。

EPON 的上行信号传输如图 2.2 所示。EPON 上行帧的帧长 2ms(或 2.5ms), 每帧有一个帧头, 表示该帧的开始, 每帧进一步分割成可变长度的时隙, 每个时隙分配给一个 ONU, 用于发送给 OLT 的上行数据。每个 ONU 有一个 TDM 控制器, 它与 OLT 的定时信息一起, 控制上行数据包的发送时刻, 以避免复合时相互间发生碰撞和冲突, 上行传输速率为 100Mbps 或 1000Mbps, 上、下行传输速率可以采用对称的结构 (如上下行均为 100Mbps), 也可以采用非对称的结构(如下行为 1000Mbps, 上行为 100Mbps)。多个 ONU 共用上行信道, 要有效利用上行信道带宽, 需要合理安排从各个 ONU 数据包的发送时间, 在上行信道中占用的时间的长短等, 不让上行信道有过多的空余时隙。

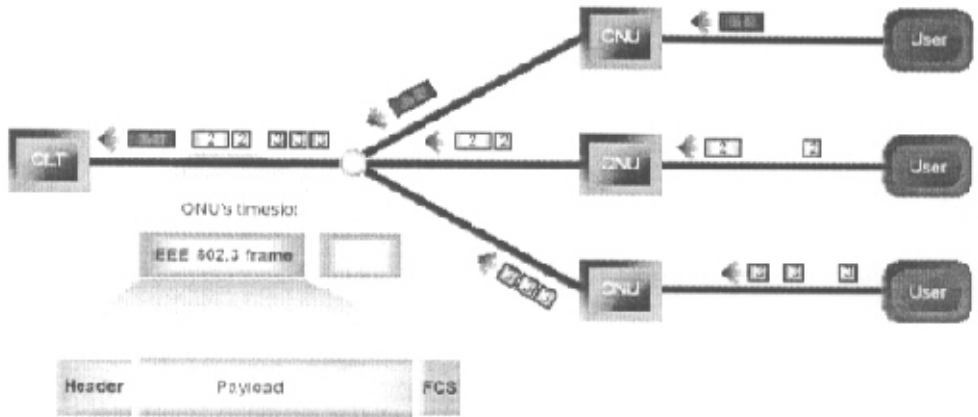


图 2.2 上行信号传输示意图

EPON 下行帧结构由一个被分割成固定长度帧的连续信息流组成^[11]，其传输速率为 100Mbps 或 1000Mbps，每帧又携带多个可变长度的数据包(时隙)。含有同步标识符的时钟信息位于每帧的开头，如图 2.3 所示，用于 ONU 与 OLT 的同步，每 2ms(或 2.5ms)发送一次，同步标识符占 1 个字节，按照 IEEE802.3 组成可变长度的数据包，每个 ONU 分配一个数据包，每个数据包由信头、可变长度净荷和误码检测域组成。与上行信号传输不同，下行数据流以广播方式发送数据包，ONU 只选择数据包的目的地址为本地地址的数据包，其它的数据包丢弃。

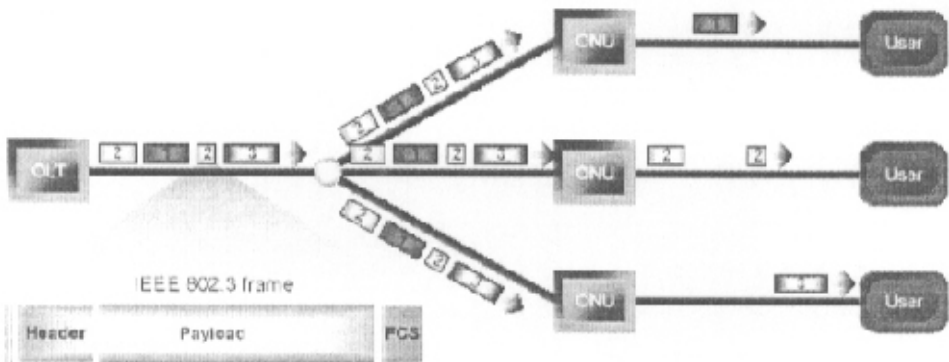


图 2.3 下行信号传输示意图

2.2 EPON 中的带宽分配

我们研究的目标为基于千兆以太网 (GbE)、可实用化的宽带无源光网络系统, 主要技术指标和功能为: 具有支持不少于 1: 32 的分支能力; 下行线路速率 1.25Gbit/s; ONU 提供各种基于 IP 的业务; OLT 上联接口: 1000Base-LX; ONU 下联接口: 1000Base-SX/100Base-T/10Base-T。

表 2.1 中给出了几种典型应用情况下的带宽需求^[17]。可见, 如果采用 32 分支、1Gbps 的 PON 系统, 只用于家庭用户时, 带宽还比较宽裕。而在小公司和商业用户的使用时, 同样采用 32 分支, 此时负载量比较大, 带宽资源比较紧张。在系统负载比较大、或系统提供对带宽要求比较高的业务、或用户对带宽有特殊需求等情况下, 为了更好地为各用户提供各种业务, 满足用户的特殊需求, 并且提高上行带宽利用率, 灵活的带宽分配策略和算法是非常重要的。

表 2.1 几种典型应用情况下的带宽需求

	家庭	小公司 (<7 个雇员)	商业 (50 个雇员)
声音	3~4 线 带宽=0.15Mbps	7 路/线 带宽<1Mbps	20 路 (3:1 分路比) 带宽=1.28Mbps
视频	80-120 路 SDTV 5-10 路 HDTV 2 路 PPV 和 VOD 2 路视频会议 下行带宽=550Mbps 上行带宽=10Mbps	4 路 VOD 业务 1 路教学业务 10-20 路 SDTV 下行带宽=125 Mbps 上行带宽=20Mbps	0 路 SDTV 1 路教学业务 视频会议(1/10 的雇员 同时使用)
数据	网页浏览 端对端 游戏 聊天 带宽: 最小 10Mbps	文件储存区 ASP 应用 网页浏览 端对端 带宽: 100Mbps	带宽>100Mbps
估计总带宽	下行带宽=550Mbps 上行带宽=20Mbps	下行带宽=225Mbps 上行带宽=120Mbps	可变
1Gbps 的系统	~50 个用户	~10 个用户	可变

2.2.1 静态带宽分配

用静态带宽分配时，OLT 不响应任何 ONU 的请求。许可带宽为^[18]：

$$\frac{\text{时隙结束时刻} - \text{时隙开始时刻}}{\text{周期长度}} \times \text{线路速率}$$

静态带宽分配给每个用户提供相同的带宽，当有的用户不需要这么大的带宽时，多余的带宽就浪费了。而且，静态带宽分配需要限制用户的差别，对一些可能的应用也要加以限制，以防止对带宽的要求过高。当有峰值速率比较高的突发性业务，要求带宽比所分配的带宽要大时，不能满足传输的要求，有可能系统发生故障，即可靠性不好^[39]。

2.2.2 动态带宽分配

EPON 中如果用带宽静态分配，对数据通信这样的变速率业务很不适合。如按峰值速率静态分配带宽则整个系统带宽很快就被耗尽，带宽利用率很低。动态带宽分配 (DBA) 是实时地 (ms/ μ s 量级) 改变 EPON 的各 ONU 上行带宽的机制，是一种能根据当今的业务需求很快地在 PON 中重新分配带宽的能力。随着多媒体业务的增加，对支持这些业务的资源的需求也在增加。每条物理链路的带宽、缓冲器大小、每个节点的处理时间都应该以最高的性价比来分配。每个应用都希望网络提供所希望的服务质量 (QoS)，业务提供者希望能有效地提供所需带宽。因此，需要带宽分配方法来分配带宽并提供 QoS 保证。

需要 DBA 的具体原因有：

- DBA 可以根据 ONU 突发业务的要求，通过在 ONU 之间动态调节带宽来提高 PON 上行带宽效率。
- 由于能更有效地利用带宽，网络管理员可以在一个现存的 PON 上增加用户。
- DBA 可以为有多分支 (如：32 分支) 的 PON 签订灵活的服务水平合同。
- 终端用户可以享有更好的服务，如带宽峰值可以超过传统的采用固定分配方式分配给终端用户的带宽。

动态带宽分配中带宽分配的粒度可以比较粗略 (只能区分 ONU)，也可以非常精确 (可以对各种不同 QoS 的优先级业务进行排列，甚至可以细分到每个 ONT 中每一单独业务流)。重新分配带宽的方法可以通过信令和与用户单独签订的服务水平合同来决定。

2.2.2.1 DBA 的实现

带宽分配通常的作法是先预测业务的特点,然后用预测出来的代表业务特性的值来计算保证业务 QoS 所需的带宽。这种技术通常要以下几个基本问题,首先,例如实时或交互电视业务等业务源的特性事先可能不知道,需要对业务源的特性进行猜测。第二,所用的参数不能够完全表达出业务源特性。如 MPEG 压缩视频有长期的相关性,意味着标准的统计模式不能够完全表达出它的特性。第三,需要的参数数量应该比较少,以减少带宽分配算法的复杂度。

DBA 有多种实现方法,大体上可以分为离线或在线两种方法。离线方法在业务传输开始前决定好分配给业务的带宽大小,此带宽大小可以根据事先测好的业务特性随时间改变。在实时应用中,峰值速率分配就是离线分配的一个例子。这种方法有几个优点,如简单和可预测带宽大小,事先分配好带宽,但也有一些缺点,如峰-均值比比较大时,带宽利用率就很小。但对于交互型业务,既不能直接了解到业务流特性,又不能对业务直接控制的情况下,离线方法不适合。在线方法对业务流和/或 QoS 进行观测,预测业务下一个周期所需带宽,然后根据预测值周期性地更新分配给 ONU 的带宽。这种方法避免了离线方法的一些问题,可用滤波器、神经网络、动态算法或其他一些采样过程来实现。这些方法有根据所需的 QoS 而进行带宽分配的优点。

在 EPON 中 DBA 的具体实现过程为:ONU 在 ONT 分配给它的微间隙里把 ONU 中的队列信息传输到 OLT,这信息包含了 ONU 中的业务类型、业务连接数、数据包个数及每个数据包的比特数等信息。OLT 于是在需要传输的业务类型、需要传输的比特数、用户购买的服务、当今业务情况等的基础上,决定出给 ONU 发送带宽许可信号,ONU 得到带宽许可信号后发送数据包。

一个好的 DBA 策略必需具体考虑到所提供的业务。为保证 QoS,所有的实时业务都需要对带宽需求能快速响应,以使数据包延时变化和抖动在规定的范围内;为了在多 ONU 之间实现公平性,带宽请求区别出业务类型;此外,更专业化的 DBA 有多个优先级、每个 ONU 中包含多队列,使每个 ONU 接受对实时业务和非实时业务应用的区别对待。DBA 也必须加强对每个单独带宽许可中保证带宽(最小带宽)和附加带宽(最大带宽)的限制。在保证带宽分配好后,DBA 应该把剩下的带宽公

平分配。最后, DBA 算法的处理时间应尽量短, 以减少延时, 满足实时业务的需求。

有分析表明^[19], EPON 中, OLT 即使使用最简单的严格按优先级的 DBA, 提供的业务 QoS 都要比带宽静态分配要好。

2.2.2.2 超额订购和 QoS^[19]

PON 业务采用 DBA 可以通过两种方式来实现超额订购。第一种方式只有超过许可速率的业务超额订购, 于是所有用户的最大速率之和大于 PON 的容量。但有保证服务质量的业务速率之和仍然小于网络的容量。第二种方式, 有保证服务质量的业务也超额订购。根据对各种业务的长期观测, 得出网络长周期内的平均利用率低于 30%~40%, 因此有保证服务质量的业务超额订购, 可以取得更高的效率, 同时仍能满足用户的 SLA 和 QoS。DBA 使业务提供商有能力为供应商网络 and 用户决定适当的超额订购。采用 DBA 的 PON 也允许服务提供者对同一个 ONU 提供不同质量的业务流, 这使企业可以在紧急数据流如网络备份和非急需的用户之间合理地分配带宽。

例如, 在普通情况下, 大多数带宽都分配给低优先级业务, 可以给办公室用户提供上网服务。当公司开始数据库备份或一个用户正在进行交易, 带宽就分配给任务紧急的网络备份或用户交易。DBA 还可以使用户端能迅速接受新业务接入, 如果用户签订的高质量的业务如视频会议出现时, 系统自动为此类业务优先提供带宽。

2.3 与 DBA 实现有关的协议

EPON 中 OLT 与 ONU 中的具体分层^[22]如图 2.4 所示。EPON 在标准 IEEE802.3 的 MAC 层上可以增加一些功能, 如请求信号的产生与处理、测距功能、会聚层功能等, 有些层是可以选择的, 如在某些情况下可以不要会聚层。带宽请求、许可信号的产生与处理都在 MAC 的上层。带宽管理在高层, 方便使用不同的带宽分配算法, 带宽分配算法也容易更换、升级。

OLT 获取带宽信息有两种方式。一种方式为 OLT 监测 ONU 的空闲状态, 从而判断许可信号的使用情况, 根据判断结果调整许可信号。另外一种方式为 ONU 可以把它需要的带宽信息传输给 OLT, OLT 根据这些信息调整带宽分配, 以满足实时业务的需求。把以上两种方式结合起来也可以。

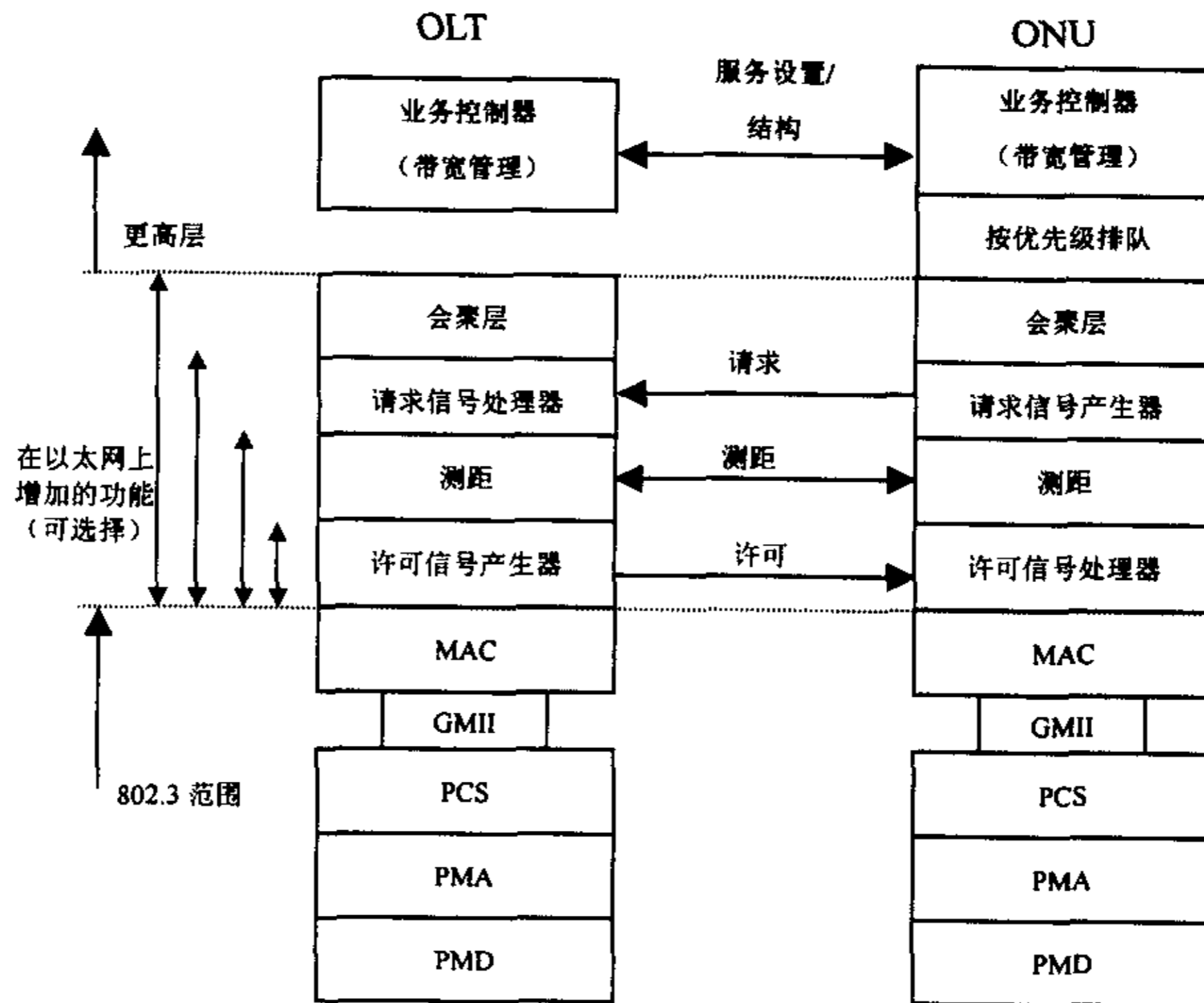
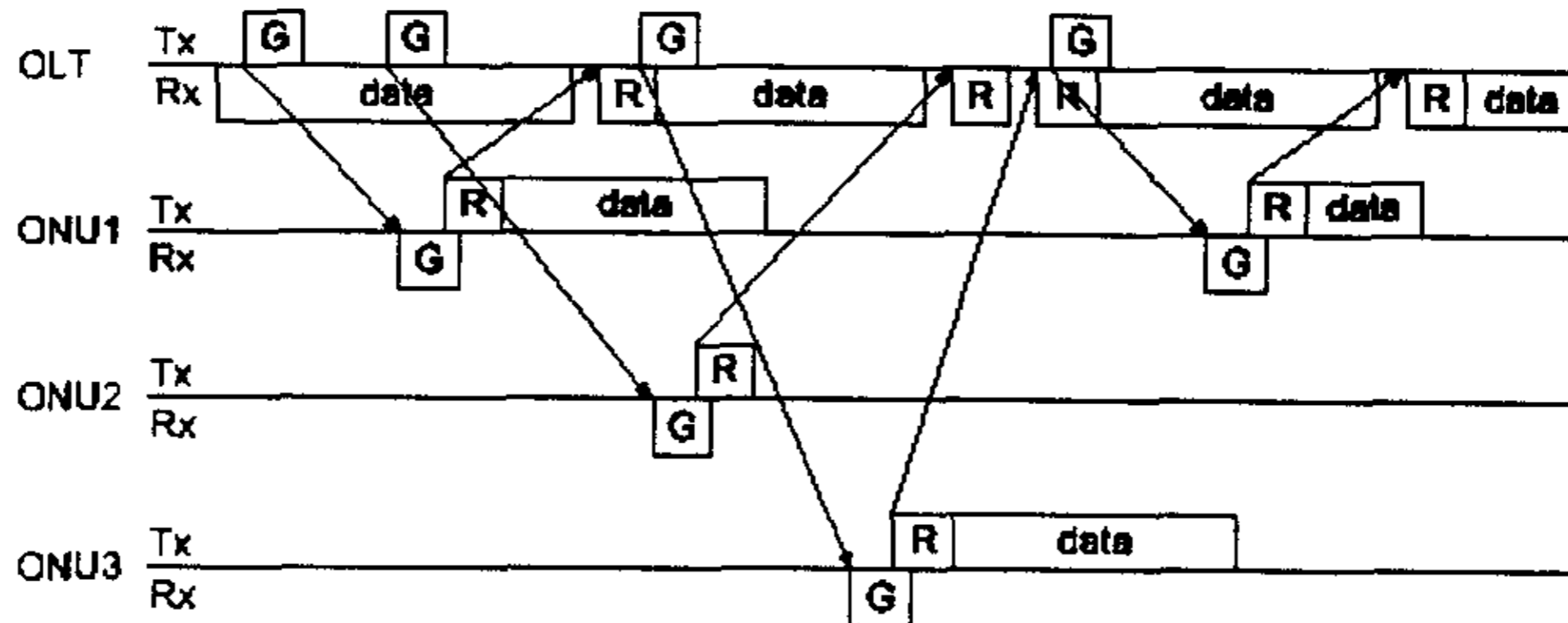


图 2.4 OLT 与 ONU 中的分层与对应关系

带宽请求、许可信号在 OLT 和 ONU 中的大致工作过程如图 2.5 所示。OLT 对所有 ONU 的请求信号进行处理后，在特定时隙给相应的 ONU 发出许可信号，ONU 得到许可信号后立即传送业务数据到 OLT。通过 ONT 对 ONU 的适当的时隙安排，多个 ONU 实现了 TDMA，高效地共用了上行信道。



R: 请求信号 G: 许可信号 data: 用户数据

图 2.5 带宽请求、许可信号的工作过程示意图

图 2.6 为 EPON 的上行信号帧结构示意图^[7]，上行业务流包含多个帧，每一帧又分成特定 ONU 时隙。每个上行帧占用 2ms 的连续时间段，帧头标志每个上行帧的开始。

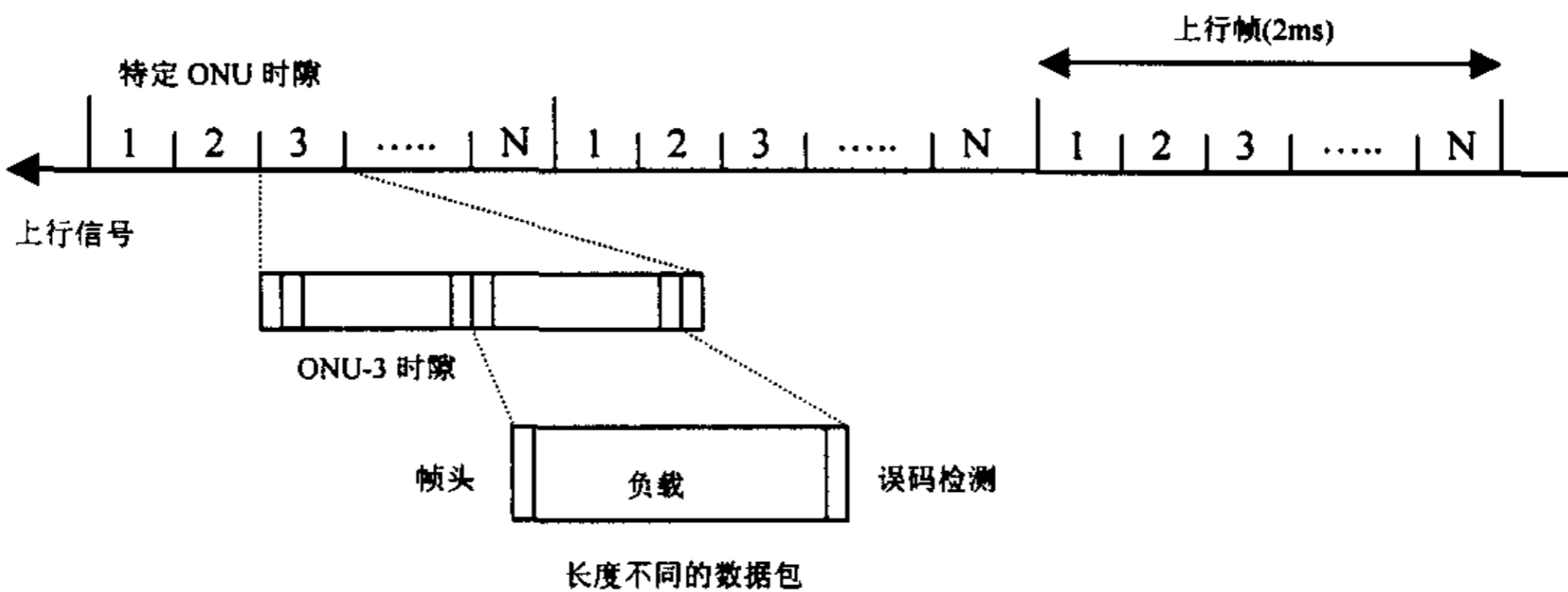


图 2.6 EPON 上行信号帧结构示意图

特定 ONU 时隙用来传输来自特定 ONU 的不同长度的数据包，如图所示。时隙 (slot) 为一个 ONU 允许传输数据的时间段，时隙应该在 ONU 传输数据之前分配给 ONU，时隙有大有小。ONU 的 TDM 控制器用 OLT 中的定时信息来控制上行信号流中特定时隙里不同长度数据包的定时。图 2.6 中详细画出了一个特定 ONU 时隙，它包括两个包长不定的包和一些时隙前导码。时隙前导码包括保护带、定时指示和信号功率指示。当 ONU 中没有信号时，时隙填充随机信号。

2.3.1 静态时隙分配与动态时隙分配

分配时隙有两种方法：静态时隙分配与动态时隙分配。静态时隙分配中 ONU 不向 OLT 报告 ONU 状态，OLT 为每个 ONU 分配时隙可以有两种方式，一种为 ONU 一次接收一个固定大小的时隙许可，另外一种为 ONU 一段时间内接收多个固定大小的时隙许可，后一种方式更适合抖动/时延敏感的 TDM 业务；动态时隙分配支持动态带宽分配，OLT 根据 ONU 状态动态地安排 ONU 的时隙大小，每个 ONU 周期性地接收 OLT 发送给它的时隙许可，ONU 可以把它的带宽需求通过带宽请求信号送到 OLT 中。

2.3.2 流量容器 (T-CONT)

流量容器传输业务流/连接，在 PON 传输会聚层上管理上行带宽分配，主要用来提高 PON 的带宽利用率^[8]。

下面是有关流量容器带宽的一些术语，如图 2.7：

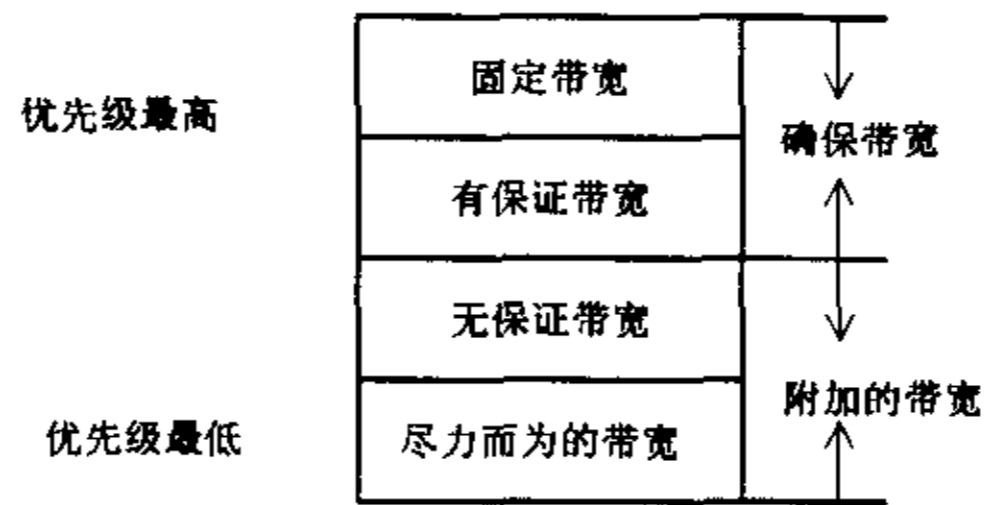


图 2.7 有关流量容器带宽的术语

- 固定带宽：保留带宽，不管是否有带宽需要，都周期性地分配此带宽。
- 有保证带宽：与固定带宽类似，但是没有带宽需要时可能不分配带宽。
- 无保证带宽：可以提供带宽，但不能保证一定的带宽。
- 尽力而为的带宽：只有在上行带宽中有剩余带宽时，才能分配到带宽。
- 最大带宽：可以分配到 T-CONT 中最大的带宽。

表 2.2 为 T-CONT 类型和带宽术语之间的对应关系。

表 2.2 T-CONT 类型和带宽术语之间的关系

带宽类型	延时是否敏感	可使用的 T-CONT 类型				
		1 类	2 类	3 类	4 类	5 类
固定	是	*				*
有保证	不		*	*		*
无保证	不			*		*
尽力而为	不				*	*
最大	不			*	*	*

DBA 的响应时间包括带宽分配时间和 ONU 稳定的时间。为实现 DBA 的公平性，多余的带宽应该根据流量容器的参数，平均地分配到所有相关的流量容器中。

2.3.3 带宽请求/许可帧的设计

动态带宽的带宽请求/许可的实现，关键在于带宽许可帧^[24]的设计。带宽许可帧在一定时间内控制上行信号的接入，如哪个 ONU 传输，占多长时间；ONU 传输哪种类型的包，初始化注册包、测距包还是数据包。带宽许可帧的目的地址为多播地址，源地址为 OLT 的 MAC 地址，操作码细节数据段的格式如图 2.8 所示。64 比

特指定许可带宽开始和结束时间(各用 32 比特), 接下来是特定 ONU 许可信号(ONU Specific Grand), 每个 OSG 有 4 个字节。这 4 字节中用 16 个比特来指明是哪个 ONU; 2 比特用来指明是对何种帧的许可, 定义如下:

- 00: 初始化注册帧
- 01: 带宽请求帧
- 10: 测距帧
- 11: 数据帧

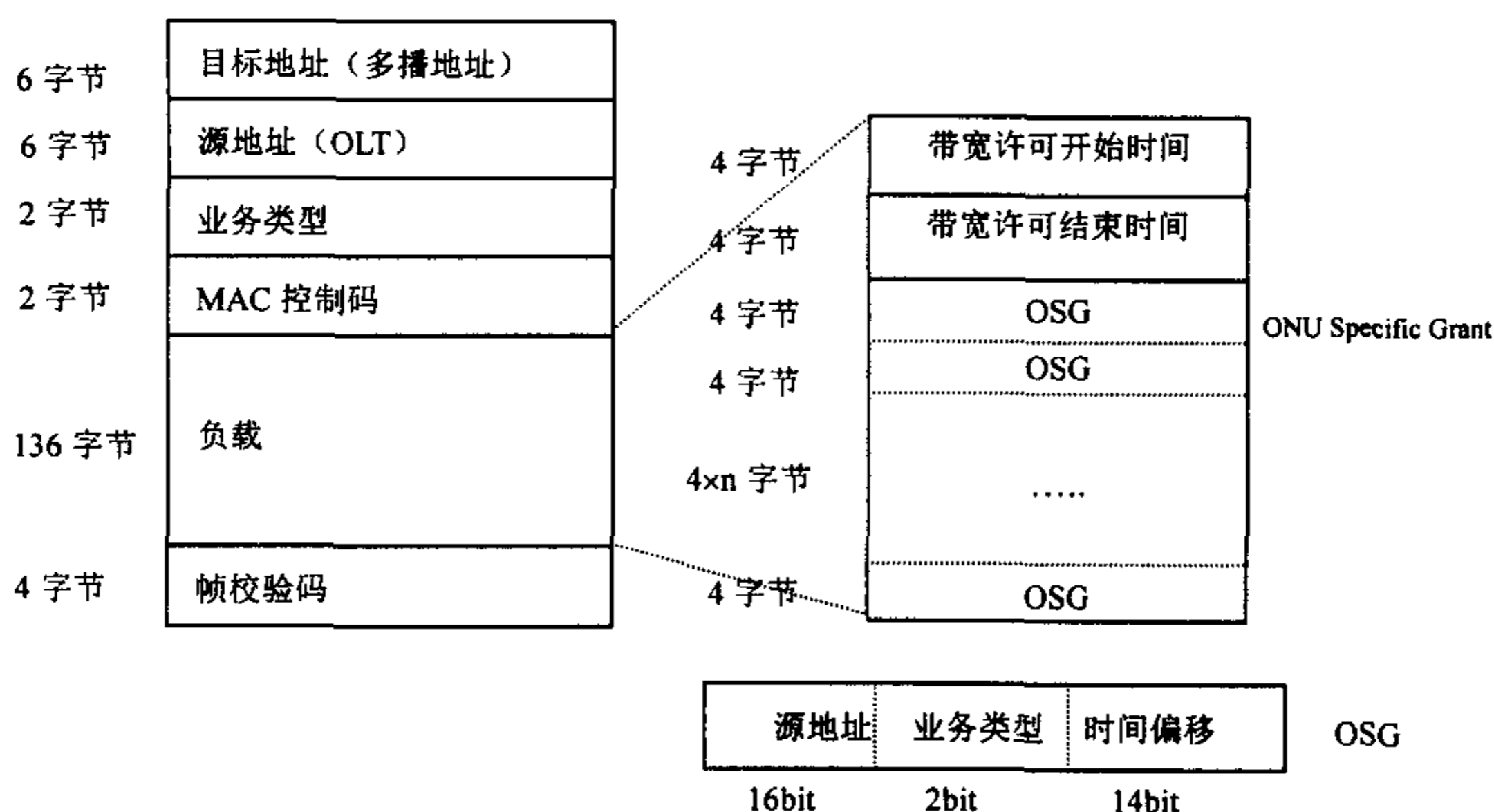


图 2.8 带宽许可帧及操作码细节段结构

最后 14 个比特指明时间偏移。很明显一个 ONU 的活动期是两个 OSG 的时间偏移之差。如果带宽允许帧的操作码细节数据也限制在 44 字节, 那么只能有 9 个特定 ONU 允许 ($44\text{byte} = 32\text{bit} + 32\text{bit} + 32 \times 9\text{bit}$)。在 ONU 数目大于 32 且业务不同的情况该段至少要扩展至 136 字节。

带宽许可帧可以包含不同长度的时间段, 在一个许可帧内提供对多个 ONU 的带宽许可。这样定义的带宽许可帧的优点:

- 可以减少统计复用中突发带宽分配的延时和协议开销的突发;
- 可以得到更低的延时和更高的带宽利用率;
- 可以区别对待不同的业务, 如语音业务和数据业务;
- 可以方便提供不同业务和 ONU 的优先级;

- 在同样的信息中可以传输初始化注册和测距信息；
- 在带宽管理中有高度的灵活性。

带宽请求帧中应包含业务类型、带宽需求等信息，如图 2.9 所示。带宽请求帧的帧长应该为 64K 字节，帧结构如图所示，6 字节源地址、6 字节目的地址、2 字节说明 MAC 控制码和长度不超过 44 字节的负载。OLT 收到请求帧后将按照业务类型、优先级（业务类型和优先级的定义由上层完成）和带宽需求大小来安排时隙。优先级高的实时业务将先安排时隙。

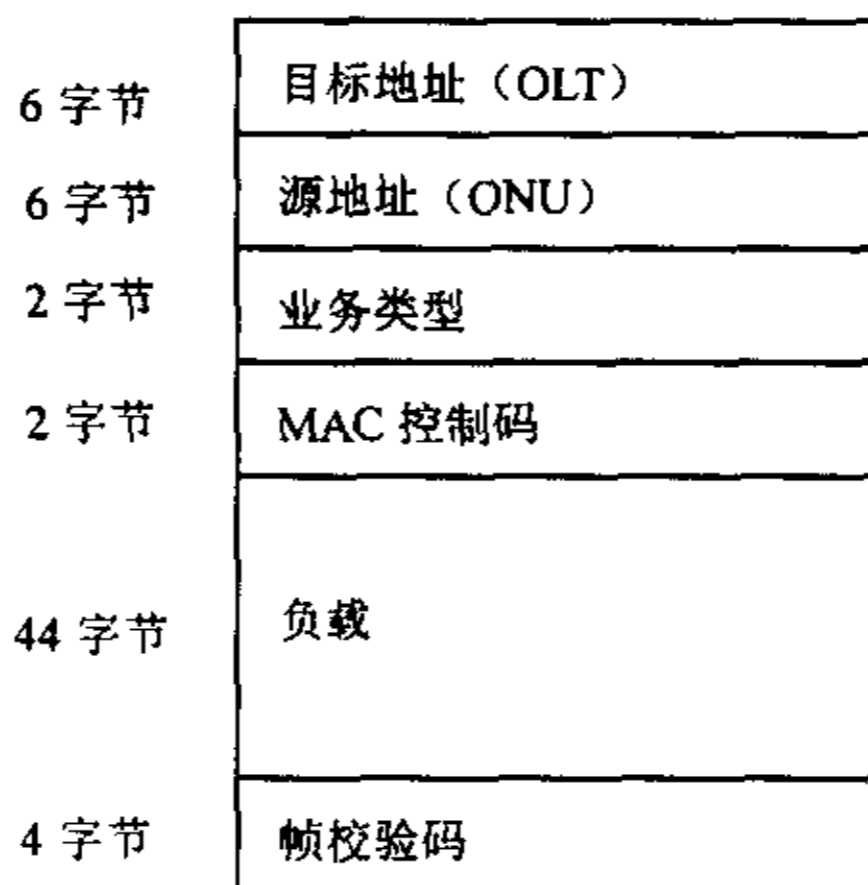


图 2.9 带宽请求帧结构

以上对带宽请求、许可帧定义很好地为系统的上行带宽动态分配的实现提供了支持。

3 带宽分配算法

3.1 最小分配算法

3.1.1 带宽请求帧负载的具体定义

动态带宽分配算法中，OLT 在分配带宽之前，必须知道各 ONU 此时的上行带宽需求情况。上行带宽请求帧用来传各 ONU 中的业务信息给 OLT。

对带宽请求帧的负载没有统一定义，在最小分配算法中，我们可以对带宽请求帧的负载具体定义如图 3.1。负载的第一字节前 3 比特代表 ONU 中的业务类型，这样共可以表示 8 种类型的业务。后 5 比特表示此 ONU 中这种业务的连接数，限制一个 ONU 中一种业务的连接数最大值不超过 32。我们这里规定每隔 0.2ms ONU 发送一次带宽请求信息。

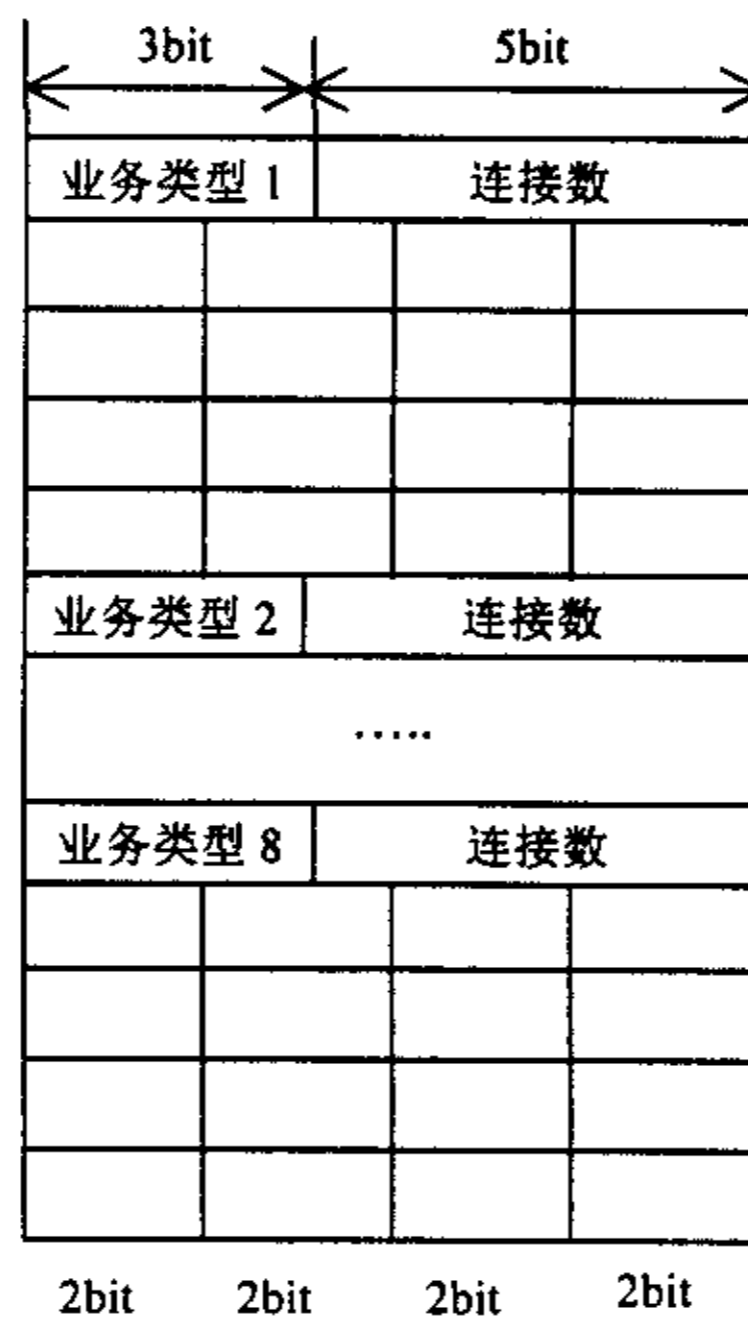


图 3.1 带宽请求帧负载结构

为了使系统不至于太复杂,取微时隙长度为 $3.072\mu\text{s}$,此时隙长度可以传输 6 个 64 字节的数据包。4 个微时隙可以传输一个 1518 字节的数据包。OLT 考虑给 ONU 如何分配 0.2ms,即如何分配这 64 个微时隙,使得时隙利用率最高。

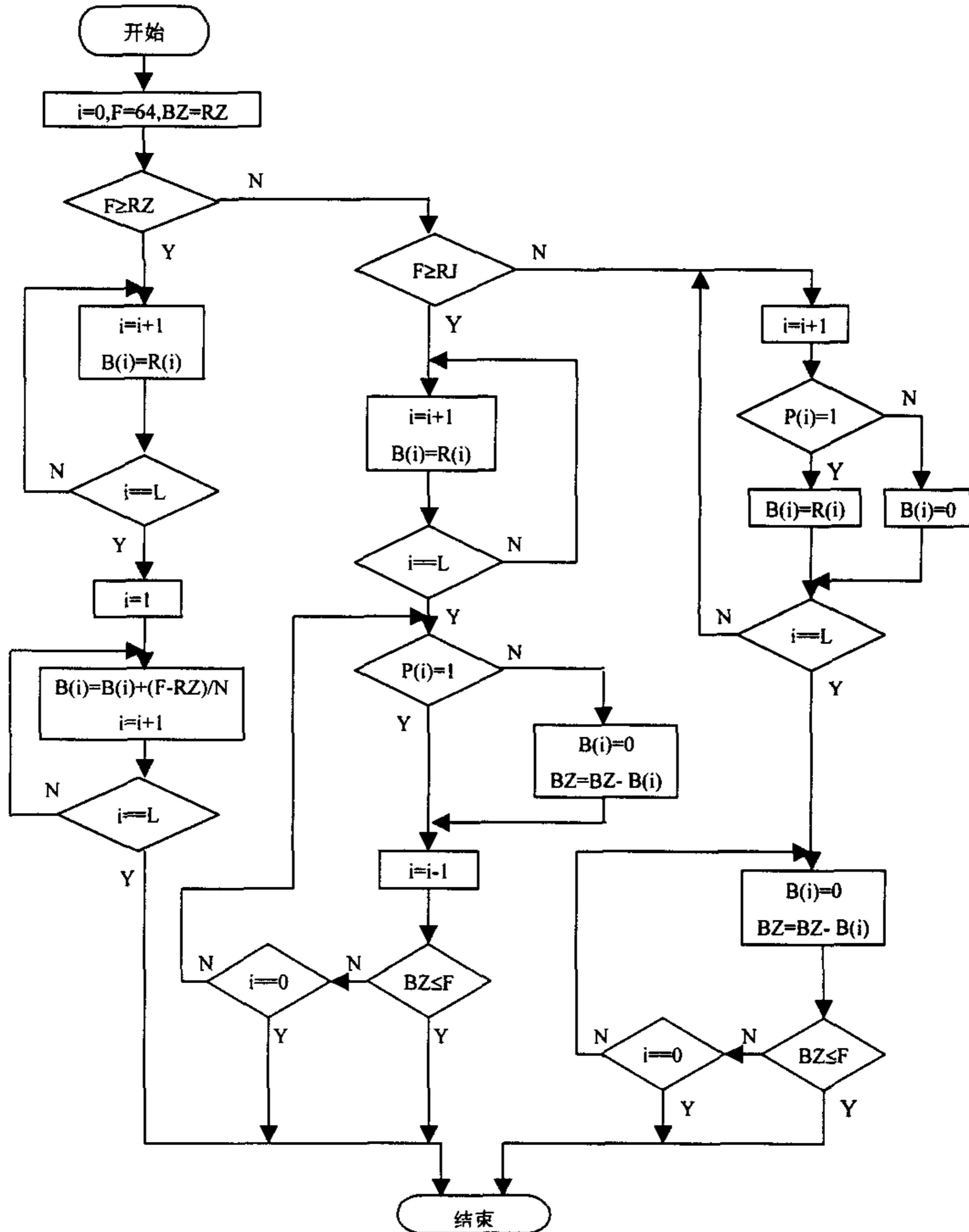
ONU 把此时缓冲区的业务数据信息写入带宽请求帧。以太网数据包长度为 64~1518 字节,根据微时隙的长度,可以把各业务类型的数据包长度分为 4 个等级,即用两比特表示各个数据包的长度。为了使带宽请求帧负载不超过 44 字节,每种业务类型下的数据包长度信息部分占用 4 字节。

3.1.2 带宽请求帧中申请数据的处理

根据 3.1 节对 EPON 带宽请求帧的具体定义,上行带宽请求帧中含有业务优先级、业务连接数和数据包个数和长度信息,由这些信息可以得到实时业务信息(紧急申请)和总业务信息(总申请)。OLT 将得到的 ONU 信息分成紧急申请数据和总申请数据两部分存入一临时存储区,并将临时存储区中的数据作为带宽分配的依据,每个数据申请同样的带宽。OLT 在对带宽进行分配前,首先计算此时所有 ONU 总申请的带宽总和 R_z 和紧急申请的带宽总和 R_j 。

3.1.3 分配算法

最小分配法分配算法如下:OLT 在分配带宽时,首先上行信道时隙 F 与 R_z 进行比较,若 $F \geq R_z$,则按需分配时隙,给每个带宽请求分配相同大小的时隙,如还有剩余,则把剩余时隙平均分配给每个 ONU;若 $F < R_z$,则再比较 F 与 R_j ,若 $F \geq R_j$,则先给每个带宽请求按需分配时隙。因为 $F < R_z$,所以实际不可能按需分配,我们把这种假设的分配称作虚分配。虚分配之后,在保证紧急申请的前提下从本组(最近上传了状态信息的那组)的最后一个 ONU 按模 N 倒序循环从各 ONU 中一个个地扣除非紧急申请的时隙,直到分下去的带宽与可用的带宽相等。若连紧急申请都不能满足,则只有先按紧急申请虚分配,接下来与前面方法一样处理,只是不保证紧急申请。虚分配时,从本组最后一个 ONU 开始扣,是因为该 ONU 的申请信息最新,新增上行缓冲数据包数目最少的概率最小,而按这种轮流扣除法它被多扣时隙的可能性也最大,这是合理的。最小分配算法流程图如图 3.2 所示。



N:工作的 ONU 个数 L:总业务连接数
P(i):是否实时业务标志 F:上行信道带宽

图 3.2 最小分配方法流程图

3.2 最少业务量损失算法

最小带宽分配方案的缺点是，它仅区分实时业务和非实时业务两种业务，不能够满足多种业务类型的需求。为保证多种业务的服务质量，改进网络性能，可以采取以下一些措施：将业务区分多种优先级；不同优先级的业务采用不同的控制机制；不同业务处理的顺序根据时延优先级确定，高时延优先级的业务优先处理，同种优先级的处理顺序遵守 FIFO 规则，根据 ONU 中各种业务的业务量大小分配对应的带宽。

最少业务量损失算法通过分级允许控制为各优先级业务分配相应的带宽，当有一新的连接要求时，它通过计算损失业务目标函数 Q 来调整带宽分配。其原理为：在以太网中，当发生业务量溢出时，可以用虚数据包丢失率(VPLP)来估计数据包丢失率，在最少业务量损失算法中采用 VPLP 作为评价性能的指标，通过带宽分配算法，使得 OLT 分配给各 ONU 的带宽使系统的 VPLP 的函数值达到最小，即此时分配给各 ONU 的带宽使得虚数据包丢失最少。最少业务量损失算法的主要优点是，能使系统的 VPLP 和 Q 函数值达到最小，并及时为每个要求建立连接请求有效而公平地分配带宽，而且在多优先级业务的环境下，可提供高的吞吐量。

3.2.1 带宽请求帧负载的具体定义

在最少业务量损失分配算法中，我们可以对带宽请求帧的负载具体定义如图 3.3。负载的第一字节前 3 比特代表 ONU 中的业务类型，这样共可以表示 8 种类型的业务。后 5 比特表示此 ONU 中这种业务的连接数，限制一个 ONU 中一种业务的连接数最大值不超过 32。后一字节代表此种业务数据包在 ONU 缓冲区的长度，ONU 把此时缓冲区的业务数据长度信息写入带宽请求帧。

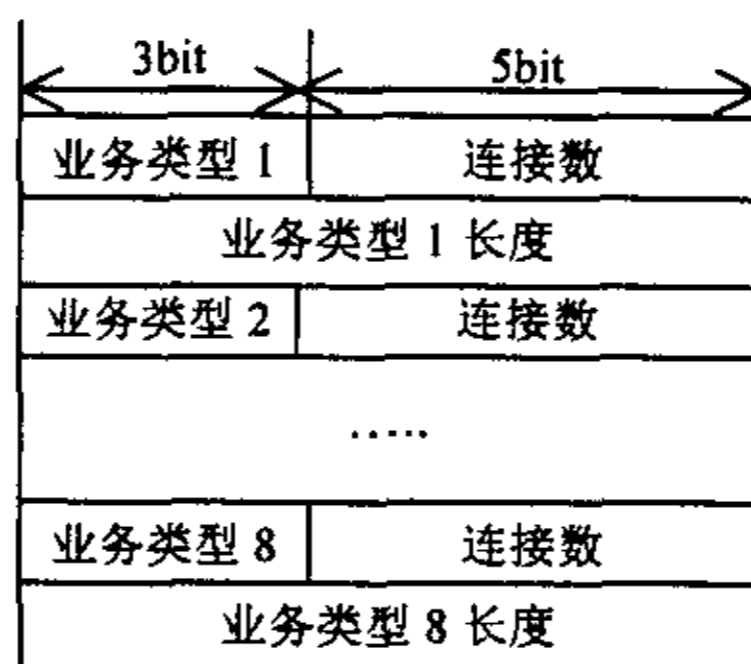


图 3.3 带宽请求帧负载结构

3.2.2 业务模型

设每个连接突发活动期的业务模型满足伯努利过程^[23]，业务类型 i 的峰值比特速率为 λ_i bit/s，业务平均突发活动期为 $\frac{1}{\alpha_i} s$ ，业务平均沉寂期为 $\frac{1}{\beta_i} s$ ，业务类型 i 的业务密度为 r_i ， $i=1, 2, \dots, M$ ， M 为优先级种数。 r_i 定义为：

$$r_i = \frac{\frac{1}{\alpha_i}}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\beta_i}} = \frac{\beta_i}{\alpha_i + \beta_i} \quad (3.1)$$

它的物理意义是业务类型 i 的业务平均突发活动期长度。为计算简单起见，假设某种优先级的业务需要建立 L 个连接，每个连接的业务量满足高斯分布。

3.2.3 接入控制机制

在 EPON 中，OLT 根据当前接入网的性能、该业务类型所要求的网络性能和请求连接的业务所提供的性能要求，采用接入控制算法来决定是否接受新的连接要求。接入控制算法优点是能有效地利用网络资源、提供简单的带宽分配控制机制。按照式(3.1)所提出的单个业务模型而建立的多优先级业务访问控制和带宽分配机制^[36]如图 3.4 所示。

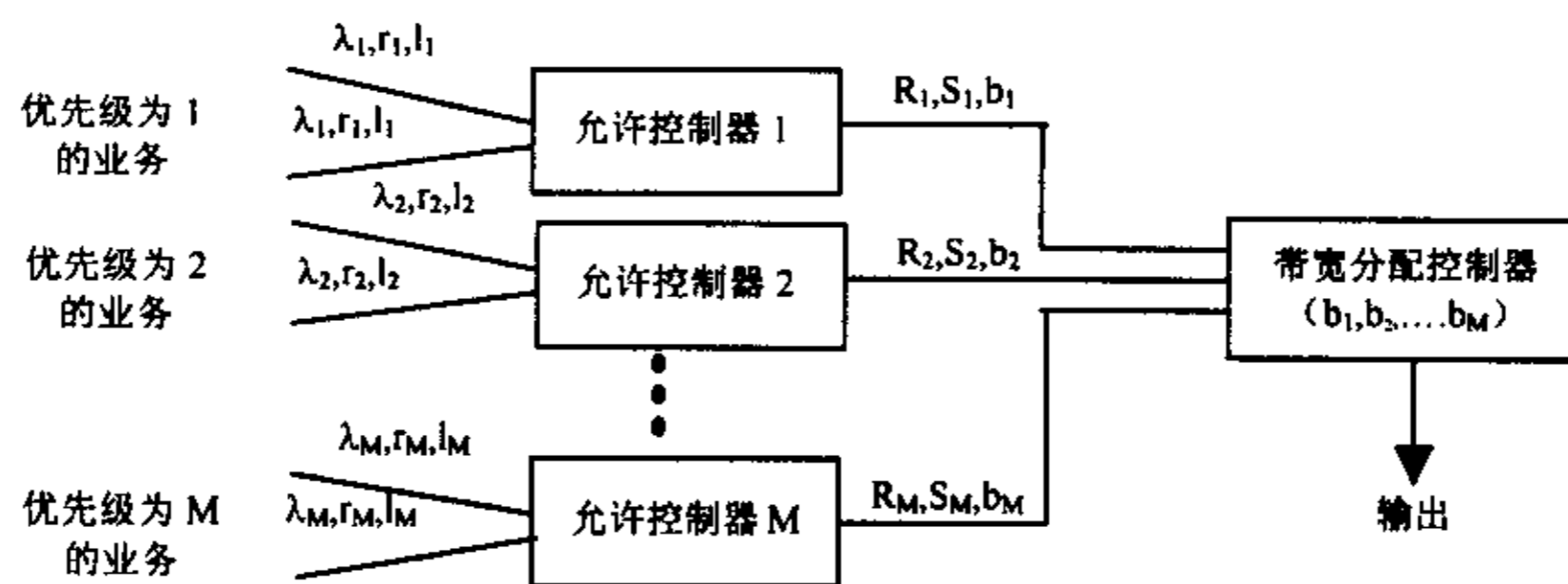


图 3.4 多优先级业务的访问控制和带宽分配机制

由于我们采用的性能指标是 VPLP，因此，设各优先级的业务模型逻辑上都不含队列，而且同一优先级的业务具有相同的峰值比特速率、业务密度和平均包长。并设 λ_i 为业务类型 i 的单个连接的峰值包速率； r_i 为业务类型 i 的单个连接的业务密度； L_i 为业务类型 i 的连接数； l_i 为业务类型 i 的平均包长；业务类型 i 的峰值比特

速率为 R_i , $R_i = L_i \lambda_i$; 业务类型 i 的平均比特到达率为 S_i , $S_i = R_i r_i$; b_i 是带宽分配

控制器为业务类型 i 所分配的带宽, $\sum_{i=1}^M b_i \leq C$ 。

EPON 上行信道包含多种(设有 M 种)优先级的业务, 在 OLT 中相应地有 M 种允许控制器, 它们连接着同一个带宽分配控制器。带宽分配控制器从每个允许控制器中获得已建立连接的各个优先级业务的业务密度 r_i , 峰值比特速率 R_i 。当有一个新的连接请求时, 带宽分配控制器即刻计算应分配的带宽, 根据应分配的带宽计算出有可能丢失的数据包多少后决定是否接受请求。带宽分配算法是基于各优先级业务的动态参数的, 且每个允许控制器获得带宽分配的机会是公平的。各个允许控制器互相独立, 其允许控制算法的指标是各优先级业务的虚数据包丢失率。

3.2.4 虚数据包丢失率分析

优先级为 i 的业务的 VPLP 定义为 $R_{VPLP}(i)$, EPON 信道的总容量被分成若干个虚链路容量 b_i , $R_{VPLP}(i)$ 是当优先级为 i 的业务的瞬时总业务量超过所分配给它的带宽 b_i 从而引起数据包丢弃时引入的, 它定义为过载业务量的数学期望值 X_i 与平均业务量 S_i 的比值,

$$R_{VPLP}(i) = \frac{X_i}{S_i} \quad (3.2)$$

其中,

$$X_i = \sum_{n_i}^{L_i} \frac{p_i(n_i)(R_i - b_i)}{l_i} \quad (3.3)$$

$$R_i = n_i \times \lambda_i \quad (3.4)$$

其中, $n_i \in \{R_i - b_i \geq 0\}$; $p_i(n_i)$ 是指在 L_i 个连接中有 n_i 个连接是激活的概率, 即

$$p_i(n_i) = C_{L_i}^{n_i} (r_i)^{n_i} (1 - r_i)^{L_i - n_i} \quad (3.5)$$

平均虚数据包丢失率 R_{VPLP} 指系统总的平均虚数据包丢失率, 定义为

$$R_{VPLP} = \frac{X}{Y} \quad (3.6)$$

其中,

$$X = \sum_{i=1}^M \sum_{n_i}^{L_i} \frac{p_i(n_i)(R_i - b_i)}{l_i} \quad (3.7)$$

$$Y = \sum_{i=1}^M S_i \quad (3.8)$$

3.2.5 优化损失业务目标函数 Q

式(3.7)为损失业务量函数，在分级允许控制机制中，通过它能计算出所有优先级业务的链接中平均过载业务占所分配带宽的比例为：

$$Q = \sum_{i=1}^M \sum_{n_i}^{n_i=L_i} p_i(n_i) \left| \frac{\sigma_i R_i - b_i}{b_i l_i} \right| \quad (3.9)$$

Q 即为最少业务量损失算法定义的损失业务目标函数，对 Q 进行优化后，将使因带宽分配不足($b_i < R_i$)而导致的 VPLP 达到最小值。其中， σ_i 为加权因子， $m_i/R_i < \sigma_i < 1$ ； m_i 为所需最小带宽。引入加权因子的原因是，在多优先级业务环境中，带宽要求高的业务占用的带宽多，带宽要求低的业务占用的带宽少。为避免带宽要求高的业务占用过多带宽，而引起带宽要求低的业务难以接入系统的情况，可调节 σ_i ，从而调节各优先级业务所占用的带宽，减少带宽要求高的业务占用的带宽。带宽分配控制器所要解决的问题就是对损失业务目标函数 Q 进行优化，即

$$\min Q = \sum_{i=1}^M \sum_{n_i}^{n_i=L_i} p_i(n_i) \left| \frac{\sigma_i R_i - b_i}{b_i l_i} \right| \quad (3.10)$$

$$\sum_{i=1}^M b_i \leq C \quad (3.11)$$

$$m_i \leq b_i \leq L_i \lambda_i \quad (3.12)$$

其中，(3.11)和(3.12)是约束条件。优化后所要达到的目标是虚数据包丢失率满足要求，即

$$R_{VPLP}(i) < R_{VPLP,max}(i) \quad (3.13)$$

其中， $R_{VPLP,max}(i)$ 是优先级为 i 的业务的最大虚数据包丢失率。

3.2.6 目标函数分析

对目标函数 Q 求二阶偏导, 得

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial b_i^2} = \frac{\partial^2 \left| \sum_{i=1}^M \sum_{n_i=1}^{n_i=L_i} p_i(n_i) \frac{\sigma_i R_i - b_i}{b_i l_i} \right|}{\partial b_i^2} = \sum_{n_i=1}^{n_i=L_i} p_i(n_i) \left| \frac{2\sigma_i R_i}{b_i^3 l_i} \right| \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial b_i \partial b_j} = 0 \quad (3.3.15)$$

显然, $\sum_{n_i=1}^{n_i=L_i} p_i(n_i) \left| \frac{2\sigma_i R_i}{b_i^3 l_i} \right| > 0$ 。

若一函数存在二阶偏导数, 且对每一变量的二阶偏导数均为正数, 则此函数为严格凸函数。从式(3.14)和(3.15)可知, Q 函数为严格凸函数, 所以 Q 函数存在极小值。约束条件(3.11)表明, 优化不会引起 ONU 链接的业务量溢出, 链路容量总是大于等于它所承载的业务量总和。约束条件(3.13)表明, 当进行优化时 $R_{VPLP}(i)$ 不大于 $R_{VPLP,max}(i)$, $R_{VPLP,max}(i)$ 是预先给定的。

3.2.7 允许控制和带宽重分配

3.2.7.1 宽带分配算法

当有新的优先级为 i 的业务请求接入时, 如果分配控制器有足够的带宽, 并且满足已分配带宽的业务的性能要求(基于 VPLP), 则允许控制器接受新的接入请求。它通过对 Q 进行优化, 使它达到最小值, 从而确定分配的带宽 $\{b_i\}$, 即

$$\min Q = \sum_{i=1}^M \sum_{n_i=1}^{n_i=L_i} p_i(n_i) \left| \frac{\sigma_i R_i - b_i}{b_i l_i} \right| \quad (3.16)$$

$$\sum_{i=1}^M b_i \leq C \quad (3.17)$$

$$m_i \leq b_i \leq L_i \lambda_i \quad (3.18)$$

在多优先级业务条件下, 如果系统在满足性能的前提下给低带宽业务分配相对多一点带宽, 可以防止高带宽业务占用所有的带宽。高带宽业务占用带宽大, 减少

少量带宽时,同样可以获得高吞吐率。据此,损失业务目标函数 Q 中引入权重系数 σ_i 。可以证明, σ_i 值增加,带宽分配值 b_i 不会减少。

3.2.7.2 最小带宽容量

设优先级为 i 的业务其连接数为 L_i , 峰值速率为 R_i , 平均速率为 S_i , 则每个信号周期为 $T = \frac{1}{R_i}$, 信号产生的密度为 $\alpha = S_i \times T = \frac{S_i}{R_i}$ 。给定密度 α 下的平均信息量为

$h = \alpha(1 - \lg \alpha)$, 则相应的最小带宽需求为

$$m_i = R_i \times h = S_i \left\| 1 - \lg \frac{S_i}{R_i} \right\| \quad (3.19)$$

3.2.7.3 允许控制和带宽重分配算法

设有 M 个优先级的业务,假定优先级为 i 的业务的性能参数 $R_{VPLP, \max}(i)$ 已给定, $\{b\}$ 为分配给每个优先级业务的带宽集合, $\{\sigma\}$ 为加权因子集, 且

$$\sigma_i = \frac{b_i}{R_i} \quad (3.3.20)$$

当有新的接入请求时,带宽分配控制器将采用下述算法对 $\{b\}$ 进行计算,其约束条件为(3.11)和(3.12)。允许控制过程如下:

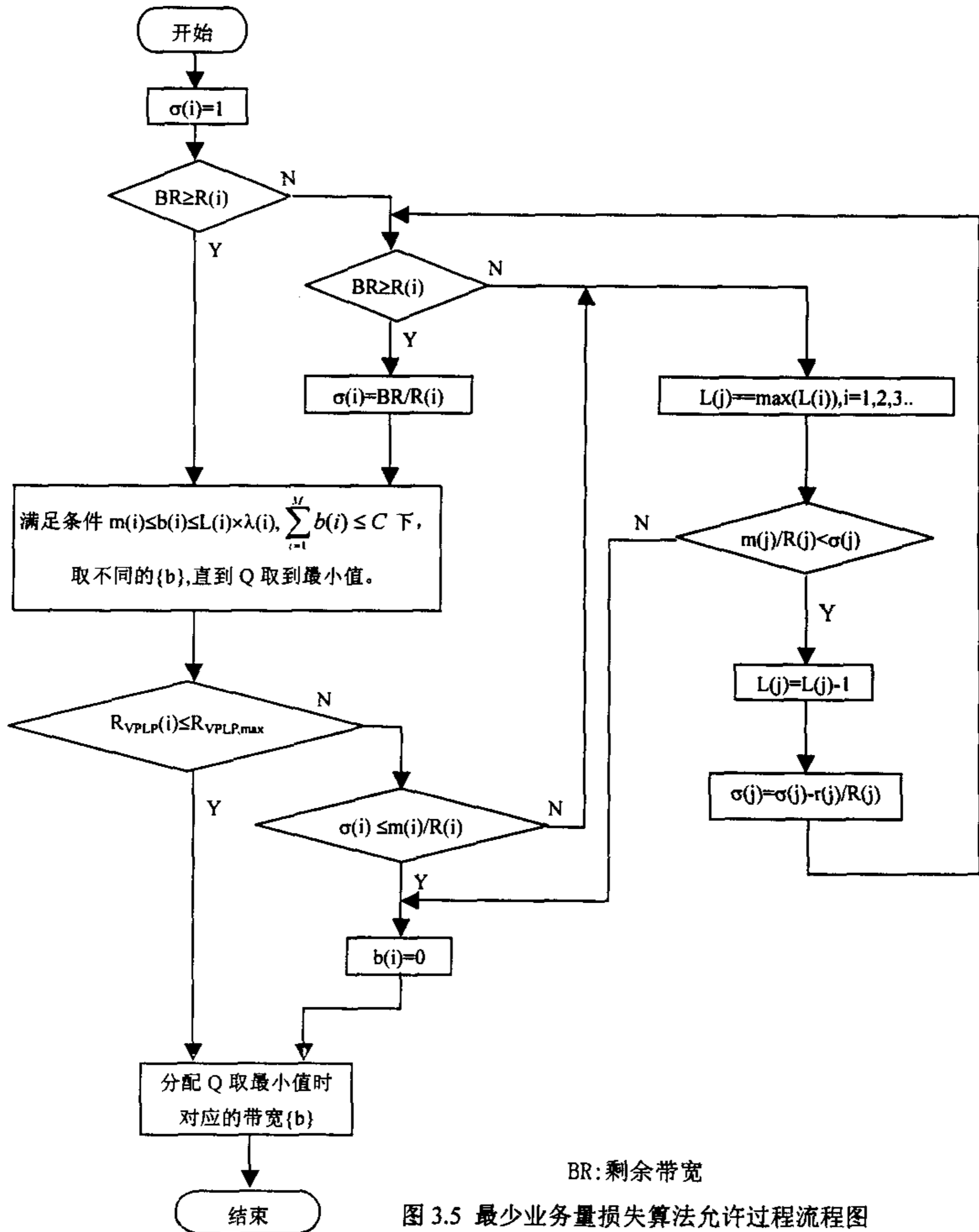
- (1) 设定 σ_i 的初值为 $\sigma_i=1$ 。
- (2) 判断剩余带宽是否满足接入请求,若 $b_{\text{剩余}} \geq R_i$, 则 $\sigma_i=1$, 转(4); 若 $m_i \leq b_{\text{剩余}} < R_i$, 则 $\sigma_i = b_{\text{剩余}}/R_i$, 转(4); 若不满足, 则转(3)。
- (3) 找出链接数量大的业务 j , 若 $m_j/R_j < \sigma_j$, 则将其链接数减1, 此时, $\sigma_j' = \sigma_j - \frac{r_j}{R_j}$,

$$\frac{m_j}{R_j} \leq \sigma_j \leq 1, \text{ 转(2)}。$$

- (4) 采用新的 $\{b\}$ 值, 由式(10)计算 Q , 并根据 M 个优先级业务所有可能的 $\{b\}$ 值计算相应的 Q , 直至找出最小的 Q 值。判断此时 $R_{VPLP}(i)$ 是否满足要求, 如不满足, 转(3)继续计算, 直至满足要求为止; 若 $\sigma_i = m_i/R_i$ 时, $R_{VPLP}(i)$ 仍不能满足要求, 则拒绝此接入请求。

此算法简单可行, 可基于单个的接入请求进行计算, 从而有效利用带宽。由于

进行优化后 Q 能使 VPLP 达到最小, 并及时为每个带宽请求有效而公平地分配带宽, 并且在多优先级业务的环境下, 可提供高的吞吐量, 系统性能也能达到最佳。最少业务量损失算法允许过程流程图如图 3.5 所示。



根据上面的算法计算出给每种业务分配的最佳带宽大小后，每次具体分配时隙时，根据上行带宽请求帧中每种业务的数据包长度信息，计算每个 ONU 中各类业务占同类业务的百分比，根据计算结果给各 ONU 分配相应大小的时隙。

3.3 两种动态带宽分配方案的分析

评价 EPON 带宽分配方案性能的主要指标有数据包平均接入时延、数据包时延变化、发端缓冲队列最大长度和带宽使用效率^[34]。数据包接入时延(PTD)是指从数据包到达 ONU 到数据包被送出 OLT 所经历的时间。根据 ITU-T 的 G.982 建议，接入网中数据包接入时延应小于 1.5ms，这个值主要针对语音业务。数据包时延变化(PDV)是指数据包接入时延与参考数据包接入时延之差。带宽使用效率是实际使用的上行时隙长度总和与上行可用时隙长度的统计百分比。下面对几种带宽分配方案的性能进行具体分析。

最小分配方案，在申请的带宽不能满足时，最小分配方案采用“先虚分配，再扣除”的方法使较长队列的 ONU 有更多的上行发送机会，从而抑制较长队列不断加长；最少业务量损失方案从系统整体考虑，给接入的所有业务带宽进行重新调整，使业务损失目标函数值最小，并根据 ONU 缓冲区中不同种业务数据包比特数大小分配对应比例的带宽，使得较长队列的 ONU 有更多的上行发送机会，抑制了长队列的不断积累变长，在系统剩余带宽不能满足新的业务接入请求时，拒绝此业务接入，保证已连接业务的服务质量；平均分配方案给每个 ONU 同等的上行发送机会，较长队列没有受到抑制，这样较长队列就有可能在局部范围内不断积累增长，因此可以推出平均分配方案的 ONU 上发缓冲队列的最大长度比最小分配和最少业务量损失方案的要大，与此对应，平均分配方案的数据包平均接入时延比最小分配和最少业务量损失分配方案的都要大。

由于 ONU 中业务数据包的到达速率是不恒定的，所以在每个时隙分配时期各 ONU 中的上行缓冲队列中的数据包队列长度是不一样的，有的可能很长，有的可能一个缓冲数据包都没有。而平均分配方案都是分配同样的带宽，可见，平均分配方案会造成带宽浪费。而最小分配方案只在时隙分配有余后才有可能出现多余时隙的部分浪费，这些浪费显然小于平均分配方案造成的带宽浪费，所以最小分配方案上行带宽使用效率会比平均分配方案的高。最少业务量损失方案从系统整体上考虑，给每种业务提供一个最佳的带宽分配，保证每种业务的服务质量，它为了确保

业务数据包的丢失率不小于某一数值而分配多一些的带宽来保证,也就是牺牲部分带宽来换取服务质量,所以上行带宽使用效率比最小分配稍微低一些;ONU 上行缓冲队列中没有数据包时,OLT 不会给此 ONU 分配时隙,所以上行带宽效率比平均分配的要高。上行带宽利用率高,必然使得平均接入时延小,由此又一次可以推出平均分配方案的平均接入时延比两种动态带宽分配要大。

对 Q 和带宽利用率的分析表明^[11],带宽利用率随着 Q 值的增大而减小。最少业务量损失方案中,调整带宽在各类业务中的分配,就是为了 Q 值取得最小值,从而带宽利用率取得最大值。

3.4 动态带宽分配方案的改进

最小带宽分配方案和最少业务量损失方案的缺点是,它们虽然已区分业务优先级,但由于采用的缓冲区容量相等,使得那些对丢失敏感的业务缓冲区还不够充分,而对丢失不敏感的业务还有缓冲区的浪费。

改进的多业务带宽分配方案采用以下机制:为提高系统的利用率,改进网络性能,将业务进一步区分数据包丢失优先级^[31],缓冲器的容量根据数据包丢失优先级确定,高数据包丢失优先级的业务采用大缓冲区,而低数据包丢失优先级业务采用小缓冲区。

根据损失业务目标函数 Q 确定出最优带宽值 b_1, b_2, \dots, b_M 后,可根据与带宽的线性关系分配缓冲区,即

$$\frac{w_i}{b_i} = C \quad (4.6.1)$$

上式中 $i=1 \sim M$, w_i 为各优先级业务的缓冲区容量; C 为常数比例因子。

对带宽分配方案的改进增加了对不同数据丢失优先级业务采用变化的缓冲区容量的功能,当缓冲容量充分大时,变化的缓冲容量并不影响时延性能,所以改进方案在业务量没有过载的情况下,这种方案的性能与最少业务量损失方案完全相同。由于对不同的数据包丢失优先级采用不同的缓冲容量,可以进一步减少系统的数据包丢失率,提高网络带宽资源的利用率。

最小分配方案粗略地考虑了数据包大小的影响,最少业务损失方案虽然考虑了不同业务的平均包长,但是分配时隙时仍然没有精确考虑即将传送的数据包的长度。为了进一步利用上行时隙,最理想的情况是给 ONU 分配的时隙大小应该与数据包的长度一致,使每个上行时隙中不再有空余时间段。

3.5 小结

平均分配方案是最为简单的静态带宽分配方案，在业务量不大、各个 ONU 的平均业务量相差不大时，采用平均分配方案非常经济实用，也就是说这种情况下可以不采用动态带宽分配。

最小分配方案算法稍微有点复杂，它只区分实时业务和非实时业务，在 ONU 中有多种业务类型时，不能满足各种业务类型的要求，不能保证各种类型业务的服务质量；在负载量大，不能满足 QoS 时，也不拒绝新的业务接入请求，仍然尽力提供服务。最小分配方案在系统负载比较大，用户对业务的服务质量没有严格要求时非常适合。在实时业务比较多时，非实时业务可能得不到发送时隙，这样使得 ONU 缓冲队列可能非常长，可能导致系统发生故障。

最少业务量损失方案算法最为复杂，而且增加了控制器的个数和硬件的复杂性。这种算法对各种类型业务进行分类考虑，在带宽不够时，拒绝业务接入请求，因而可以满足各种业务需求，并保证业务要求的服务质量，使业务数据包丢失率最小。此算法适合于在系统业务负载大、业务种类多，又要求提供有保证的服务质量时选用。这种方法由于可以保证业务都能够享有足够的带宽，系统稳定、可靠。

EPON 选用哪一种带宽分配算法，取决于业务特性和用户的需求与算法的复杂度，如果算法过于复杂，以致系统的计算时间达到微时隙量级时，就要考虑这种算法的有效性了。

综上所述，应该根据系统具体情况和需要，选用一种简单而有效的动态带宽分配方案；或者系统中同时有几种动态带宽分配方案，在工作过程中根据 ONU 中的业务量大小动态选择一种方案，在满足要求的情况下尽量选择算法简单的方案。

4 以太网媒体转换器的研制

接入网连接主干网与局域网，局域网再与用户终端直接连接。进入 90 年代后，局域网技术迅速发展，以 IEEE802.3 10BASE-T 为标准的 10Mbps 的局域网采用了星型分布的非屏蔽双绞线介质组网方式^[41]，把用户节点接入以太网集线器，从而完善了信息资源共享，这一灵活方便的组网方式已为人们普遍接受，在校园网，企业网及其他一些专用网络中得到了广泛应用。近两年来，光纤在局域网骨干网中的应用已经大大增加，人们已经普遍认为光纤将最终取代铜线而成为 LAN 的介质选择，甚至到达桌面。但在目前，LAN 中绝大部分都是使用非屏蔽双绞线，在若干年的时间内，混合介质网络结构将非常普遍，因此媒体转换技术就成了配置经济、可靠网络的核心。而且，采用双绞线介质能够传输的距离有限，而采用光纤不加放大器就可以传输几公里，可以大大扩展局域网的直径，在拓展以太网径及解决 LAN 设备之间不同的接口互相匹配问题时，需要进行双绞线/光纤媒体转换。

4.1 以太网媒体转换器的原理和设计

以太网媒体转换器的工作原理框图如图 4.1 所示^[42]。网上的信号通过标准 RJ45 接头、非屏蔽双绞线进入双绞线/光纤媒体转换器后，经过一个脉冲隔离变压器。发送信号线对上传输从其中一个网段上送出的信号，接收信号对上传输从另一个网段上传来的信号。经过收发控制电路后，送到光驱动电路，驱动光源，另一个网段上通过光纤传来的信号经过 PIN/FET 光接收组件，变换成电信号后送到收发控制电路，经收发控制处理电路处理后，送到隔离变压器，耦合过去的信号送到双绞线上，这样就完成了一次通信过程。媒体转换器中由双绞线到光纤与光纤到双绞线的转换是相互独立的，理想的转换器是完全透明的，也不改变数据速率。

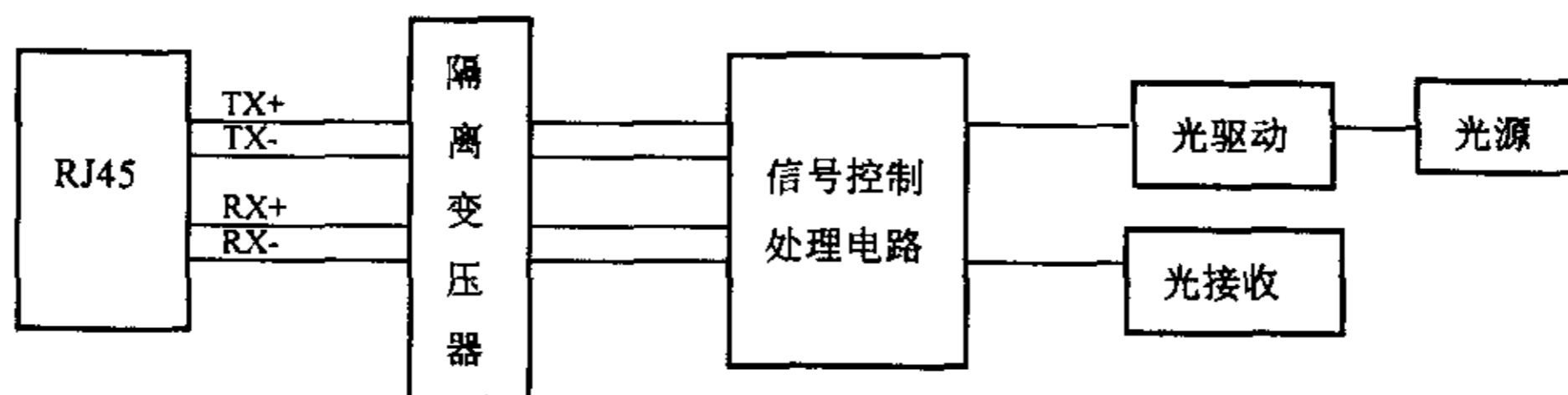


图 4.1 以太网媒体转换器的工作原理框图

我们设计中信号控制处理电路具体采用一块 Micro Linear 公司 ML4669 主芯片

与外围电路来完成，ML4669 与以太网 IEEE 802.3 10BASE-T 标准兼容，能全双工工作，提供给光源的驱动电流最大可达到 100mA。以太网媒体转换器的电路图如图 4.2 所示。

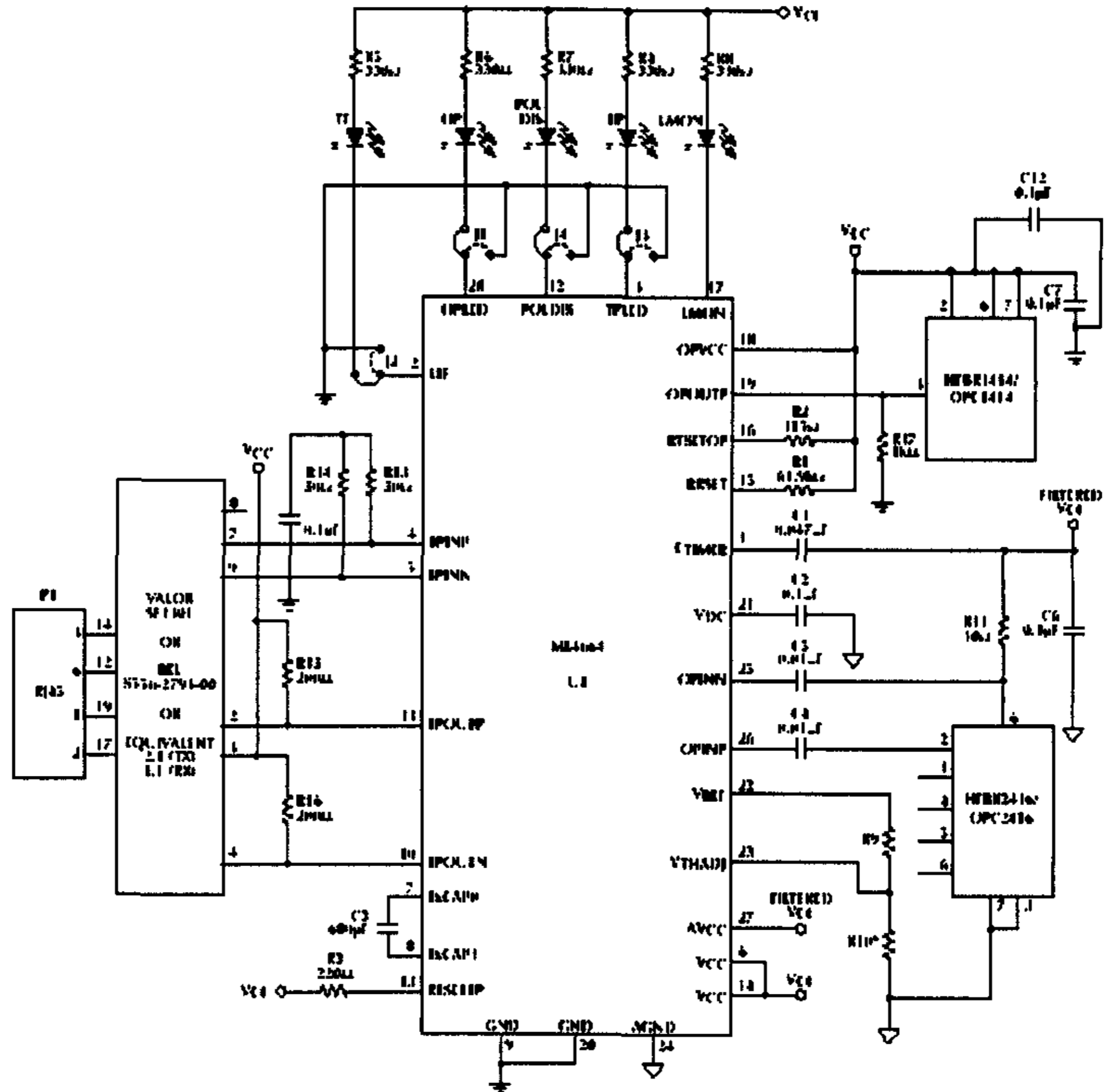


图 4.2 以太网媒体转换器的电路图

4.2 以太网媒体转换器在 ONU 中的应用

在上行方向上，由于 PON 的 ODN 实际上是共享传输媒质，需要适当的接入控制才能保证各个 ONU 的上行信号完整地到达 OLT。这时，可采用的技术主要有波分复用 WDM、时分多址 TDMA 和码分多址 CDMA，其中 WDM 和 TDMA 应用较多。

TDMA 方式具有 N 个 ONU 只需要一个 OLT 转发器和极少的波长等优点, EPON 一般都采用 TDMA 方式。EPON 的动态带宽分配是对上行接入采用 TDMA 方式时, 为了使多个 ONU 更好地共享信道而采用的方法。TDMA 方式相对 WDMA 方式来说优点有: 节约光器件的个数, 从而降低成本, 但上行信道需要采用突发式的光发射机和接收机。根据调查, NEC 公司于今年 3 月开发出工作速率为 1.25Gbps 的突发式光发射模块, 并可以提供产品, 但与此工作速率匹配的光接收模块还没有研制出来。工作速率为 622Mbps 的突发式光发射和接收模块都已经研制出来, 而 155Mbps 的突发式光发射和接收模块早已经商用。所以, 现在 EPON 上行信道带宽只能为 155Mbps 或 622Mbps, 这样就会造成上下行信道的不对称。如果采用 32 分支的 PON, 平均每个用户分得的带宽只有约 4Mbps~20Mbps, 这极大地限制了用户的某些应用。前面提供的动态带宽分配方案针对这个问题, 给出了较好的解决方案。

随着 DWDM 技术的不断成熟和技术的进步, 光器件价格不断下降。华中科技大学光电系光纤实验室提出了一系列低成本的 DWDM 器件解决方案, 克服了 WDMA 接入方式高成本的缺点。采用 WDMA 方式, 每个 ONU 对应一个波长, 避免或简化了不少采用 TMDA 方式时的技术难点, 如上行成帧技术、突发信号的快速同步、动态带宽分配等。可以预料, WDMA 方式将逐渐具有与 TDMA 方式竞争的能力。

我们研制的采用 SOA 为光源的以太网媒体转换器为以太网接口, 具有稳定的波长, 且波长是可调谐的, 可以直接运用于上行接入为 WDMA 方式的 ONU 中。

一般的以太网媒体转换器都使用 LED 作为光源, 采用 LED 既节约成本又能满足一般要求, 传输距离一般只有几公里。采用 WDMA 方式对 ONU 光源的波长稳定度, 谱宽等都有一定的要求, LED 不能满足这些要求。要满足这样的要求, 比较普遍的方法为: 采用多量子阱 DFB 激光器, 并加上波长控制。这种方法具有技术成熟、稳定可靠等诸多优点, 但是这种方法不能实现波长的大范围的调节, 对激光器要求也较高。为了满足 EPON 中 ONU 的应用要求, 并能灵活改变波长, 我们创造性地采用 SOA 作为光源。用 SOA 作为光源对器件的要求比较低, 使用普通的 SOA 和一个窄带滤波器就可以很好地满足对波长的稳定度及谱宽的要求。

基于 SOA 的光源的工作原理为: SOA 两端连接起来构成环行腔后, 当驱动 SOA 的电流超过阈值电流时就会产生受激发射, 产生激光。我们实验中采用了一个窄带滤波器、一个耦合器与 SOA 构成一环行腔。如图 4.3 所示。耦合器的分光比不同, 输出的激光强度就不同, 经过实验验证, 用 1:9 的耦合器能产生最大的输出光功率。

我们对波长的控制是采用一可调的窄带滤波器实现，由于选用的窄带滤波器是无源器件，性能稳定，能很好地满足波长控制的要求。可以看出，此装置不但可以自由选择波长，而且波长稳定性好。

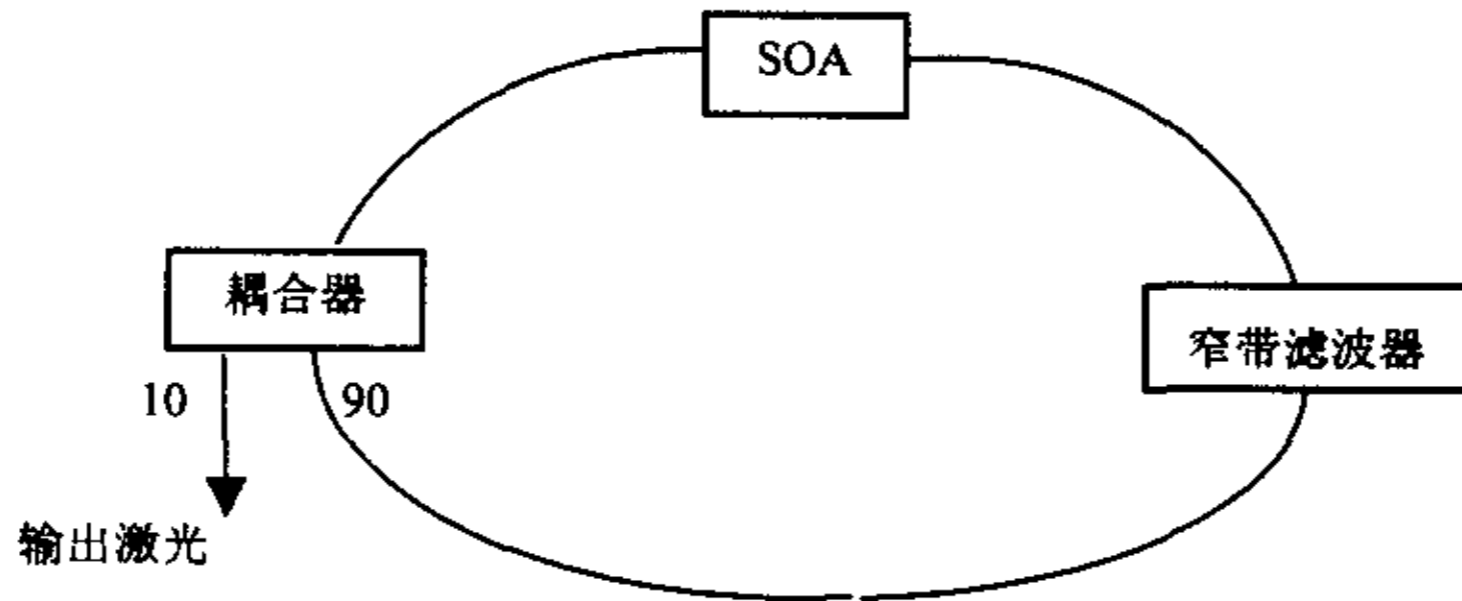


图 4.3 SOA 与窄带滤波器、耦合器构成环行腔激光器

SOA 驱动电流的要求与一般的通信用激光器驱动电路不同，其驱动电流比激光器驱动电流大。应用中又要求调制波形的上升、下降时间短，故对其驱动电路的要求比较高。另一方面，SOA 工作电流大，非常容易发热，如不加温控电路，可能会由于 SOA 温度的升高使 SOA 损坏，所以一定要加温控电路。SOA 的工作电流对 SOA 的发光特性影响非常大，要选用高稳定度的电源，以及采用精密电流控制电路使其工作稳定可靠。

4.3 实验内容及结果

我们试验中使用两个以太网媒体转换器、一台计算机、两个 HUB。实际连接如图 4.4 所示，计算机的网卡接口(RJ45)通过一根非屏蔽双绞线与 HUB 相连，HUB 与媒体转换器之间也用一根双绞线相连，媒体转换器的发射光通过光纤传输到另外一个媒体转换器的接收端，同样用光纤连接另外一路反向传输的光信号，然后再用双绞线连接媒体转换器和 HUB，从而连入 Internet。

调节图 4.3 中的窄带滤波器，使能通过滤波器的光波长在 SOA 的增益谱范围内，然后调节光纤通路上的衰减器，直到媒体转换器上的 5 个指示灯都显示正常，这表示整个系统基本连通，此时计算机一般都能够上网正常工作，系统稳定工作后，测出上网速率的峰值及平均值。此时衰减器的衰减为 32dB，可以推算出光信号通过光纤至少可以传输 20 公里远。

进一步把媒体转换器的输出波长调到 1554.13nm 处，此时用频谱分析仪可以测

出图 4.3 输出激光处-20dB 谱宽为 0.3nm, 输出光功率为-8.31dB。还可以调节滤波器的中心波长, 使得媒体转换器的中心波长分别为 1550.92nm、1552.52nm、1555.75nm、1557.36nm, 并调节好对应的滤波器, 系统正常工作后, 同样可以与前面所观测到的峰值速率和平均速率进行比较。并可以看出信号传输速率与前面基本相同。这证明我们的设计是完全可行的, 并且可以实用。

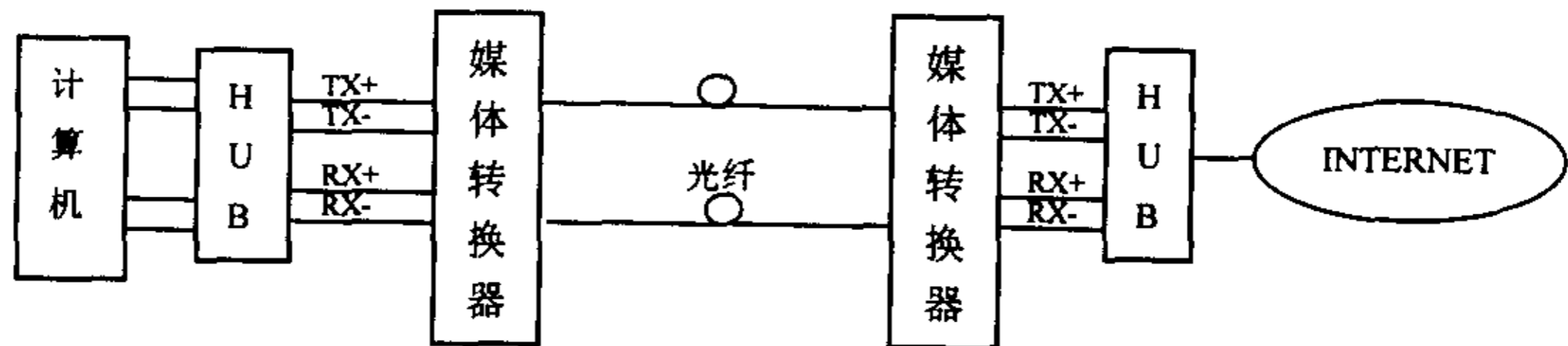


图 4.4 媒体转换器的应用实例

4.4 结论

采用我们研制的以太网媒体转换器不仅可以大大扩展局域网的直径, 解决 LAN 设备之间不同的接口互相匹配问题, 还可以直接运用于 WDMA 方式的 EPON 的 ONU 中, 把以太网信号转换成光信号。如果信号控制处理电路采用台湾 DAVICOM 公司的以太网媒体转换芯片 DM9301, 加少量的外围电路, 就可以组成工作速率为 100Mbps 的以太网媒体转换器, 把 100Mbps 的以太网电信号转换为 100Mbps 的光信号。如果以太网媒体转换器采用具有稳定波长的低成本光源, 可以直接运用到采用 WDMA 方式的 EPON 的 ONU 中, 为每个 ONU 提供 100Mbps 的带宽。

5 总结与展望

在信息时代,人类对信息的需求迅猛增长。在主干网上,DWDM的飞速发展使得一条光纤上的通信容量就可以达到几百甚至几千 Gbit/s。在局域网内,10Mbit/s、100Mbit/s、1Gbit/s 的以太网已经得到广泛运用。限制用户享有高带宽的是连接两者的接入网这个带宽瓶颈。EPON 是解决这个带宽瓶颈的一个非常有前途的接入网技术。由于 EPON 上行信道是多用户共享,一般采用 TDMA 方式共享上行信道,为了采用 TDMA 方式的 EPON 给用户更好地提供各种业务,保证各种业务的 QoS,并充分利用上行带宽资源,动态带宽分配是必不可少的。本课题对 EPON 的动态带宽分配进行了研究,对两种带宽分配算法进行了详细介绍和分析。最后,还研制了以太网媒体转换器,它可以运用于局域网或上行采用 WDMA 方式的 EPON 的 ONU 中。总结全文,本课题研究成果如下:

(1) 首先论述了接入网的应用、发展状况和前景,然后说明了接入网的基本结构、组成和各部分所完成的功能,EPON 的优势和 EPON 与已有的 APON 的区别及 EPON 各组成部分的功能,分析了 EPON 的关键技术,如动态带宽分配、上行实现技术等;阐述了 PON 动态带宽分配的研究现状、研究成果及研究空白。

(2) 讨论了 EPON 工作原理;EPON 相关协议,特别是支持动态带宽分配的协议、规范,如静态时隙分配、动态时隙分配、流量容器和带宽请求、许可帧结构。

(3) 在 APON 的动态带宽分配算法基础上,提出了 EPON 的两种动态带宽分配算法:最小分配算法、最少业务量损失算法,并对这两种动态带宽分配算法进行了具体介绍和分析。两种 EPON 动态带宽分配算法与 APON 动态带宽分配算法不同的是,它考虑的数据包长度不是等长的,这更符合 EPON 系统的实际情况。

(4) 对以太网媒体转换器进行了研制,它可以大大扩展局域网的直径,并可以应用于采用 WDMA 方式的 ONU 中,作为发射模块。

随着接入网技术的不断发展,通信容量和服务质量的不断提高,人们将都能够方便地享受到更多的带宽。到时,语音、数据、视频业务在同一平台上高速传输,各种服务,如视频点播、视频会议、可视电话等业务到千家万户的实现将不再是梦想。

致 谢

三年难忘的学习生活即将结束，又将离别这个美丽的华工园，特别是即将离别华工光电系的老师和同学，心中不由感慨万千。

特别感谢黄德修教授、刘德明教授。导师黄德修教授严谨的治学态度，深厚的理论功底、诲人不倦的敬业精神，对学术发展方向的独到而深刻的理解、对我们的严格要求使我受益匪浅，深深影响着我对工作和学习的态度。刘德明教授广博的知识、敏捷而且富于创新的思维、忘我的工作热情令我深深敬佩，在我的课题研究中提出了不少宝贵的意见，使我的课题研究得以顺利进行。两位导师都在课题选取、课题研究和论文写作过程中对我进行了精心指导，提出不少宝贵的建议。在此，特别向黄老师和刘老师表示衷心的感谢。

特别感谢孙军强教授、元秀华教授、黄志坚博士、张新亮博士、余敦录老师、梅俊杰博士、陈俊博士、刘海博士、柯昌剑博士、张敏明博士在课题研究中给予的关心、支持和帮助。他们在我的课题研究当中，给予了我很多帮助，提出了不少好的建议和方法，并帮我解决了许多疑难问题。

深深感谢同教研室硕士研究生王惠、徐晓静、汪鹏、沈百林、何剑锋等同学在课题研究和论文写作中给我的热情帮助。特别感谢胡保民，在与他对很多问题的探讨中，使我受到不少启发。

感谢光电子工程系各位领导和老师多年的教诲和帮助，使我的学习和工作有了一个良好的环境。

非常感谢好友洪伟在我的学习和生活中给予的支持和关心。

深深感谢我的男友陈成，在入学考试、研究生学习期间、课题研究中给予的关心和帮助。

特别感谢我的母亲，在我的成长道路中无论是生活还是学习中给予的耐心、关怀和对我的谆谆教导。感谢我的家人对我的生活、学习等各方面的支持，使我能够顺利地完成学业。

谢满红

2002年5月

参考文献

- [1] 吴承治, 徐敏毅. 光接入网工程. 人民邮电出版社. 1999
- [2] ITU-T Recommendation G.982(1996). Optical access networks to support services up to the ISDN primary rate or equivalent bit rates
- [3] ITU-T Recommendation G.983.1(1998). High Speed Access Systems Based on Passive Optical Network[S]
- [4] Gerry Pesavento. Ethernet Passive Optical Networks (EPONs). IEEE 802.3 Ethernet in the First Mile Study Group - January, 2001 Presentation Materials
- [5] Glen Kramer. Multiple Access Techniques for ePON. IEEE 802.3 EFM Study Group March, 2001 Meeting Materials
- [6] Osamu Yoshihara. Flexible Grant/Request Method for EPON. IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force - October, 2001 Presentation Materials
- [7] Ethernet Passive Optical Networks. <http://www.iec.org>.
- [8] Ed Beili. EPON Protocol. IEEE 802.3 EFM Study Group March, 2001 Meeting Materials
- [9] Wenjia Wang. EPON Dynamic Bandwidth Allocation. IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force - October, 2001 Presentation Materials
- [10] 曾清海, 邱昆, 唐明光. 一种 APON 上行带宽分配方案. 通信学报, 2001,22(1):86-91
- [11] 何仕英, 范忠礼. APON 系统中一种具有多优先级业务的动态带宽分配算法. 南京邮电学院学报. 1999,19(2): 40-43
- [12] ZHOU Han, CHANG C H. A new dynamic bandwidth allocation scheme for ATM networks. GLOBECOM'95:410-416
- [13] SAITO H. Dynamic Resource Allocation in ATM Networks. IEEE Commun Mag, 1997.(35)5:146-153.
- [14] R.Bolla, F.Danovaro, F.Davoli, et al. An Integrated Dynamic Allocation Scheme for ATM Networks. GLOBECOM'93:1288-1297
- [15] Jongwook Jang, E.K.Park. Dynamic Resource Allocation for Quality of Service on a PON with Home Networks. IEEE Communications Magazine, 2000.

38(6):184-190

- [16] Zsehong Tsai, Wen-der wang, Jin-Fu Chang. A Dynamic Bandwidth Allocation Scheme for ATM Networks. GLOBECOM'93: 289-295.
- [17] Dolors Sala. PON Functional Requirements. IEEE 802.3 Ethernet in the First Mile Study Group - July, 2001
- [18] Glen Kramer. EPON TDMA in PHY. IEEE 802.3 Ethernet in the First Mile Study Group - July, 2001
- [19] Siddhartha Devadhar. Dynamic bandwidth allocation over passive optical networks. http://www.terawave.com/news/dynamic_bandwidth_allocation.htm
- [20] Glen Kramer. 3 Layer EPON Protocol Proposal. IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force - October, 2001 Presentation Materials
- [21] Onn Haran. Ethernet PON Protocol Suggestion. IEEE 802.3 Ethernet in the First Mile Study Group - July, 2001
- [22] Dolors Sala. A Flexible Architecture for EPON. IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force - October, 2001 Presentation Materials
- [23] AKIMARU H, OKUDA T, NAGAI K. A simplified performance evaluation for bursty multiclass traffic in ATM system. IEEE Trans on Comm, 1994. 42(5):455-460
- [24] Deepak Ayyagari. Access Control in Ethernet PON. IEEE 802.3 Ethernet in the First Mile Study Group - July, 2001
- [25] Ryan Hirth. An EPON System. IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force - October, 2001 Presentation Materials
- [26] Bob Gaglianella. An Efficient DBA Mechanism for EPON. IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force - November, 2001 Presentation Materials
- [27] Osamu Yoshihara. High Performance EPON. IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force - November, 2001 Presentation Materials
- [28] Vincent Bommel. MPCP and TDM. IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force - March, 2002 Presentation Materials
- [29] Mischa Schwartz. Broadband Integrated Networks. China : Prentice Hall PTR. 1996
- [30] Kris Venken, Rudy Hoebeke, Frank Ploumen. MAC Simulator for ATM-based

Shared-media Access Network.

http://venus.mcs.kent.edu/~peyravi/OPNET/Papers/23_Kris_Venken.pdf

- [31] 王志立, 陈雪, 叶培大. ATM-PON 带宽分配[J]. 北京邮电大学学报. 2002, 23(4): 25-29
- [32] Ariel Maislos. Voice Services over PON. IEEE 802.3 Ethernet in the First Mile Study Group - May, 2001 Presentation Materials
- [33] David G. Cunningham, William G.Lane. Gigabit Ethernet Networking. 清华大学出版社, 1999.
- [34] Glen Kramer. Ethernet PON (ePON): Design and Analysis of an Optical Access Network. http://wwwcsif.cs.ucdavis.edu/~kramer/papers/epon_pnc.pdf
- [35] 金鹤, 李仑, 齐立心. Internet 上保证服务质量的四种方式. 中国数据通信网络, 1999.(11): 41-44
- [36] J.Jang, S. Choi, E.K.Park. The Design of Resource Assignment Algorithm using Multiple Queues-FIFO over Residential Broadband Network. Proc. SPIE'99, (3843)162-172.
- [37] 王润生. 关于 IP 电话的若干问题的分析与探讨. 数据通信, 1999.(4):1-3,7
- [38] S.Q.Li, J.W.Mark. Traffic characterization for integrated services network. IEEE Trans. On comm, 1990. 38(8):1231-1243
- [39] Jimmy H.S.Chan, Danny H.K.Tsang. Comparison of Static&Dynamic Bandwidth Allocation Schemes for Multiple QoS Classes in ATM networks. Proceedings of IEEE ICCS'94. Singapore, November 1994:728-732
- [40] Glen Kramer, Biswanath Mukherjee. Design and Analysis of an Access Network based on PON Technology.
http://wwwcsif.cs.ucdavis.edu/~kramer/papers/epon_sws.pdf
- [41] 谢希仁编著. 计算机网络. 电子工业出版社. 1999
- [42] 陈爱平, 朱东明, 王欧健. 10GSX-II 型以太网光收发器的设计. 光纤与电缆及其应用技术, 1997(4):24-26

附录1（攻读硕士学位期间发表论文目录）

- [1] 谢满红, 胡保民, 刘德明, 黄德修. 采用 SOA 的以太网媒体转换器的设计与研制, 光通信研究, 2002 第 6 期 (已录用)

附录2 (本论文专业名词缩写)

- ADM: Add/Drop Multiplexer, 分插复用器
- ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line, 非对称数字用户环线
- AF: Adaption Function, 适配功能
- AN: Access Network, 接入网
- AON: Active Optical Network, 有源光网络
- APON: Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network, 异步传输模式无源光网络
- ATM: Asynchronous Transfer Mode, 异步传输模式
- BLSR: Bidirectional Line Switch Ring, 双向线路切换环
- CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, 带有冲突检测的载波侦听多路存取
- CDMA: Code Division Multiple Access, 码分多址
- CO: Central Office, 中心局
- DBA: Dynamic Bandwidth Allocation, 动态带宽分配
- DSL: Digital Subscriber Line, 数字用户环
- DWDM: Dense Wave Division Multiplexing, 密集波分复用
- DXC: 数字交叉连接
- EFM: Ethernet in the First Mile, 以太网第一公里
- EMS: Element Management System, 网元管理系统
- EPON: Ethernet Passive Optical Network, 以太网无源光网络
- FCAPS: Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security, 所有错误报警、配置、统计以及性能和安全
- FDM: Frequency Division Multiplexing, 频分复用
- FE: Fast Ethernet, 快速以太网
- FSAN: Full Service Access Network, 全业务接入网 (一个标准建议组织)
- FTTB: Fiber to the Building, 光纤到大楼
- FTTBusiness: Fiber to the Business, 光纤到商业用户
- FTTC: Fiber to the Curb, 光纤到路边

- FTTH: Fiber to the Home, 光纤到户
- FTTL: Fiber to the Loop, 光纤线路环
- GbE: Gigabit Ethernet, 千兆以太网
- GMII: Gigabit Medium Independent Interface, 千兆接口
- HDTV: High-definition television, 高清晰度电视
- IAD: Integrated Access Device, 集中接入设备
- IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers, 电器和电子工程师协会
- IP: Internet Protocol, 因特网协议
- ISDN: Integrated Services Digital Network, 综合业务数字网
- ITU-T: International Telecommunications Union-Telecommunications Standardization Sector, 国际电联电信标准化部门
- LAN: Local Area Network, 局域网
- MAC: Media Access Control, 媒体接入控制
- MAN: Metropolitan Area Network, 城域网
- OAM: Opration Administrater Mantaince, (网络) 运行、管理和维护
- OAN: Optical Access Network, 光接入网
- OC: Optical Carrier, 光载波
- ODN: Optical Distribution Network, 光配线网
- O-E-O: Optical-Electronic-Optical, 光-电-光转换
- OLT: Optical Line Termination, 光线路终端
- ONU: Optical Network Unit, 光网络单元
- ONT: Optical Network Termination, 光网络终端
- P2P: Point to Point, 点对点
- P2MP: Point to Multiple Point, 点对多点
- PCS: Physical Coding Sublayer, 物理编码子层
- PMA: Physical Media Attachment, 物理媒体接口
- PMD: Physical Medium Dependent, 物理媒体相关
- PON: Passive Optical Network, 无源光网络
- POTS: Plain Old Telephone Service, 传统电话业务
- PPV: pay-per-view, 按点播次数收费的一种业务
- QoS: Quality of Service, 服务质量
-

- Roll-Call: 点名 (一种轮询机制)
- RSVP: Resource ReSerVation Protocol, 资源预留协议
- RTP: Real-Time Transmission Protocol, 实时传输协议
- SDH: Synchronous Digital Hierarchy, 同步数字系列
- SDM: Space Division Multiplex, 空分复用
- SDTV: Standard Definition Television, 标准电视
- SLA: Service Level Agreement, 服务水平协议
- SNI: Service Node Interface, 业务节点接口
- SONET: Synchronous Optical NETwork, 同步光纤网
- TDM: Time Division Multiplexing, 时分复用
- TDMA: Time Division Multiplexing Access, 时分多址
- TOS: Type of Service, 业务种类
- UPSR: Unidirectional Path Switched Ring, 单向通路切换环
- UNI: User Network Interface, 用户网络接口
- VLAN: Virtual Local Area Network, 虚拟局域网
- VOD: Video-On-Demand, 视频点播
- VoIP: Voice over Internet Protocol, 在 IP 上的语音业务
- VPN: Virtual Private Network, 虚拟专网
- WAN: Wide Area Network, 广域网
- WDM: Wavelength Division Multiplexing, 波分复用
- WDMA: Wavelength Division Multiplexing Access, 波分多址
- xDSL: generic Digital Subscriber Line, 各种数字用户环