

基于光路交换的光因特网体系结构设计*

金明晔** 李乐民

(电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室 成都 610054)

【摘要】 提出了一种新的基于光路交换的、IP业务在WDM上运行的网络体系结构,使用了现有较成熟的、基于光路交换的密集波分复用技术,满足了IP业务的迅速发展对物理层传输带宽的要求。讨论了该体系结构的网络参考模型,并对其关键技术如光数据流/光路交换、光帧结构以及IP over WDM的传输机制等作了详细的分析和阐述。

关键词 光因特网; 波分复用; 光路交换; 体系结构; 光帧; 光流

中图分类号 TN913.24

IP/WDM的实现根据其底层WDM网络的不同可分为:基于光路交换的IP/WDM;基于分组交换的IP/WDM^[1,2]。在光分组交换IP网络中对光器件的能力做了较高的假设,如:光分组的形成、检测、交换和传输;然而,人们已经在实验室或实际环境中实现了与光路交换IP网络有关的技术,如:光波长转换^[3]、光数据流的形成、光波长(光路)交换等,因此光路交换IP网络是较为现实的、能在不久的将来实现IP/WDM的一种结构方式。

本文提出了一种基于光路交换的光因特网的体系结构——光路交换因特网(OCS-Internet:—Optical Circuit Switch Internet),并对网络结构、网络的参考模型、网络逻辑拓扑结构的重配置、光数据流/光路交换技术以及IP的传输等方面做了详细的阐述。

1 网络结构

OCS-Internet是基于光路交换的光因特网,它将IP业务与WDM技术有机地结合,实现了IP/WDM(IP over WDM)的结构方式,通过WAEL(WDM—aware Electronic Layer)层的转换,将IP和WDM的功能和特性相结合,使IP业务能够无缝隙地在WDM传输网上传输,如图1所示。

假设OCS-Internet的用户都是标准网络——局域网或广域网(LANs and WANs),用户的业务是聚集的,即业务量大、持续时间长、业务变化不大;而OCS-Internet则作为传输速率很快、传输流量很高的主干网。OCS-Internet可以分为三个层次:1)电交换层负责常规电域的信息交换的功能,2)光传输层负责光域的信息交换功能,3)最重要的第二层——WAEL层。WAEL层是一个功能层次,它必须同时具备IP层和WDM层一些功能和特性。WAEL层由多个WAEL模块构成,根据WAEL模块所处的位置不同,有的模块(与边缘路由器相连的WAEL模块)中既有电的处理,也有光的处理;而其余WAEL模块中只有光处理。WAEL层完成了大部分的IP业务在WDM通道上传输所需的工作:IP业务分组的会聚、电/光信号转换、波长通道的分配、波长路由的设定以及波长转换等,如图3所示的参考功能模型。这些功能多是由WAEL模块完成的。WAEL模块是OCS-Internet的核心设备,它互连构成了WAEL。从图1中可见,第二层中的WAEL模块有两种不同的互连方式:1)通过单个光纤直接相连;2)通过WDM光传输网相连。第一种连接方式较适合于完成网络距离相对较近的城域网或局域网之间的通信,实现本地域之内的通信;而第二种方式则是针对WAEL模块之间距离相当远的广域网,它可以利用已经建成的WDM传输网完成WAEL模块之间的通信,实现不同本地域之间的通信。由图1可以看到,一个本地OCS-Internet域中有两

2000年5月22日收稿

* 国家自然科学基金资助项目,基金号:69682008

** 女 25岁 博士生

个 WAEL 模块是直接相连的, 它们与另一个 OCS-Internet 域的 WAEL 模块之间是通过 WDM 传输网连接的。

2 IP 在 OCS-Internet 上传输

由上述可见, Internet 的发展使其成为了每一个新技术必须支持的高层应用。

2.1 OCS-Internet 的地址和路由机制

如图1所示, 光交叉连接设备 OXC 是光传送网络中负责光路交换的主要设备^[4]。

由于 IP 层有自己的 IP 地址规范, 而 WDM 层也有自己的波长分配和路由算法和方案, 为了使两者能够相互联系起来, 在 WAEL 层实行地址机制, 称为光域地址 OA(optical address)。每一个 WAEL 模块都有一个 OA 地址, 完成光路寻径的任务。每一个与边缘交换机相连的 WAEL 模块还需要完成与用户网络的路由机制(路由表)进行映射的功能。其他的 WAEL 模块只需完成光域的路由功能。

WAEL 模块在对 IP 分组进行传输时, 首先对分组的目的地址进行分析, 如果目的地址在本地域内, 则只需将此分组通过相关 WAEL 模块传到目的地址; 如果目的地址不在本地域内, 则通过 WDM 传输网将分组传送到相应的域中。因此 OCS-Internet 的路由机制为: 目的地址在用户网络内的分组通过其内部的路由机制(如 RIP 协议、OSPF 协议等)进行寻址; 如果目的地址不在本用户网络内, 则将此分组传送到与边缘路由器相连的 WAEL 模块上, 并转换为光域 OA 地址, 由 WAEL 模块判断目的地址是否在本地域内; 如果是, 则由通过单个光纤直接相连的 WAEL 模块进行本地光域内的寻址, 到本地域内相应的与用户网络的边缘路由器相连的 WAEL 模块处, 再将光域 OA 地址转换为 IP 地址, 然后通过边缘路由器进行进一步的 IP 路由寻址。如果分组的目的寻址将其传输到相应的域中, 再进行更精细的寻址。由此可见, 光波长转换只需在本地域的边缘进行, 因为在本地域内的寻址是直接的, 电层的精细寻址加上直接相连的 WAEL 模块的较为粗糙的寻址就可以完成, 而不用使用光波长转换。这种寻址机制将电域与光域的寻址统一起来, 并根据其作用范围的不同使之各司其职, 充分发挥了不同层次路由机制的优点, 并使其协调运行。

2.2 TCP/IP 在 OCS-Internet 上运行的过程

TCP/IP 协议提供了一个全球网络层的互连, 而 Internet 的组织是分等级的, 在其中心则是为 Internet 提供全球互连的主干网, 将大量不同的独立网络(LANs\WANs)连接起来, 而这些网络成为主干网的边缘网络。异种网络的互连是通过路由器实现的。而同种网络内的信息交换通过交换机实现, 因此可在 OCS-Internet 上实现 IP 的传输, 如图2所示。主机 A 想要与远端的主机 B 通信。A 的 IP 分组流通过局域网到达边缘路由器, 边缘路由器处理 IP 分组的头部信息, 通过查找路由器中的路由表, 发现分组的目的地址不在本子网内, 则将该分组发送到与其直接相连的 WAEL 模块上, WAEL 模块将这个分组流形成光帧, 并由 WAEL 模块的交换机制通过单个光纤或 WDM 传

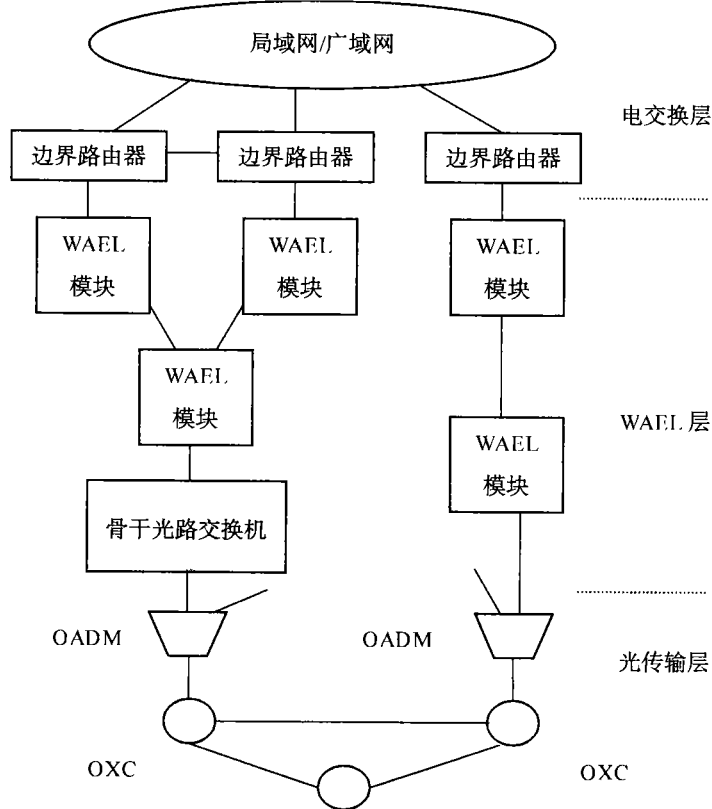


图1 OCS-Internet 网络结构图

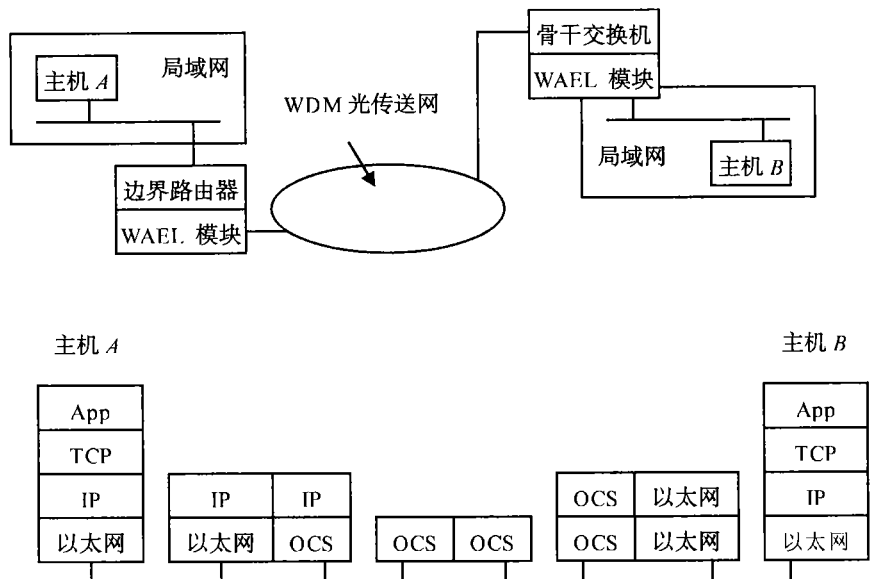


图2 TCP/IP Over OCS-Internet

输网将此光帧传送到与目的地址直接相连的 WAEL 模块上，该 WAEL 模块在确认后，将此光帧接收下来，转化为 IP 分组流，传给边缘路由器，再由边缘路由器发送到目的地址所在的主机上。在此过程中所经过的 WAEL 模块，除了与边缘路由器直接相连的以外，其余的都只起到一个转发的作用。

3 网络功能参考模型

OCS-Internet 网络功能参考模型如图3所示。在 OCS 层定义4个逻辑子层：数据速率适配和会聚子层(DAC-SL)、光数据帧产生和定义子层(FGD-SL)、光帧分/复用于子层(M/DM-SL)、波长转化和会聚子层(WTC-SL)。每一子层的功能和作用如下：1) 数据速率适配和会聚子层调节到达的数据的速率，并使高层数据流能够适应光层的传输要求。同时电层的路由功能与 OCS-Internet 的地址之间的映射在此层完成。每一个 DAC-SL 模块都代表了一个给定的远端用户网络连接的终点，所有

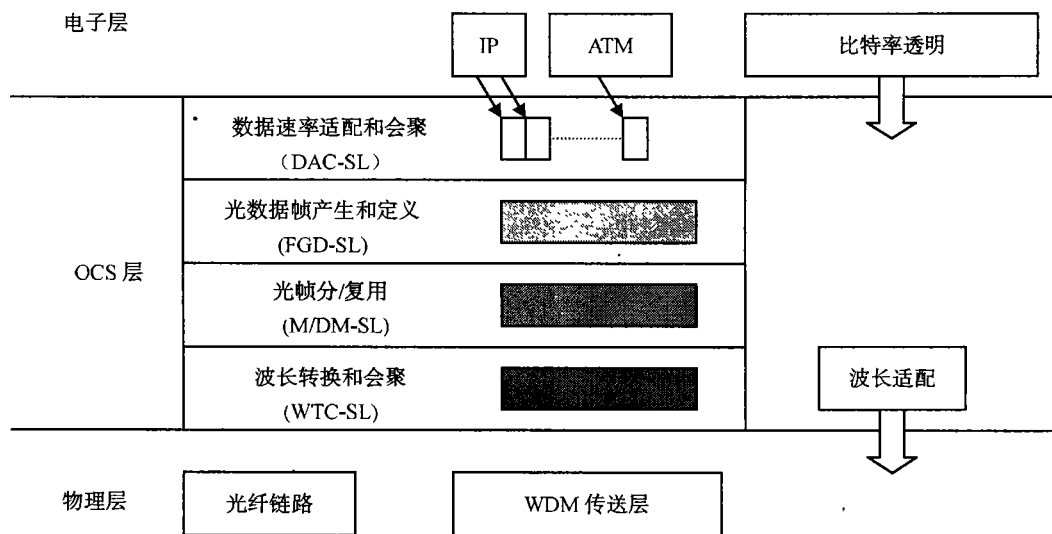


图3 OCS-Internet 的参考功能模型

通过 DAC-SL 的数据都通过 OCS-Internet 传输到其目的端。2) 光数据帧产生和定义子层产生光数据帧, 并定义光数据帧的结构与帧头。同时完成光帧的寻址功能。3) 光帧分/复用子层将光帧传输到光链路, 支持光的分/复用功能。4) 波长转化和会聚子层通过光波长的分配或/和光波长的转换使光帧能够适应 WDM 传输网的传输。

4 光帧结构、形成及检测

光帧的结构是 OCS-Internet 能够顺利运行的关键, 必须能够对 IP 或其他上层协议进行支持, 同时又能够适于光域的传输与检测。在此条件和前提下, OCS-Internet 是进行大量数据传输、具有极高带宽的主干网络, 通过电网络和单个光纤连接的中心交换机将所有本地域内的数据传输屏蔽在本地域内, 所以, 通过 OCS-Internet 进行传输的全部是需要进行远端传输的数据, 为数据的会聚与光帧的形成提供了可能。以上假设用户的业务是聚集的, 即业务量大、持续时间长、业务变化不大。在这种情况下, 可将大量 IP 分组作为具有共同的光域目的地址的数据, 可通过一定的技术会聚成一个数据帧——光帧。

具体光帧结构的确立主要考虑以下一些因素: 1) 要便于 IP 分组的汇聚与拆分, 使 IP 数据能够平滑地在电域与光域间过度; 2) 要具有合适的控制和管理用码, 便于全网管理和控制, 这是 OCS-Internet 能够实用化的基本条件; 3) 光帧格式与具体的线路编码要有利于线路的传输。在这些前提下, 人们对光帧的结构形式进行了各种研究, 提出了多种方案, 其中最具影响力的是以下两种方案: 1) 使用以太网的帧格式; 2) 使用 SDH 的帧格式。第一种方案类似吉比特以太网, 便于与已有的大量以太网互连, 从低速到高速, 都能找到价格较低的分/合路设备。而且 IP 分组在以太网的帧上传输已有了大量的应用实例。但是, 吉比特以太网的 8B/10B 线路编码却不可取, 因为该编码对线路速率提出了更高的要求。同时以太网的帧结构缺乏对网络管理和控制的支持。因此今后会采用类似于 SDH 中使用的同步置位式扰码。第二种方案借鉴 SDH 的帧结构, SDH 帧结构含有大量丰富的控制和管理码, 对全网的管理和控制都有很好的支持, 但是考虑到对 IP 分组的支持, 应对其作一些修改, 包括开销设置以及 IP 分组的装取等。目前正在制定称为“Fast-IP”或“Slim SONET/SDH”的成帧标准。

由上述可见第二种方案比较适用, 但帧长不是定长的(SDH 的帧定长), 可以根据实际情况具体考虑。在考虑全网综合性能和实用性的前提下, 这是对现有网络技术所做的最合理的改进, 既能新的光网络 OCS-Internet 上使用, 又能够与现有技术结合。此外, 在考虑光

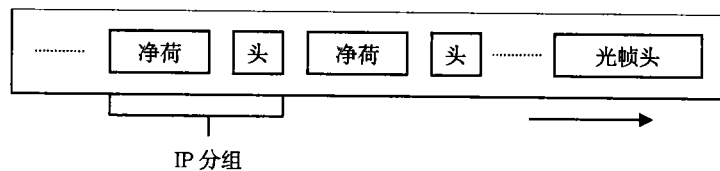


图4 IP 分组在光帧中的汇聚

帧对 IP 分组的装取时应该遵循 OSI 网络七层参考模型的有关原则, 即每个 IP 分组应该作为一个整体汇聚到光帧中, 而不应该将其头部与净荷分开, 这样便于不同 IP 分组的检测与拆分。这种在光域对 IP 分组的检测也是可行的, IP 分组在光帧中的汇聚如图4所示。针对图4需作以下说明: 1) 在传送 IP 分组之前应先传送光帧的头部信息, 包括帧同步、帧长、帧发送的源和目的地址(光域地址)、管理与控制码、流控码等; 2) 每个 IP 分组的头部和净荷一起传送; 3) IP 分组的头部与净荷按以下方式传送: 头部在净荷之前传送; 每一个分组按头部、净荷、头部、净荷等方式依次顺序传送。

在光域中如果要提取某部分信息进行分析是比较困难的, 特别是在光帧进行交换转发时必须进行帧头的检测, 而交换的速度要求以光的速度进行交换, 这样对光帧的检测提出了很高的要求。有些学者建议在这些需要进行光检测的节点使用电的方式, 即先把光信号转化为电信号, 进行检测处理完之后再将需要继续转发的电信息再变成光信号, 传送出去。这种方式具有很强的可操作

性,对交换设备的要求不高,只需对现有的交换机加上光/电转换功能。但这是一种权益之计,并不是真正意义上的光交换。为了实现光交换,同时又考虑光帧的实际传输方式,有些学者提出了其他的较容易实现的方式,如:在同一个时隙内用子载波传输帧头,主要的传输频段则用来传输具体的信息。这样当需要对光帧进行检测处理时,只需对子载波所传输的帧头进行检测,而无须对整个光帧进行检测,大大降低了处理的复杂度,提高处理的速度。

由于需要对光的帧头进行处理,容易将它与由贝尔实验室提出的光多协议标签交换(Optical MPLS—Optical Multiprotocol Label Switching)技术混淆,其实这是两种截然不同的技术。在 OCS-Internet 的 WAEL 层中是将大量具有一定相同特性 IP 分组汇聚形成一个光帧,在一个波长通道上传输出去。在整个传输过程中,进行中间处理的 WAEL 模块只需对光帧的帧头进行检测、处理,并不对每个封装在其中的 IP 分组进行单独的处理;而 OMPLS 技术则来源于 MPLS 技术^[5],是给每个所需传输 IP 分组一个标签(Label),在整个传输过程中,中间的处理模块需要对每个 IP 分组的 Label 都进行处理。由此可以看出,如果不借用电处理,后者对光检测技术的要求更高;而即使借用了电处理,后者的处理效率也不高。

5 光路/光流交换技术

当前 Internet 运行的主要瓶颈在于 IP 层的路由问题,人们通过在较低层上交换长持续时间业务流的方法提出了解决瓶颈的多种方案。其中,标签交换技术是利用路由协议提前在网络内定义路由并且为每个路由器分配一个标签^[6],这样 IP 分组就可以不用进行路由表的查询而是基于这些标签完成交换。IP 交换技术则动态地为那些长期连接建立第二层(如:ATM)的虚电路。这些较低层次的交换的概念可以扩展到交换信息量大而且业务流持续时间长的光层,可以为大传输量的数据建立一条光路,如长持续时间的传输或占用高带宽的业务。为了达到最终的传输效率,需要建立一个光流交换协议,能够聚集相同或相似业务特性的数据流使其一起被交换。实现这个技术最简单的方法是在任意给定时间都为—个传输分配一个波长通道。实际上,由于 OCS-Internet 的实际情况,这种方法常演变为混合的多层交换,即长持续期的业务在电子层交换,而更长持续期和更高带宽的业务流则在光层交换。这样可以降低网络中交换机的计算负荷和网络的传输延迟。由于不象 IP 交换技术可以为每个可能的数据流都建立一个 ATM 的虚电路,光流交换协议必须在分配建立光通路的时间问题上十分谨慎,因为光网络中的波长资源极其匮乏,不可能随意分配。此外在没有使用波长转换器的光网络中,由于必须为整个光路都分配相同的波长,这更限制了可用波长的数量。因此,光流交换技术必须基于上层已经形成了大数据流的到达和性能,同时这个数据流的大小与该流的建立时间相比较,超过网络的环路延迟。

6 结束语

本文对基于光路交换的一种新的光因特网的体系结构进行了讨论,为了实现 IP 技术和 WDM 技术的有效结合,从网络的逻辑体系结构到功能模型都较传统的网络模型进行较大改变,而围绕着如何实现 WDM 上运行 IP 这一问题,在其具体实现的技术上是国际学术界和工业界争相研究和讨论的热门话题。本文提出了基于光路交换的一种方案,能加深对我国相关领域技术的研究。

参 考 文 献

- 1 唐明光. 从 ECOC'94看光通信的发展. 电子科技大学学报, 1994, 23(增刊): 35~40
- 2 Janice Hedging, Jocelyn Nee. WDM all-optical networks. EE228A Project Report, 1996
- 3 Ramamuthy Byrav. Wavelength conversion in WDM networking. IEEE JSAC, 1998, 6(9): 312~321
- 4 张涛, 邱昆, 邱琪. 一种基于波分复用的 ATM 光交换结构. 电子科技大学学报, 1998, 27(4): 371~374
- 5 Rosen Eric C. Multiprotocol label switching architecture. Internet Draft, 1999
- 6 Rekhter Y. Cisco systems: tag switching architecture overview. IETF RFC 2105, 1997

Optical Internet Architecture Based on Optical Circuit Switching

Jin Mingye Li Lemin

(National Key Lab of Optical Fiber Transmission and Communication Networks, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract In this paper, a new architecture of optical internet is introduced which combines IP networks and optical transport networks using dense wavelength division multiplexing technology. The optical transport network is based on optical circuit switching, which means there is no optical packet switching used in the networks. The reference model, the basic framework for running IP over WDM, and the definition of optical frame structure are discussed in detail. The issues of optical flow switching are overviewed.

Key words optical internet; wavelength division multiplexing; circuit switching; architecture; optical frame; optical flow

· 科研成果介绍 ·

复杂非均匀媒质中场与波的高效数值方法 及其在石油电测井分析中的应用

主研人员: 聂在平 潘锦 杨峰 陈晓光 胡俊 张业荣 赵延文 袁宁

复杂非均匀媒质中场与波的高效数值方法具有以下特点: 1) 将波函数变换理论与数值模式匹配理论相结合, 完成了轴对称二维均匀介质中偏轴激励响应的高效数值分析; 2) 将时域有限元这一新方法应用到非均匀有耗介质的电磁波分析中, 讨论了其稳定性条件, 将其用于电磁脉冲测井分析; 3) 将纵向数值模式匹配的高效数值方法用于位场测井问题, 显著提高了大段地层响应及薄层响应计算的效率; 4) 对各种复杂结构的聚焦电极系进行了精确完整的物理建模, 并对其测井响应进行了数值分析, 开发出一系列具有工程实用价值的应用软件; 5) 对索末菲尔德积分限截断问题、快速傅里叶变换和快速汉克尔变换的应用、有限元方法中的网格覆盖技术等作了深入的研究, 取得很好的结果, 提高了计算效率和精度。

· 科 卜 ·