

面向状态 PCE 的码群路由多粒度光交换体系^①

王玉宝^② 张园园^③ 梁青格 张洋洋

(燕山大学信息与科学工程学院 河北省信息传输与信号处理重点实验室 秦皇岛 066004)

摘 要 在波带交换技术的基础上,引入光码分复用(OCDM)技术,将光码粒度应用到三层多粒度光交换中,并在此基础上,提出了码群路由体(CGRE)的概念,将具有关联的光码捆绑成为一个码群路由体在码群路由管道中传输,以降低交换所需的端口数,增加交换节点的灵活性。本文加入路径计算单元(PCE)对路由进行控制,使得所有节点路由信息共享,从而在路径计算时可以选择最合适的路径。通过比较分析端口数和系统的丢包率,很好地验证了系统性能。

关键词 多粒度光交换,光码分复用(OCDM),码群路由体(CGRE),捆绑,状态路径计算单元(PCE),端口数,丢包率

0 引 言

随着传送网业务量的急剧增加,传统的光传送网完成光交换所需的波长交换端口数越来越多^[1]。为了解决这些问题,学者们对多粒度光交换体系进行了研究^[2-4]。目前常用的多粒度光交换是指可在节点实现波长粒度、波带粒度以及光纤粒度的交换,其应用波带交换(waveband switching, WBS)技术^[4],即将几个波长捆绑成一个波带进行传输。和波长交换结构相比,该体系可以提高传输效率,降低交换端口数以及简化管理。但是如果考虑到其网络流量的复杂性,仍然存在一些问题^[5]。例如,当一个小粒度请求到达时,虽然所需的带宽远远小于一个波长,但仍然需要较多的复用端口。此外,波带交换也会受到波带融合机制自身效率的影响,如果只有几个小粒度请求融合到一个波带中,就会造成波带的大量浪费和网络利用率的大幅降低。

为了解决这些问题,引入光码分复用(optical code division multiplexing, OCDM)技术^[6-8],并将粒

度进一步细化为光码粒度,形成可以进行光纤粒度、波长粒度以及光码粒度交换的三层多粒度光交换体系。其主要应用光码交换技术,即将不同的光码捆绑到同一个波长上进行传输。该体系在很大程度上提高了交换效率,提升了网络的性能。但其也存在着消耗端口数多的固有问题,且随着网络业务量的增加,交换节点的规模会变大,这不仅会增加网络的实现成本,还会在一定程度上影响网络的性能。

为了改善这些问题,本文在基于 OCDM 的多粒度光交换的基础上提出了码群路由体(code group routing entity, CGRE)的概念,将具有相同源目的或中间路径的光码捆绑到一起作为一个交换单位。该体系可利用 OCDM 光码的相关性,共享同一波长资源,并且在交换时支持码群捆绑。其放松了对硬件和连续性的要求,所需端口数也大大减少,捆绑非常灵活(捆绑的光码可以根据需求随时上下路),易于软控制,为实现状态路径计算单元(path computation element, PCE)提供了有力支持。

本文条理如下:第 1 节介绍基于 OCDM 的三层多粒度光交换体系,第 2 节介绍基于状态 PCE 的码

① 河北省自然科学基金(F2015203204)和河北省高等学校科学技术(ZD2014024)资助项目。

② 男,1968 年生,教授,博士;研究方向:光纤通信;E-mail: wyb@ysu.edu.cn

③ 通信作者,E-mail: zyy2018ys@126.com

(收稿日期:2018-07-25)

群路由交换,第3节对提出的结构进行性能分析,第4节总结全文。

1 基于 OCDM 的三层多粒度光交换体系

基于 OCDM 的三层多粒度光交换体系结构如图 1 所示。该交换体系融合了空分复用、波分复用和码分复用技术,其主要包括 4 个模块,分别为光纤交换模块、波长交换模块、OCDM 交换模块以及控制模块。在该体系中,节点拥有三种粒度的交换和上下路能力,分别对应光纤级 (fiber cross-connect, FXC) 和 F-Add/Drop、波长级 (wavelength cross-connect, WXC) 和 W-Add/Drop、光码级 (optical code cross-connect, OCXC) 和 OC-Add/Drop。其中,码分粒度可细化到分组粒度,光码交换层 (即光码级) 是实现粒度细化和业务管理的关键层。

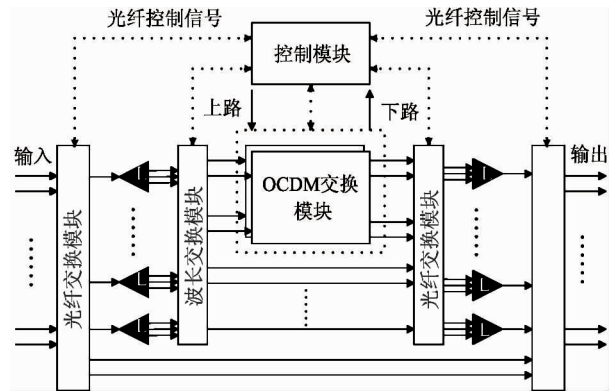


图 1 基于 OCDM 的三层多粒度交叉连接结构

考虑到当前网络业务的综合化特点,基于 OCDM 的交换体系不仅继承了传统的波分交换的优点,即支持粗粒度交换 (光纤粒度以及波长粒度) 和粗粒度交换随意上下路,还支持更细粒度的交换,即光码粒度的交换,以适应系统业务的多样化和动态性。系统根据业务到达时的粒度对其进行处理,对不需要进行更细粒度转换的业务可让其在粗粒度级直通 (如波长级、光纤级),若业务需要转化为更细粒度,则根据业务所需粒度进行转化即可。

但是基于 OCDM 的多粒度光交换体系也存在消耗端口数多的固有问题,且随着网络业务量的

增加,交换节点的规模会变大,这不仅会增加网络的实现成本,还会在一定程度上影响网络的性能。而且其在进行光码粒度的转换时,需要对整个数据分组进行处理,处理量会比较大。因此,本文在基于 OCDM 的多粒度光交换体系的基础上提出了 CGRE 的概念,即将具有相同源、目的或中间路径的光码捆绑作为一个交换单位在波长上传输。其核心思想是依据码群路由算法构建 CGRE,以降低交换所需的波长端口数,增加交换节点的灵活性,简化交换管理。

2 基于状态 PCE 的码群路由交换

2.1 码群路由体

未引入 CGRE 时,当标签交换路由器 (label switched router, LSR) 有路径请求时,需要在相邻节点之间消耗端口建立连接,遍历所有节点找到最优路径。如图 2 所示,LSR1 有 1 个请求:LSR1→LSR7,其使用光码标签交换路径 (optical code-label switching path, OC-LSP)。假设该结构按照物理拓扑依次选择相邻节点作为最短路径而形成路径 OC-LSP,最终路径可能遍历了所有的节点 (LSR1→LSR2→LSR3→LSR4→LSR5→LSR6→LSR7),这无疑会造成阻塞。而本文所研究的体系可以有效地避免这种次优路径问题,在很大程度上降低阻塞率。

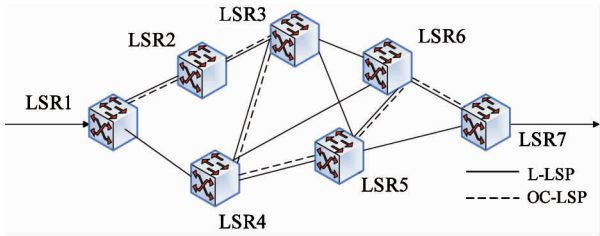


图 2 根据物理拓扑建立的 OCDM 交换网络

在图 2 所示的 OCDM 交换网络中,假设光码可以在各个节点任意上下路,LSR1 有 2 个请求:LSR1→LSR6 和 LSR1→LSR7。LSR1→LSR6 使用 OC-LSP1 (分配 C1 码),LSR1→LSR7 使用 OC-LSP2 (分配 C2 码)。根据码群路由算法可知,OC-LSP1 的最优路径为 LSR1→LSR4→LSR6,OC-LSP2 的最优路径为 LSR1→LSR4→LSR6→LSR7,将 C1、C2 捆绑组

成码群路由体,然后一起传输至 LSR6,到达 LSR6 后,C1 码下路,C2 码继续传输到 LSR7,如图 3 所示。通过引入 CGRE,可以有效缓解网络的阻塞问题,提升业务疏导能力。

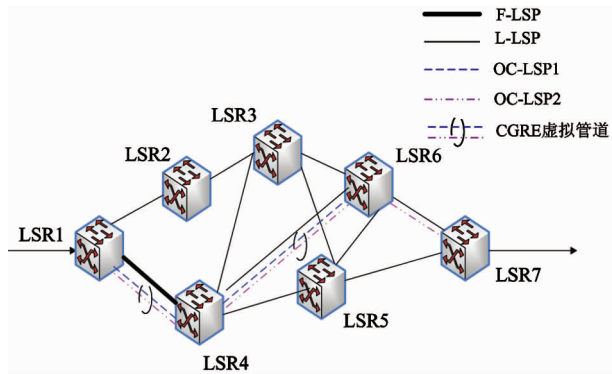


图3 基于码群路由体的业务疏导

具有这种交换功能的网络称之为码群路由网络。在这个网络中,当一个 CGRE 建立后,多个节点通过 CGRE 虚拟管道进行级联,这个虚拟的管道称为码群路由管道 (CGRE pipe)^[9],如图 4 所示。从图 4 中可以清楚地看到捆绑非常灵活,管道的大小也是灵活可变的,捆绑的光码数多管道就粗,捆绑的光码数少管道就细。

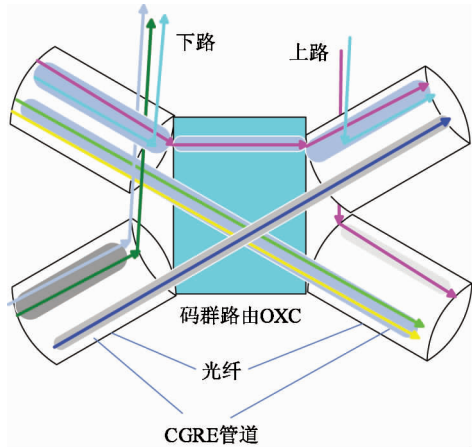


图4 CGRE 管道

CGRE 光码路径的捆绑和传统的波带交换技术有很大的区别。第一,波带交换技术因为需要滤波,所以要求波带必须连续;CGRE 不要求连续性,其主要需要的是源节点和目的节点的位置。第二,波带交换技术一般都会采用固定的波带;CGRE 虚拟管道的大小是灵活多变的。第三,波带交换技术只是

降低了波长交换端口数,并没有再利用波长以及减少波长数;CGRE 是将不同的光码捆绑到同一波长,大大提高了波长的利用率。

2.2 综合业务性分析

本系统在进行多粒度光交换时拟采用光纤布拉格光栅 (fiber bragg grating, FBG) 编解码技术,且以单重合码作为地址码。不过编码器对一个比特编码时必须等上一个比特编码完毕,以防止出现码字重叠的现象。

根据 FBG 阵列编解码原理,传输速率受光纤光栅阵列编码器长度限制,其关系式为

$$R_b \leq \frac{c}{2n_{\text{eff}}L} \tag{1}$$

其中 R_b 为用户数据的传输比特率, c 为真空中的光速, n_{eff} 为光栅的有效折射率, L 为阵列编码器长度。

从式(1)中,可以看到用户数据的传输比特率存在一个上限,对低于上限的所有传输速率透明。比如说传输上限为 10 Gbit/s,只要传输业务要求的传输速率小于这个上限,就可以直接传输,不需要更换编码器。所以本系统支持在不改变硬件的情况下能够自适应调制格式和传送速率的改变,即可以适应多速率传输,非常有利于实现综合业务的传输。

2.3 码群路由算法

在码群路由网络的交换中,一方面,粗粒度(光纤粒度或波长粒度)路由和细粒度(光码粒度)路由分插复用(上下路)操作相结合,途经码群路由管道,能使沿码群路由管道的源节点和目的节点之间的不同光码路径的 OCXC 被省略,这会起到减少节点和提高网络结构效率的作用。另一方面,由于同一组光码路径不可能穿过多个码群路由管道,因此,建立一个最优化的码群路由管道是非常重要的。被建立的码群路由管道之中所包含的光码路径个数可能是不同的,当一个波长路径都被光码路径连接所占满时,将光码捆绑为码群路由体最有效率。CGRE 算法的主要步骤如下。

步骤1 查找可以通过码群路由管道直接传输的光码路径组。寻找到有相同的源节点和目的节点的光码路径,将它们捆绑成码群路由体,且这种码群对除源目的节点以外的其他节点没有限制。因此,可以灵活地重新处理这些节点以提高光纤的利用

率。

步骤2 剩余光码路径的安排。在所有剩余的路径计算要求中,先寻找源节点和目的节点之间的距离最远的路径的备选路由,然后寻找并且收集那些源、目的节点沿着备选路由的其他的光码路径,这样一个新的码群路由管道会被尽可能地充分填充。

步骤3 建立预定的码群路由管道。将在步骤1中预定的码群路由管道按照最小跳数降序的规则进行排列,依次循环以选择出最小的来建立码群路由管道。

步骤4 码群路由管道的再路由。根据光纤的利用率重新建立码群路由管道。

2.4 实例分析

接下来,可用1个实例来说明码群路由算法,交换体系结构如图5所示。其中相邻节点之间数字表示LSR之间的距离。

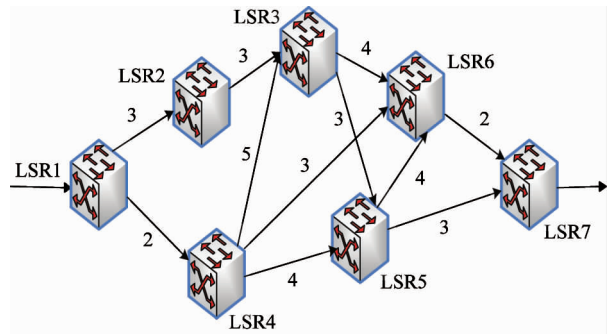


图5 交换体系实例

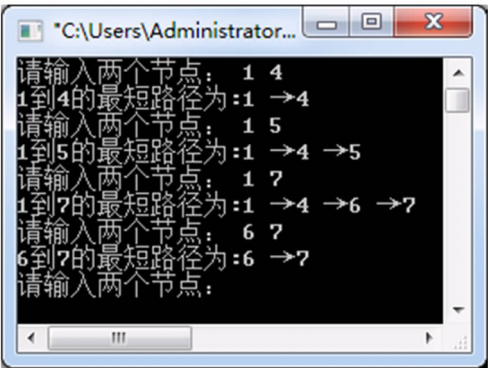


图6 4个请求的最短路径

假设交换体系有4个传输请求,分别是:LSR1→LSR4、LSR1→LSR5、LSR1→LSR7和LSR6→LSR7,可分别将它们称为请求1、请求2、请求3和请求4。根据各个LSR之间的距离,并应用Floyd-

Warshall 算法^[10,11] 计算出了这几个请求的最短路径,如图6所示。在算法中本文用节点1~7代替LSR1~LSR7。4个请求的最短路径分别为:LSR1→LSR4、LSR1→LSR4→LSR5、LSR1→LSR4→LSR6→LSR7、LSR6→LSR7。

容易看出,请求1、2、3都经过了LSR1→LSR4这一段路径。当未引入码群路由算法时,经过相同路径的请求只能进行单个的传输,因此控制管理系统同时接收到这3个请求并计算完最短路径后,必须给它们分出传输的先后顺序,然后依次传输,这样会很耗费时间。但引入码群路由算法之后,控制管理系统可以直接把经过相同路径的请求捆绑到一起进行同时传输。在本例中,即把LSR1→LSR4、LSR1→LSR5、LSR1→LSR7这3个请求捆绑到一起同时从LSR1传输到LSR4,形成码群。传输到LSR4之后,请求1传输完成,结束传输任务;请求2和请求3分别进行自己的传输,即请求2传输到LSR5,然后结束传输任务;请求3传输到LSR6之后,和请求4进行捆绑一起传输到LSR7,然后结束传输任务。图7表明了本例的捆绑以及传输过程。

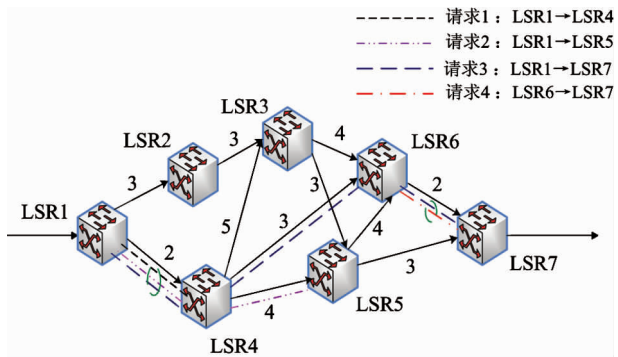


图7 捆绑以及传输过程

2.5 面向状态 PCE 的码群路由交换

传统的光网络中,每个节点都含有路径计算的能力,但随着网络的迅速发展,业务量急剧增加,节点的计算压力越来越大,因此互联网工程任务组建立了一个专门用于路径计算的网路实体,称为路径计算单元(PCE),这样,整个网络中的路径计算就全部交由PCE处理,大大缓解了节点的压力^[12]。PCE可分为无状态PCE和状态PCE。其中,无状态PCE由流量工程数据库(traffic engineering database,

TED)和路径计算组成;状态 PCE 由标签交换路径数据库(label switched path database, LSPDB)、TED 以及路径计算组成^[13]。相比之下,无状态 PCE 只能根据 TED 中存储的关于网络拓扑及网络链路可用性的信息来进行路径计算,网络状态实时更新困难。而状态 PCE 可以使用 LSPDB 实时更新网络状态从而更好地进行路径计算。因此在本文中选择不状态 PCE,结构如图 8 所示。

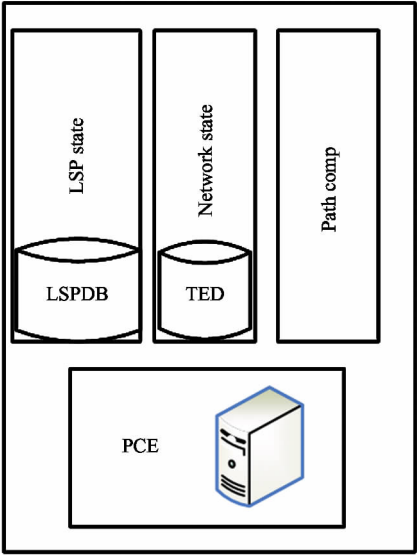


图 8 状态 PCE 组成框图

在引入码群路由体之后,将具有相关性的光码进行捆绑传输,这要求 CGRE 算法支撑。加入状态 PCE,其可依托 CGRE 算法对路由进行控制,使得所有节点路由信息共享,从而在路径计算时选择最合适的路径,如图 9 所示。为了更好地实现 CGRE,就要求 PCE 和各路由节点之间建立连接并保持通信,以保证信息的实时更新。因此在 PCE 中建立了一个基于光码的管理模块,它的主要目的是储存信息,对可以进行捆绑的光码进行捆绑选择。当 LSR 给 PCE 发送路径计算请求时,PCE 根据自身存储的信息进行光码捆绑和路径选择,并把选择结果返回给 LSR。当分配完一个路径后,会将该路径的信息进行标记,以防重复捆绑路径。PCE 在进行光码的捆绑选择时,会优先考虑那些源节点和目的节点相同的光码进行捆绑,然后在剩下的光码路径中,对比所经过的路由节点,优先选择经过路由节点多的光码

路径进行捆绑。

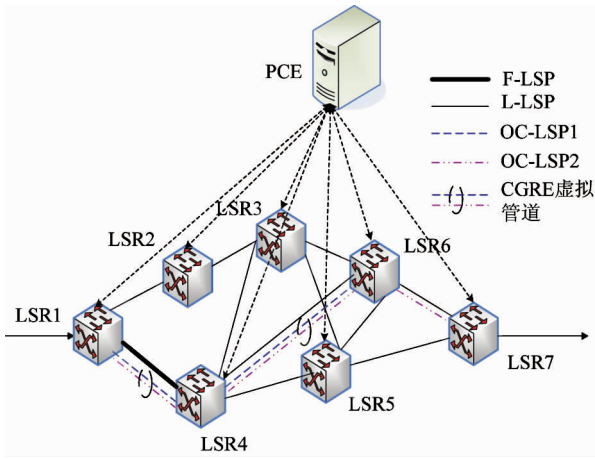


图 9 基于状态 PCE 的码群路由交换

3 系统性能分析

3.1 端口数分析

为了验证本文提出的结构能够有效降低端口数,分别对基于 WBS 与基于 OCDM 的三层多粒度光交换结构的端口数、基于 OCDM 和基于 CGRE 的三层多粒度光交换结构的端口数进行比较分析。

3.1.1 基于 WBS 与基于 OCDM 的端口数分析

在基于 WBS 的多粒度光交换中,假设在 FXC 有 X 个输入光纤端口与其他节点相连,任意选取 αX ($0 \leq \alpha \leq 1$) 个光纤解复用为波带,另外分别有 X' 根光纤进行上下路操作,则 FXC 总共需要的端口数为 $2 \times (X + \alpha X + X')$ 。

假设 1 根光纤解复用为 B 个波带,则在 BXC 需要 $Y = B \times \alpha X$ 个端口处理来自 FXC 的信号。同样,任意选取 βY ($0 \leq \beta \leq 1$) 个波带解复用为波长,分别有 Y' 个波带进行上下路操作,则 BXC 总共需要的端口数为 $2 \times (Y + \beta Y + Y')$ 。

假设 1 个波带解复用为 W 个波长,则在 WXC 需要 $Z = W \times \beta Y$ 个端口处理来自 BXC 的信号。分别有 Z' 个波长进行上下路操作,则 WXC 总共需要的端口数为 $2 \times (Z + Z')$ 。

由上可知,基于 WBS 的多粒度光交换总共需要的端口数为

$$P1 = 2 \times (X + \alpha X + X' + Y + \beta Y + Y' + Z + Z')$$

(2)

与 WBS 一样,基于 OCDM 的三层多粒度光交换体系中的 FXC 同样需要 $2 \times (X + \alpha X + X')$ 个端口,不同的是基于 OCDM 的 FXC 是任意选取 αX 个光纤解复用为波长。

假设 1 根光纤解复用为 W 个波长,则 WXC 需要 $Z = W \times \alpha X$ 个端口处理来自 FXC 的信号。任意选择 $\gamma Z (0 \leq \gamma \leq 1)$ 个波长解复用为光码,分别有 Z' 个波长进行上下路操作,则 WXC 需要的端口数为 $2 \times (Z + \gamma Z + Z')$ 。

假设 1 个波长解复用为 C 个光码,则 OCXC 需要 $M = C \times \gamma Z$ 个端口处理来自 WXC 的信号。分别有 M' 个光码进行上下路操作,则 OCXC 需要的端口数为 $2 \times (M + M')$ 。

则基于 OCDM 的多粒度光交换总共需要的端口数为

$$P2 = 2 \times (X + \alpha X + X' + Z + \gamma Z + Z' + M + M') \quad (3)$$

假设有 6 根输入光纤端口与其他节点相连,每根光纤传输 200 个信号。

设定在基于 WBS 的多粒度光交换中每根光纤可解复用为 20 个波带,每个波带可解复用为 10 个波长,有 6 根光纤解复用为波带,15 个波带解复用为波长,每一层均没有上下路操作。由式(2)可知,基于 WBS 的所需端口数为 $P1 = 594$ 。

设定在基于 OCDM 的多粒度光交换中每根光纤可解复用为 10 个波长,每个波长可解复用为 20 个光码。设定有 6 根光纤解复用为波长,8 个波长解复用为光码,每一层均没有上下路操作。由式(3)可知,基于 OCDM 的所需端口数为 $P2 = 480$ 。

从图 10 可以看出基于 OCDM 的三层多粒度光交换所需端口数少于 WBS 所需端口数。

3.1.2 基于 OCDM 与基于 CGRE 的端口数分析

为了验证所提出的基于 CGRE 的三层多粒度光交换结构的捆绑具有灵活性且可以降低端口数,本文比较了基于 OCDM 的和基于 CGRE 的三层多粒度光交换结构的端口数,并对不同的光码个数进行捆绑传输处理,比较其所需端口数。

依然用 3.1.1 中基于 OCDM 的数据,由此可知,基于 OCDM 的 FXC 所需端口数为 24, WXC 所需

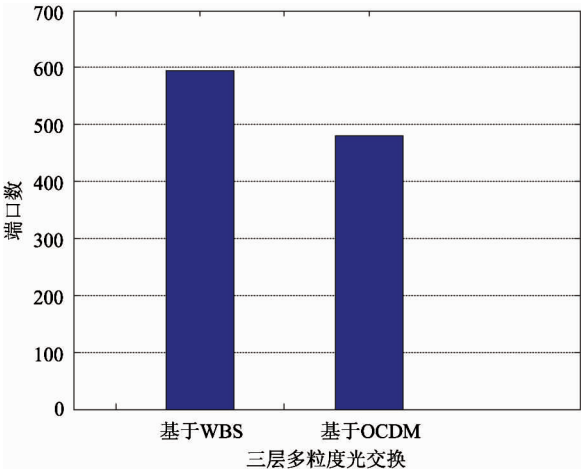


图 10 基于 WBS 与基于 OCDM 的端口数比较

端口数为 136, OCXC 所需端口数为 320, 所需端口总数为 480。基于 CGRE 的 FXC、WXC 所需端口数与 OCDM 一样,不同的是 OCXC 所需的端口数是可变的,本文分别捆绑 0 个、30 个、60 个和 120 个光码,对应的所需端口数为 320、262、202 和 82。则基于 CGRE 所需的端口总数分别为 480、422、362、242。可以看到,当不对光码进行任何捆绑处理(即对光码进行 0 个捆绑传输)时,传输所需端口数也就是基于 OCDM 的三层多粒度光交换传输所需端口数,因此在图 11 中将它们合二为一。

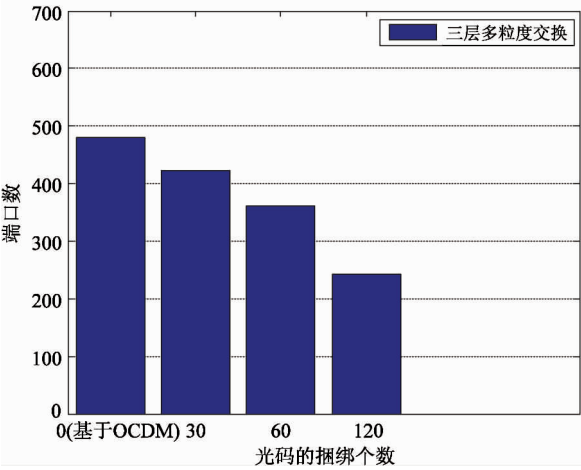


图 11 不同光码捆绑个数和端口数的关系

通过图 11 可以看出,基于 CGRE 的架构所需的端口数少于基于 OCDM 的端口数,本文的结构非常灵活,可以随意选择捆绑光码,而且捆绑的光码越多,所需端口数越少。

当绑定的光码数比较小时,尽管端口数比较大,但依然要比不捆绑的性能好,而且由于捆绑的码群变小,群内相对的多址干扰也会较小,所以系统性能也不会恶化。但是由于其所需端口数增多,导致网络成本增加。所以在实际网络中绑定的光码个数要根据实际情况进行选择。

3.2 丢包率分析

多址干扰越大,丢包的可能性就越大,因此,本文以最大捆绑时为例来分析丢包情况。

假设在传输过程中有一个单重合码错误就会引起整个码序列的错误,从而发生丢包现象。设单重合码的码字长度为 M , 同时发送请求的用户数为 N , 标签单重合码的长度为 L , 单重合码的误码率为 BER , 那么丢包率 (PLP) 为

$$PLP(M, N) = 1 - (1 - BER)^L \tag{4}$$

由于 OCDM 交换结构处理的是整个数据分组, 因此式(4)计算的丢包率为 OCDM 交换结构的丢包率。而 CGRE 交换结构处理的是部分标签, 设标签长度为 l , 则 CGRE 交换结构的丢包率为

$$PLP(M, N) = 1 - (1 - BER)^l \tag{5}$$

设在一个波长上可捆绑复用的码群交换路径数为 k , 资源利用率为 ρ , 在某个时间点上 N 条路径可以进行捆绑的概率服从二项分布, 其表达式如下所示:

$$B(N, k) = C_k^N \rho^N (1 - \rho)^{k-N} \tag{6}$$

则系统的平均丢包率为

$$PLP(M, k) = \sum_{m=1}^k B(N, k) \times PLP(M, N) \tag{7}$$

以上得出了丢包率的计算公式, 下面比较 CGRE 交换结构和 OCDM 交换结构^[6]的丢包率与同时发送请求的用户数之间的关系。设定资源利用率 $\rho = 0.65$, 取单重合码的码字长度为 $M = 14$, 码容量为 $q = 30$, 标签长度为 $l = 9$, 标签序列的长度为 $L = 1024$ 。丢包率与同时发送请求的用户数 N 的关系如图 12 所示。

由图 12 可以看出, 当资源利用率一样时, 虽然 OCDM 交换结构和 CGRE 交换结构的丢包率都随着同时发送请求的用户数 N 的增加而增加, 但相比较而言, CGRE 交换结构的丢包率小于 OCDM 交换结

构的丢包率。

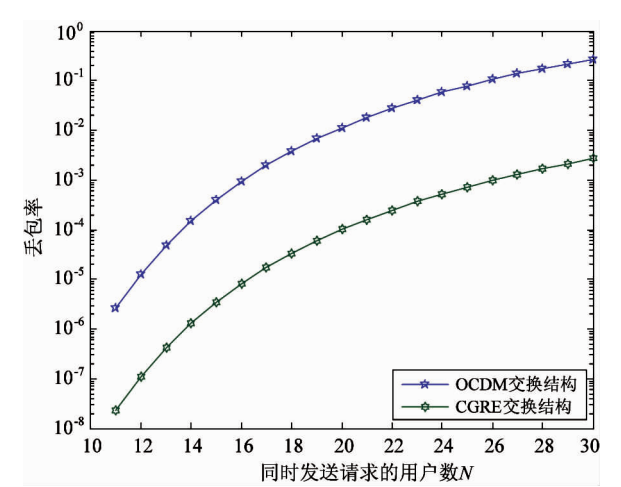


图 12 丢包率与同时发送请求的用户数 N 的关系

4 结 论

本文在基于 WBS 的三层多粒度交换体系的基础上, 引入了 OCDM 技术, 并重点提出了码群路由体的概念和码群路由算法, 其将具有关联性的光码捆绑到一起, 作为一个 CGRE 在 CGRE 管道中传输, 形成了码群路由多粒度交换体系。该体系适用于多速率传输, 且捆绑非常灵活, 易于软控制, 用状态 PCE 控制整个网络以实现网络的动态控制。本文对算法进行了举例验证, 还从端口数比较和丢包率两个方面对该体系的性能进行了验证分析。结果表明, CGRE 所需端口数远远小于 OCDM 以及 WBS 所需端口数, 而且随着捆绑个数的增加, 端口数逐渐减少, OCDM 和 CGRE 的丢包率均与同时请求的用户数成正比, 但随着用户数的增多, CGRE 的优势也愈加明显, 从而验证了码群路由多粒度交换体系结构的可行性以及优越性。

但是, 从上述仿真对比当中发现, 当捆绑的光码数较少时, 本文所研究的码群路由体系的优势并不明显, 只有当捆绑光码数较多时, 优势才更好地体现出来。因此如何更好地确定捆绑光码的个数, 使码群路由体系的性能最优化和丢包率的最小化之间达到平衡, 还需要进行更深一步的研究。

参考文献

[1] Wang Y, Cao X. Multi-Granular waveband assignment

- and protection in WDM networks[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2010, 28(13):2004-2013
- [2] Wang Y, Cao X. Multi-granular optical switching: a classified overview for the past and future[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2012, 14(3): 698-713
- [3] Wang X, Hou W, Guo L, et al. Energy saving and cost reduction in multi-granularity green optical network[J]. *Computer Networks*, 2011, 55(03):676-688
- [4] Cao X. A study of dynamic waveband switching in multi-granular optical networks[J]. *Journal of Optical Communications & Networking*, 2011, 3(5): 390-398
- [5] Wang X, Hou W, Guo L, et al. A new multi-granularity grooming algorithm based on traffic partition in IP over WDM networks[J]. *Computer Networks*, 2011, 55(3): 807-821
- [6] Huang S, Baba K, Murata M, et al. Variable-bandwidth optical paths: comparison between optical code-labelled path and OCDM path[J]. *IEEE Journal of Lightwave Technology*, 2006, 24(10): 3563-3573
- [7] Farghal A E, Shalaby H, Kawasaki Z. Multirate multiservice all-optical code switched GMPLS core network utilizing multicode variable-weight optical code-division multiplexing[J]. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 2014, 6(8):670-683
- [8] Thomas W M, Michael G R. Optical code-division multiplexing[J]. *Optical & Photonics News*, 2001, 12(3): 50-54
- [9] Taniguchi Y, Yamada Y, Hasegawa H, et al. Coarse granular optical routing networks utilizing fine granular add/drop[J]. *Journal of Optical Communications & Networking*, 2013, 5(5):774-783
- [10] Vattai Z A. Floyd-warshall in scheduling open networks[J]. *Procedia Engineering*, 2016,164:106-114
- [11] Aini A, Salehipour A. Speeding up the Floyd-Warshall algorithm for the cycled shortest path problem[J]. *Applied Mathematics Letters*, 2012,25: 1-5
- [12] Paolucci F, Cugini F, Giorgetti A, et al. A survey on the path computation element(PCE) architecture[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2013, 15(4): 1819-1841
- [13] Muñoz R, Casellas R, Martínez R, et al. PCE: what is it, how does it work and what are its limitations? [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2014,32(4):528-543

The code group routing multi-granularity optical switching system based on stateful PCE

Wang Yubao, Zhang Yuanyuan, Liang Qingge, Zhang Yangyang

(School of Information Science and Engineering, Yanshan University, Hebei Key Laboratory of Information Transmission and Signal Processing, Qinhuangdao 066004)

Abstract

On the basis on the waveband switching technology, the optical code division multiplexing (OCDM) technology and optical code granularity are applied to the three-layer multi-granularity optical switching system. And on the basis of the optical code division multiplexing (OCDM), the concept of code group routing entity (CGRE) is proposed and the associated optical codes are bundled into CGRE to transmit in the CGRE pipes to reduce the number of wavelength ports required for switching and to improve the flexibility of switching nodes. The path computation element (PCE) is added to control the routes so that the routing information of all the nodes can be shared to choose the most suitable path at the time of calculating the path. Through comparing and analyzing the port numbers and the packet loss rate, the simulation results shows that the performance of this switching system is good.

Key words: multi-granularity optical switching, optical code division multiplexing (OCDM), code group routing entity (CGRE), bundle, stateful path computation element (PCE), port number, packet loss rate