

# CLEP))) 一种新的全光网络光路建立协议

孙卫强, 李津生, 洪佩琳, 袁 巍

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系, 安徽合肥 230027)

**摘 要:** 本文提出了一种波长交换光网络中混合模式的光路建立协议 CLEP, 该协议充分利用现有基于正向预留的 CR2LDP 协议和基于反向预留的 RSVP2TE 协议各自的特点, 通过使用混合模式的光路建立机制, 使得信令协议在控制消息负载、实现复杂度、连接阻塞概率和连接建立时间等方面具有更好的性能。

**关键词:** 全光网络; 信令; 光路; 网络仿真

**中图分类号:** TN291.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 02-0254-05

## CLEP2A New Lightpath Establishment Protocol in All Optical Networks

SUN Wei2qiang, LI Jin2sheng, HONG Pei2lin, YUAN Wei

(University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230027, China)

**Abstract:** We present a new lightpath establishment protocol CLEP (Compound Lightpath Establishment Protocol) for wave2length routed all optical networks. By using a compound lightpath establishment mechanism, as apposed to simple forward reservation by CR2LDP and backward reservation by RSVP2TE, CLEP outperforms both of them significantly in terms of connection blocking prob2ability, lightpath setup delay, computational complexity and control message overhead.

**Key words:** all optical networks; signaling protocols; lightpath; network simulation

### 1 引言

DWDM 网络以波长作为标记, 和传统的标记交换网络相比, 其标记空间大大减小. 另外由于波长转换技术尚未成熟, 该类器件价格高而且会导致光信号质量的下降, 所以通常要求光路建立时满足波长连续性条件. 在这样的背景下, DWDM 网络运行性能的提高依赖于一个智能的控制面, 该控制面可以优化地选择路径和波长, 从而在一定的网络拓扑和设备配置下, 使得网络的吞吐率最高, 也就是连接请求被阻塞的概率最低. 这个问题通常被称为增量式寻路和波长选择问题或动态波长选择问题 (Incremental or Dynamic Routing and Wavelength Assignment). 目前解决增量式/动态 RWA 问题有两种方法. 第一种方法是采用固定多选寻路 (Fixed Alternate Routing), 这种方式将寻路和波长选择单独加以解决, 为网络中任意两个可能出现连接需求的节点之间设置多条路由, 使用各种启发式的方法选择波长<sup>[1,2]</sup>, 并尝试在各条路由上建立光路. 这种方法的特点是实现简单, 控制面负载低, 但是由于边缘节点在进行波长选择时缺乏全局的信息, 所以无法使运行性能达到最优. 第二种方法是修改现有的链路状态寻路协议 (例如 OSPF, IS2IS)<sup>[3,4]</sup>, 使得节点在交换路由信息的同时交换波长可用信息, 这样每个节点都掌握了全网的拓扑结构信息和波

长可用信息, 因而可以进行非常优化的路由和波长选择, 这时寻路和波长选择问题实质上就转变为单纯的基于限制条件的寻路问题. 但是这种方式实现复杂, 运行时对控制网络的带宽要求高, 节点也需要维护大量的拓扑结构和波长可用信息, 并有效控制这些信息的同步. 基于链路状态的方法是解决 RWA 问题的最终方法, 但是由于它的复杂性, 很多问题还有待进一步研究, 所以基于固定多选寻路的机制将是很长一段时间内的研究和标准化重点.

我们利用网络仿真软件 NS 对简单光路建立协议 SLEP (Simple Lightpath Establishment Protocol) 做了原型实现并做了大量的仿真<sup>[11]</sup>. SLEP 支持两种方式的预留, 采用固定多选寻路方式和 First Fit/ Random 波长选择算法来建立光路. 在网络负载到达一定程度以后, 入口节点处的波长 (集合) 选取无法准确地反映整条路由上的波长可用情况. 仿真结果表明, 在适度的网络负载下, 较大部分的连接被阻塞时路由上仍有可用波长, 有效地利用这些波长可以显著降低连接请求的阻塞概率. 基于这一考虑, 本文提出了一种混合模式的光路建立协议 CLEP (Compound Lightpath Establishment Protocol). 这种协议不需要采用分布式的寻路和波长选择算法, 在实现上比较简单, 信令消息负载低, 并且在合理的负载下可以维持很低的连接请求阻塞概率. 本文将首先给出混合模式光路建立协议 CLEP

中所定义的消息类型,光路的建立过程和光路建立过程中节点状态的转移.然后从阻塞概率、建立时间和信令消息负载等方面将其和传统的基于限制条件的 LDP 协议<sup>[8]</sup>/RSVP 的流量工程扩展<sup>[9]</sup>等信令机制进行比较,给出仿真结果,最后总结全文.

2 CLEP 协议描述

本文讨论的是波长交换网络作为传输网(Transport Network)的情形.在这样的网络中,接入网络作为传输网的客户,向传输网提出到达某个目的网络的连接请求.接收到连接请求后,传输网的控制实体对该用户网络做必要的接入控制,如果用户网络的接入请求被接纳,则将连接请求提交给传输网边界节点的控制面以建立连接,会话结束依旧由控制面来拆除连接<sup>[5-7]</sup>.这里所说的连接是指从源端到目的端同一个波长的所构成的通路,通常也被称为光路,本文中所提到的光路和连接等价.

在收到来自客户网络的连接请求之后,CLEP 首先试图用两阶段的方式建立光路.如果两阶段的方式无法建立光路,那么 CLEP 尝试使用三阶段的方式建立光路.为了完成这两种方式的无缝切换,在正向建立的过程中,CLEP 的协议实体更新 CLEP 消息中的可用波长集合.下文将介绍 CLEP 所使用的消息类型,阐述 CLEP 协议的光路建立过程,并给出光路建立过程中的状态转移.

2.1 协议消息类型

为了完成光路的建立和拆除,本文在 CLEP 中定义了五种消息:预留消息、确认消息、释放消息、探测消息和失败消息.这些消息的简单说明见于表 1.表 1 中的连接标识 s(Session ID)用于全局地区分各个连接,该标识在边界节点收到连接请求时产生,产生的方法如公式(1)所示:

$$s = \text{NodeID} @ \text{MAX\_LOCAL\_CONNECTION} + \text{Local\_sid} \quad (1)$$

其中 NodeID 是全局唯一的节点标号,MAX\\_LOCAL\\_CONNECTION 为常值  $10^N$ ,Local\\_sid 是本地连接标号,从 0 开始选取,每产生一个连接请求递增 1,并对  $10^N$  取余循环记数.合适地选取 N 的值,可以做到相同的 Local\\_sid 在同一节点上不会同时出现,并保证 s 的值具有全局唯一性,它将被用于对应连接的所有操作.另外由于节点的一个接口可能包含多根光纤,所以下文提到的波长或波长集合中均包含光纤信息以唯一地标识一个波长或一个波长集合中的各个波长.

表 1 CLEP 消息类型

消息类型	简单描述	携带参数
Resv	预留消息	连接标识,探测波长集合,工作波长集合
Ack	确认消息	连接标识,波长
Fail	失败消息	连接标识
Free	释放消息	连接标识
Prob	探测消息	连接标识,探测波长集合

2.2 光路建立过程

若一条光路所使用的路由上共有 N 个节点,编号依次为

0, 1, 2, ..., N-1, 那么称其中第 0 个节点为入口节点(Ingress Node),第 N-1 个节点为出口节点(Egress Node),其余节点为中间节点(Transit Node);对于任意  $i < j$ ,节点 i 称为节点 j 的上游节点,节点 j 称为节点 i 的下游节点.若  $F_{in}$  和  $F_{out}$  分别是节点在连接请求对应的输入接口和输出接口上的空闲波长集合,按照如下方式定义第 i 个节点对应路由上的空闲波长集合  $F_i^l$ .

$$F_i^l = \begin{cases} F_{in}, & \text{节点 } i \text{ 是出口节点} \\ F_{out}, & \text{节点 } i \text{ 是入口节点} \\ F_{in} \cap F_{out}, & \text{节点 } i \text{ 是中间节点} \end{cases} \quad (2)$$

(1) 两阶段的光路建立过程

波长交换网络的入口节点接收到来自客户网络的连接请求以后,查看本地波长可用情况.取集合  $F_0 = F_0^l$ ,并按照一定的算法从  $F_0$  中挑选出空闲波长子集  $S_0(S_0 \subseteq F_0)$ ,同时产生一个连接标识 s,将这些参数放入 Resv 消息并往下游节点发送(图 1,图 2).为了叙述方便,下文将简称  $F_i^l$  为空闲波长集合,称  $F_i$  为探测波长集合, $S_i$  为工作波长集合.

下游节点 i 收到 Resv 消息后,取  $F_i = F_{i-1} \cap F_i^l$ ,并令  $S_i = F_i \cap S_0$ .如果  $F_i$  和  $S_i$  都不空,则锁定  $S_i$  中的波长,并用  $F_i$  和  $S_i$  取代原消息中的  $F_{i-1}$  和  $S_{i-1}$  得到新的 Resv 消息. Resv 消息会一直被修改并发往下游直至到达该连接的出口节点.

Resv 消息到达出口节点时,如果  $(S_N = F_N^l \cap S_{N-1}) \times \lambda$ ,那么该节点用一定的算法从  $S_N$  中取出一个波长  $L(L \in S_N)$ <sup>[1,2]</sup>,将其放入一个 Ack 消息向上游节点发送.上游节点收到 Ack 消息后释放与该连接对应的除 L 以外的其他波长,并继续向上游发送相同 Ack 消息直至到达连接的入口节点.至此一个连接就被成功建立了.

可以看出,利用正向预留(从上游节点到下游节点进行预留)建立一个连接只需要两个阶段:预留阶段和确认阶段,需要的时间是  $(2N-1) \times (T_p + T_c + 2 \times T_t)$ ,其中 N 是该连接所经过的节点的数目, $T_p$  是节点处理信令消息的时间, $T_c$  是配置 OXC 的时间, $T_t$  是信令消息从入口节点到出口节点的传输时间.

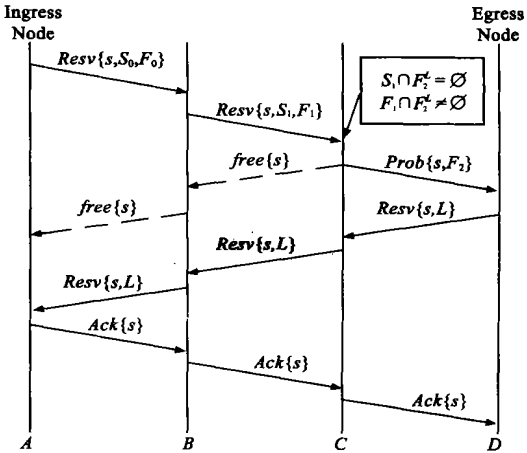


图 1 通过反向预留建立光路成功的过程



立. 而网络负载较高的时候, CLEP 便自动转向使用反向方式来尝试建立连接, 从而继续维持阻塞概率在较低的水平. 这样在合理的网络负载下, 运行 CLEP 可以保证网络中平均的连接建立的时间短, 连接请求阻塞概率低, 信令消息负载低. 有人曾提出在一个网络中同时运行 RSVP2TE 和 CR2LDP<sup>[10]</sup>. 这种方案和基于 CLEP 的方案相比, 网络维护起来困难而且对控制网络的要求高. CLEP 的实现的时候可以考虑两种方式下消息和过程的重用, 所以其复杂度要比单独实现两个协议小的多.

### 3.1.2 仿真结果

我们使用仿真软件 NS 对 CLEP 进行了性能仿真, 评价性能的指标有如下几个: (1) 阻塞概率: 一个连接因为资源不可用或者竞争而被阻塞的概率; (2) 连接建立时间: 建立一条光路所需要的时间; (3) 信令消息负载: 连接建立过程中产生的信令消息的数目.

仿真中所采用的拓扑结构如图 5 所示. 仿真数据中的每个样点的获得都是平均 10,000 个连接建立过程的结果.

图 6 给出了各种信令机制下阻塞概率随着网络负载变化的曲线. 由第 2 部分的讨论可知, 使用 CLEP 和使用三阶段的建立方式具有相同的阻塞概率. 从图 6 可以看出, 在一定的网络负载下, 使用 CLEP 来建立连接阻塞概率比使用正向的建立方式有明显降低. 在网络负载较低时, 可以保证连接的正确建立(负载小于 40 爱尔兰时, 连接的阻塞概率为 0). 随着网络负载的升高, 用 CLEP 协议来建立连接时的阻塞概率不到传统正向预留协议的 1/3(负载小于 50 爱尔兰)和 1/2(负载小于 70 爱尔兰).

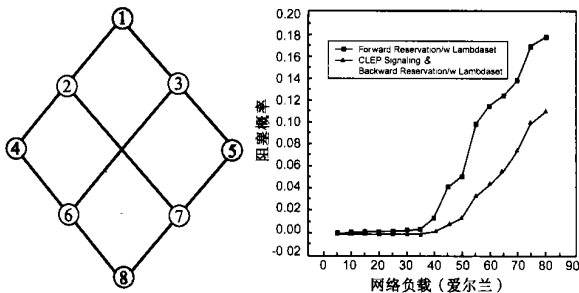


图 5 仿真的网络拓扑结构

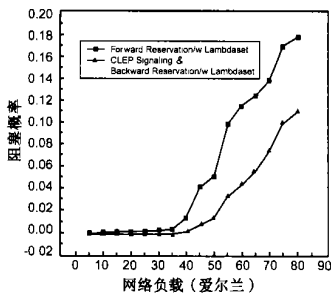


图 6 CLEP 和正向预留方式的信令阻塞概率比较

图 7 中给出了正向/反向预留和 CLEP 在不同网络负载下的消息负载比较. 在正向预留和反向预留模式下, 随着网络动

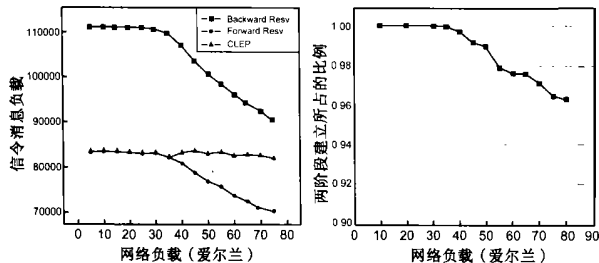


图 7 几种信令的消息负载比较

图 8 两阶段建立的光路占总连接请求的比例

态性的降低, 信令消息的负载降低. 在网络负载较低(小于 35Erlang)时, 使用 CLEP 和正向预留方式产生相同数目的信令消息, 因而负载一样. 随着负载的进一步上升, 反向预留所占比重逐渐增大, 所以虽然网络动态性逐渐降低, 但是 CLEP 的信令消息负载基本上维持在同一个水平. 可以看出, 使用 CLEP 来建立光路在消息负载上较反向预留方式有较大的优势. 图 8 给出了两阶段建立的光路占总连接请求的比例. 可以看出在网络负载小于 80 爱尔兰的时候, 网络中 96% 以上的连接均可以用两阶段建立过程就可以建立. 和所有连接都需要用三阶段过程才能建立的反向预留方式相比, CLEP 协议可以大大地降低网络中连接建立的平均时间.

## 4 结束语

本文提出了一种新的光路建立协议 CLEP. 该协议充分利用现有信令协议 CR2LDP 正向预留和 RSVP2TE 反向预留的优点, 在网络负载较低的时候, 使用两阶段的正向预留来建立光路, 而随着网络负载的升高, 逐渐地过渡到采用反向预留来建立光路. 运行 CLEP 的网络具有较低的阻塞概率, 较低的光路建立平均时间, 同时控制网络也具有较低的消息负载.

### 参考文献:

- [1] HUI Zang, et al. A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength routed optical WDM networks [J]. Optical Networks, 2000, 1:47- 60.
- [2] E Karason, et al. Effects of wavelength routing and selection algorithms on wavelength conversion gain in WDM optical networks [J]. IEEE/ACM Trans. Networking. 1998, 6(2): 186- 196.
- [3] K Kompella, et al. OSPF extensions in support of generalized MPLS [S]. draft2ietf2ccamp2osp2gmpls2extensions208. txt. Aug 2002. Internet Draft. Work in progress.
- [4] K Kompella, et al. ISIS extensions in support of generalized MPLS [S]. draft2ietf2isis2gmpls2extension211. txt. May 2002. Internet Draft. Work in progress.
- [5] Ayan Banerjee, et al. Generalized multiprotocol label switching: an overview of routing and management enhancements [J]. IEEE Communications, 2001, 39(1): 44- 150.
- [6] Ayan Banerjee, et al. Generalized multiprotocol label switching: an overview of signaling enhancements and recovery techniques [J]. IEEE Communications, 2001, 39(7): 144- 151.
- [7] P Ashwood-Smith, et al. Generalized MPLS signaling functional description [S]. draft2ietf2mpls2generalized2signaling209. txt, Aug 2002, Internet Draft, Work in progress.
- [8] P Ashwood-Smith, et al. Generalized MPLS signaling@CR2LDP extensions [S]. Internet draft. draft2ietf2mpls2generalized2c2ldp206. txt. April 2002. work in progress.
- [9] P Ashwood-Smith, et al. Generalized MPLS signaling@RSVP2TE extensions [S]. Internet draft, draft2ietf2mpls2generalized2rsvp2te207. txt, April 2002, work in progress.
- [10] Paul Brittain, et al. MPLS traffic engineering: a choice of signaling protocols [DB/OL]. <http://www.cs.ubc.ca/spider/cs527/Lectures2003/7cMPLScrldprsvp252703.pdf>, 200328225.

- [11] 孙卫强, 等. 简单光路建立协议的实现原型及其仿真[J]. 通信学报, 2004, 25(1): 52-59.

#### 作者简介:



**孙卫强** 男, 1976 年 3 月生于江苏吴江, 中国科技大学电子工程与信息科学系博士研究生, 微软亚洲研究院 2002 年度/微软学者 0 奖学金获得者, 主要研究方向是下一代网络体系结构和网络安全.



**李津生** 男, 1937 年生于福建厦门, 中国科技大学教授, 博士生导师, 主要研究方向是信息通信网.

**洪佩琳** 女, 1961 年生于浙江宁波, 中国科技大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为信息通信网和网络安全.

## 第 13 届中国多媒体学术会议(NCMT2004)征文通知

由中国计算机学会多媒体专业委员会及中国图象图形学会多媒体专业委员会联合召开的第 13 届全国多媒体技术学术会议定于 2004 年 10 月 14~17 日在宁波市召开. 会议期间将组织著名学者就宽带和无线网络、新型计算模式、流媒体、数字版权管理等热点领域做大会特邀报告和广泛的学术讨论.

欢迎各位同行踊跃投稿, 这次大会的内容将覆盖以下广泛的领域, 但并不局限于这些内容.

- (1) 多媒体信息处理和编码: 多媒体信息处理和压缩、嵌入式多媒体处理、内容分析、基于内容的检索、数字版权管理(DRM)和信息安全
- (2) 多媒体系统支持和网络技术: 网络协议、无线网络、操作系统、中间件、流媒体服务器、多媒体服务质量保证(QoS)、数据库、传感器和执行元件、客户终端、流媒体技术
- (3) 多媒体工具、应用系统: 超媒体系统、用户接口、著作工具、多媒体教育系统、分布式多媒体系统和应用、虚拟空间的设计和应用、系统集成
- (4) 计算机图形、虚拟现实、多媒体人机交互、多媒体与 CSCW

#### 关于投稿的重要日期:

投稿截止日期(以邮件寄出日期)      2004 年 7 月 20 日  
 录取通知      2004 年 8 月 4 日以前  
 正式稿件发回      2004 年 8 月 20 日以前

NCMT2004 上的优秀论文将推荐到国内著名学术刊物发表.

程序委员会主席: 钟玉琢教授, 清华大学计算机系

组织委员会主席: 蒋刚毅教授, 宁波大学信息学院

#### 征文要求

- (1) 反映在多媒体及相关技术领域中的技术和应用研究成果
- (2) 未在其他会议或刊物上公开发表
- (3) 每篇来稿篇幅不超过 6 页, 按 A4 纸排版, 论文格式参见会议主页
- (4) 每篇论文务请附上作者联系信息(电话、通讯地址、电子邮件)
- (5) 来稿请寄:

北京清华大学计算机系人机交互与媒体集成研究所 孙立峰 收, 邮编: 100084

同时将论文电子版以 word 或 pdf 格式用 Email 方式发至 [ncmt04@media.cs.tsinghua.edu.cn](mailto:ncmt04@media.cs.tsinghua.edu.cn)

联系人: 孙立峰 田淑珍 清华大学计算机系

电 话: 010- 62786910, 010- 62784141, 传真: 010- 62771138

电子邮件: [ncmt04@media.cs.tsinghua.edu.cn](mailto:ncmt04@media.cs.tsinghua.edu.cn)

有关会议的更详细的信息请访问 <http://medialab.cs.tsinghua.edu.cn/~ncmt04>