

WDM光网络生存性策略及仿真

邓秋红, 虞红芳, 王 晟

(电子科技大学 宽带光纤传输与通信网技术教育部重点实验室 成都 610054)

【摘要】讨论了不同的网络生存性策略各自的优缺点, 针对专用通路保护和共享通路保护两种策略进行了仿真试验, 对其性能进行分析比较, 得出结论: 专用通路保护比共享通路保护能更充分地利用波长资源。

关键词 波分复用; 生存性; 共享风险链路组; 专用通路保护; 共享通路保护; 负载均衡

中图分类号 TN915.01 **文献标识码** A

Survivability of WDM Optical Network and Performance of Different Protection Algorithms

Deng Qiuhong, Yu Hongfang, Wang Sheng

(Key Laboratory of Brodband Optical Fiber Transmission and Communication Networks UEST of China, Ministry of Education Chengdu 610054)

Abstract This paper gives a discussion about different survivability strategies, especially focus on dedicated path-protection(DPP) and shared path-protection(SPP); at the same time, results of simulation experimentation aimed at comparing their performance are analyzed, which fetchs out the conclusion: shared path-protection can use the wave length resources more sufficiently than pedicated path-protection can.

Key words wavelength division multiplexing; survivability; shared risk link group; dedicated path-protection; shared path-protection; load balance

波分复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)技术可以充分利用光纤的低损耗带宽, 在一根光纤中的不同波长上异步、高速传输多种格式的信号。使用光分插复用器(Optical Add/Drop Multiplexer, OADM)和光交叉连接(Optical Cross-Connect, OXC)的WDM光传送网近年来已逐渐在骨干网中占据主导地位。但是, 波分复用使WDM网络在网络部件失效时可能遭受比传统网络更大的损失, 如一根光纤断裂会使经过它的所有光路(Lightpath)同时失效。因此抗毁机制和网络生存性对于WDM网络显得更加重要。

1 光网络生存性策略

由于每条光路承载聚合了若干业务, 当网络中出现故障时, 业务传送能否保持其连续性就成为至关重要的问题。网络生存性(Network Survivability)是网络能够恢复受到失效(如链路、节点等失效)影响的业务的能力。网络采用的基本生存性机制有: 基于专用资源的保护机制和实时寻找可用资源的动态恢复机制^[1]。

1) 保护机制(Protection Scheme): 采用预先规划(Pre-Planned)的方法分配网络资源, 防止未来预期可能出现的网络失效。其优点是保护通路的路由和需要的资源已预留, 失效恢复时间很短, 可以控制在毫秒

收稿日期: 2004-07-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60302010)

作者简介: 邓秋红(1977-), 女, 硕士生, 主要从事光网络业务量工程方面的研究。

级;缺点是灵活性不足,不能保证对预期外的失效作出良好反应。如保护机制是针对防止单链路失效,如果网络出现多处失效,就不能保证所有业务都不受到影响。

2) 恢复机制(Restoration Scheme):在网络出现失效后,动态寻找可用资源并采用重选路由(Rerouting)的方法绕过失效部件。恢复机制能比保护机制更有效地利用网络资源,但失效恢复时间较长。恢复机制的灵活性强于保护机制,可用于网络出现预期范围以外失效时的业务恢复。

由于恢复机制的恢复时间长,常常不能满足网络用户对服务质量的要求,所以较普遍采用的是保护机制。目前大多数研究是针对单链路失效的保护,主要有链路保护和基于通路的保护两种方案。

1) 链路保护是在工作光路经过的链路附近设置备用路由并同时预留相应的备用波长。此方案的优点是链路失效时的重路由只限于局部范围内,无需通知光路的源目的节点并导致整条光路上的业务倒换。当网络较大时,业务恢复速度比通路保护方案更快。缺点是多数情况下需要预留更多的冗余资源。

2) 在通路保护中,每条光路在建立时就已经预设了一条端到端的备用光路并预留了波长资源。该方案缺点是业务倒换涉及整条工作路和保护路上的所有节点,需要多种信令消息的传递确认,步骤较复杂,时间长于链路保护^[2];优点在于可以全局优化资源配置,提高网络资源的利用率,且工作光路失效时不需要对失效位置精确定位,因为工作路和保护路是完全分离的。

通路保护方案又分为两种策略:专用通路保护(1+1保护)和共享通路保护(N+1保护)。

1) 专用通路保护(Dedicated Path-Protection, DPP):为每条工作路分配一条专用的保护路,预留的波长资源为其独享。DPP具有最高的可靠性,还可以应付在一条工作路上发生多段链路失效的情况。

2) 共享通路保护(Shared Path-Protection, SPP):备用通路在各条链路上预留的备用波长可以在多条备用通路间共享,只要这些备用通路不会同时启用。SPP能够比DPP更充分地利用波长资源^[3]。

在配置光路时一个重要原则是:工作光路与保护光路物理分离,如果是共享通路保护,共享保护波长资源的工作路之间也要保证物理分离。物理分离根据防止的失效程度不同具有多种含义,如节点分离、链路分离和范围分离等^[4]。因特网工程部(The Internet Engineering Task Force, IETF)在草案文本中提出共享风险链路组(Shared Risk Link Groups, SRLG)的概念,对“物理分离”进行了抽象和扩展。SRLG是指共享相同物理资源(即共享相同失效风险)的一组链路。每个SRLG都对应唯一的一个标识,叫做SRLG ID。网络操作者可以依据一定的策略指定物理链路属于不同的SRLG来满足不同的可靠性要求。每条链路可能属于多个SRLG,所以具有不止一个SRLG ID,用一个SRLG list来表示一条链路的全部SRLG ID。在本文研究的网络中,路由计算及波长配置采用SRLG分离原则。

在常规状态下的实际网络运行中,故障发生的间隔时间远大于故障恢复时间。因此可认为在某个时刻,网络中只可能发生一处故障,并且在该故障恢复前没有新故障发生。对于通路保护,在故障发生后可采用:对工作路受到影响的业务,只需将受损业务倒换到保护路上,等待故障恢复后,再倒换回原来的工作路即可。对保护路受到影响的业务,不需进行任何倒换操作,也不用为该业务计算新的保护路,只要等待故障恢复,该保护路又可作为备用路径。

2 两种通路保护的算法思想

本文研究的网络模型是基于全光的网络,网络中没有电的交换设备,不能进行多跳光路串联,设定节点具有波长转换能力。故障随机发生并恢复,而且同一时间网络中只可能有最多一处故障。业务需求以波长为基本单位。主要讨论采用专用通路保护和共享通路保护两种策略下业务请求的阻塞率和网络资源占用情况,采用全网统一配置光路的方法以满足一定优化目标。输入网络拓扑,指定每条链路的SRLG list;输入各业务的源、宿、要求波长数量;输出为各业务配置的工作路及保护路信息,计算全网被占用的总资源数,输出由于资源限制不能成功建立工作路及保护路的业务,计算业务阻塞率。

算法的根本出发点是将实际网络映射成一个图,节点抽象为图中的顶点,链路抽象为边,用狄杰斯特拉(Dijkstra)算法计算最短路径。为使路由由算法具有一定的扩展性,实际采用的是K路由算法,以满足一些约束条件(因为Dijkstra算法不能求带约束条件的最短路径)^[5]。

采用的选路算法的优化目标是占用资源最少,即占用的总波长数最少,也就是所有光路(包括工作路和保护路)所经过的物理跳数总和最小。在此优化目标下,设定所有链路的权值相同,均为1。

实现优化目标的关键是先对所有业务请求进行排序,将可能占用更多网络资源的业务请求放在优先处理的位置,保证在资源较丰富的情况下为这些业务配置资源,从而得到效率较高、全局资源占用较小的配置结果^[5]。计算最小代价路径用到的算法又分为考虑负载均衡(Load Balance)和不考虑负载均衡两种情况。考虑负载均衡的算法运用了Tie-breaking思想:即在迪杰斯特拉算法的标记过程中,若两条路径的代价相等,则选择路径上最大链路使用率小的那条;即配置资源时尽量选择负载不重的链路使用。这样可以使整个网络不出现某些链路负载过重而某些链路过于空闲的不平衡状态。

2.1 专用通路保护(DPP)

1) 所有业务请求的排序方法:设在源节点 s 和目的节点 t 之间的业务请求为 $T(s,t)$ 。为所有的业务求出最短路径,得到源节点 s 到目的节点 t 的跳数,设为 h_{st} 。设业务 $T(s,t)$ 请求建立的光路数为 n_{st} ,求出每个业务的 $h_{st} \times n_{st}$ 值,然后按 $h_{st} \times n_{st}$ 从大到小排序。

2) 处理每个业务的步骤:

(1) 用 $K(K=1)$ 路由算法为它求一条最短路径(如果有约束条件,求出的是满足约束的最短路径),将此路径作为工作路;在“图”中将工作路所经过的节点及与工作路属于相同SRLG的链路删除,再用 $K(K=1)$ 路由算法为它求一条(满足约束的)最短路径,将此路径作为保护路。在 K 路由算法中分别采用考虑了负载均衡和不考虑负载均衡两种算法求最短路径。

(2) 修改链路剩余容量。将工作路所经过链路的剩余容量减1,保护路经过的链路的剩余容量也减一。(由于保护路是为某业务专用,所以保护路上预留的波长资源不能为其他业务共享,相当于被占用了)。

(3) 继续下一个业务,重复步骤(1)、(2),直到所有业务处理完。

2.2 共享通路保护(SPP)

1) 按照与DPP的算法中第1)步相同的方法,对所有业务排序。

2) 处理每个业务的步骤:

(1) 用 $K(K=1)$ 路由算法为它求一条(满足约束的)最短路径,将此路径作为工作路;在“图”中将工作路所经过的节点及与工作路属于相同SRLG的链路删除,再用 $K(K=1)$ 路由算法为它求一条(满足约束的)最短路径,将此路径作为保护路。在 K 路由算法中分别采用考虑了负载均衡和不考虑负载均衡两种算法求最短路径。对保护路经过的每条链路,需记录共享此保护资源的所有业务所对应的工作路的SRLG信息,记录形式为{SRLG list1, SRLG list2, ...}。

(2) 修改链路剩余容量。将工作路所经过链路剩余容量减1。对保护路经过的链路,用其对应业务的工作路SRLG信息与{SRLG list1, SRLG list2, ...}中的每个SRLG list比较。只要与其中一个SRLG list不同,说明本业务可以和这个SRLG list对应的业务在这条链路上共享保护资源。即在这条链路上,不用为该业务额外预留保护资源,链路剩余容量不变。

(3) 继续下一个业务,重复步骤(1)、(2),直到所有业务处理完。

如果遇到不能成功配置工作路和保护路的业务,则拒绝此业务请求。最后可计算:

$$\text{业务阻塞率} = \text{被拒绝业务数量} \div \text{业务请求总数}$$

$$\text{网络资源占用总数} = \text{波长资源总数} - \text{链路剩余容量}$$

式中 波长资源总数是各条链路的波长数之和;链路剩余容量指所有业务都配置完以后,被修改过的链路剩余容量,即未被使用也未被预留的波长数。

3 仿真分析

仿真的目的是比较在不同的网络负载情况下,不同的保护策略、不同的选路算法对业务阻塞情况和网络资源占用情况的影响。分为四种策略讨论:

1) 考虑负载均衡的专用通路保护算法(DPP with LB)。

- 2) 不考虑负载均衡的专用通路保护算法(DPP without LB)。
- 3) 考虑负载均衡的共享通路保护算法(SPP with LB)。
- 4) 不考虑负载均衡的共享通路保护算法(SPP without LB)。

模拟一个14节点的网络, 每个节点具备波长转换能力; 共有28条链路, 每条链路具有16个波长。每个业务请求只要求一个波长。当网络达到满负荷时, 共需建立182(14 × 13)条工作光路; 定义业务请求在70 ~ 110条工作光路之间时为中等负载。每条链路分别属于三个SRLG, 具有三个SRLG ID。

在不同的网络负载下, 统计三个指标:

- 1) 波长资源使用量, 即所有链路上被占用或被预留的波长总数(网络拥有的全部波长资源为448)。
- 2) 业务阻塞率。如果由于网络资源受限不能为某业务成功建立工作路和保护路, 则该业务请求被拒绝。业务阻塞率是被拒绝业务占总业务请求的比率。
- 3) 每个业务请求平均占用波长, 即每个被接纳的(成功配置了工作路和保护路的)业务请求所平均占用的波长数。计算公式为: 网络被占用总波长数 ÷ (业务请求数 - 被拒绝的业务请求数)。该指标反映了实际上的波长资源利用率, 指标值越低, 则波长资源利用率越高。

网络拓扑如图1所示。仿真结果如图2~4所示。

从图2中可以看出, 负载很低时, DPP和SPP的业务阻塞率都较低, 相差不大。随着负载增加, DPP的业务阻塞率明显大于SPP。同等负载下, SPP成功建立光路的业务数高于DPP, 这是由于DPP要求专有工作路及保护路, 对资源量要求高, 容易使资源短缺从而业务被拒绝。

从图3中可以看出, 当网络负载较低时, DPP与SPP占用的波长数量相差不大。当负载达到、超过中等水平时, SPP占用的波长资源大于DPP, 与前文提到的“SPP能够比DPP更充分利用波长资源矛盾”。深入分析, 可以发现在网络负载增大时, 由于DPP的业务阻塞率明显高于SPP, 导致SPP成功接纳的业务数显著大于DPP, 从而SPP实际占用的波长数多于DPP。由图4可以验证此分析, 图中可以看出, SPP的平均占用波长数低于DPP, 即SPP的波长资源利用率高于DPP, 这主要是因为SPP在多个业务间共享保护资源。由于同样的原因, 虽然负载较大时SPP接纳的业务数量显著大于DPP, 但两者实际占用波长资源的差距不会太悬殊。

从图2和图3中还可以看出, 采用考虑负载均衡的选路算法性能上和不考虑负载均衡的算法相去不远, 前者略微优于后者。就资源占用情况看, 考虑LB的倾向于比不考虑LB的多占用一点资源。这是因为本文采用的算法中, 对负载均衡的考虑并不深入, 没有将其作为选路时的一个约束条件。只是在选路过程中出现跳数相同的路径时将链路利用率作为一个选择标准。因此, 这里所谓的LB对网络性能的影响不太明显。

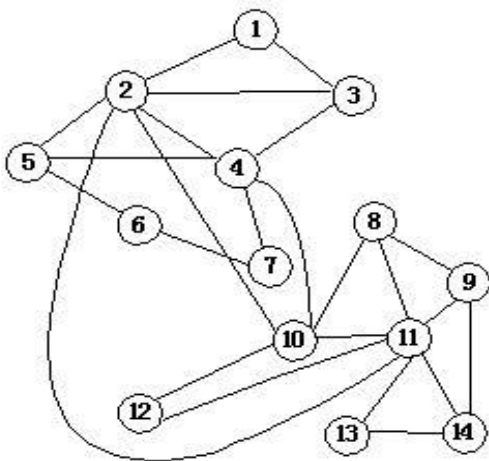


图1 网络拓扑图

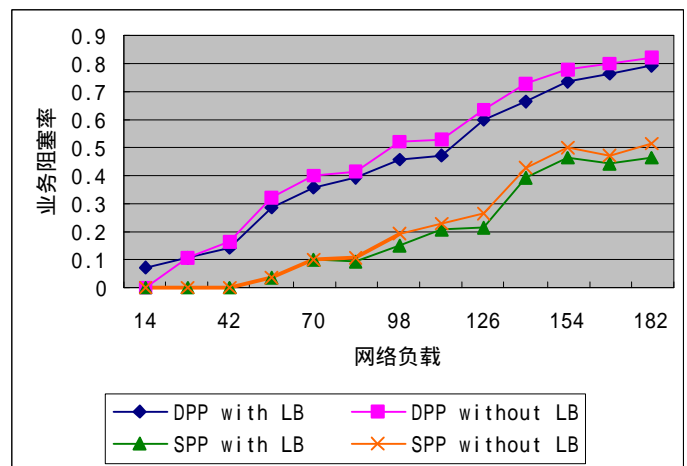


图2 不同网络负载下的业务阻塞率

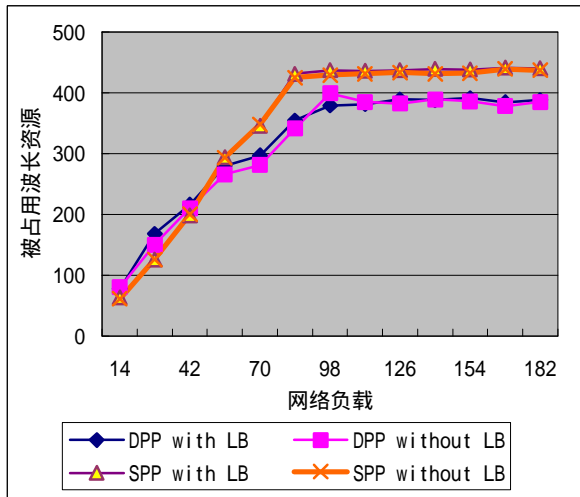


图3 不同网络负载下的资源占用情况

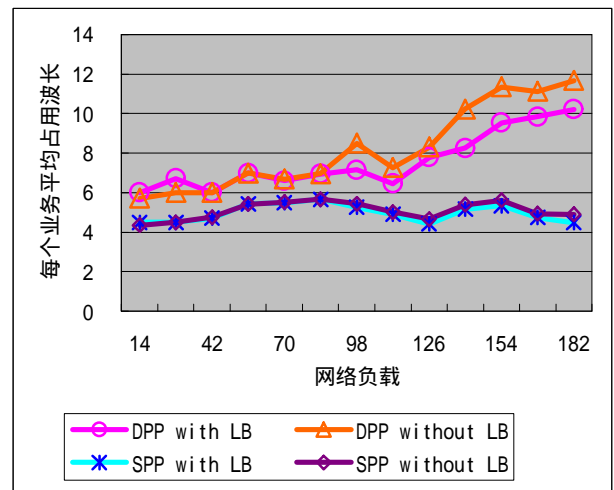


图4 不同网络下的单个业务平均占用波长)

4 结论

综合上面的分析,结合目前网络用户的要求,在常规状况下,以目前的网络规模而论,采用共享通路保护策略比较合适,能够达到较快的恢复速度、较低的业务阻塞率、较高的网络资源利用率。如果要满足一些特别重要业务的特别安全要求,可以采用专用通路保护和共享通路保护相结合的方式:对有特别要求的业务,采用DPP,而对其他业务,采用SPP,如此可以充分利用SPP对网络性能的改善优化作用,充分利用网络资源。

参 考 文 献

- [1] 王 焯, 李乐民, 王 晟. IP-over-WDM网络结构和生存性研究 [J]. 四川通信技术, 2001, 31(3): 2-9
- [2] 王 焯. WDM光传送网保护设计的研究[学位论文][D]. 成都: 电子科技大学, 2001
- [3] 司 昕, 施社平, 罗忠生. 基于GMPLS的光网络保护和恢复机制[J]. 高技术通信, 2003, (9): 10-15
- [4] 何荣希, 张治中, 李乐民, 等. IP/MPLS overWDM 网中基于共享风险链路组限制的共享通路保护算法[J]. 电子学报, 2002, 32(11): 1 638-1 642
- [5] 黄锡兵. WDM网络中的多约束静态路由波长分配算法研究与实现[学位论文][D]. 成都: 电子科技大学, 2004

编 辑 漆 蓉