

企业承载解决方案

IP+光协同解决方案白皮书

文档版本 V1.0
发布日期 2011-04-12

版权所有 © 华为技术有限公司 2011。 保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

商标声明



HUAWEI 和其他华为商标均为华为技术有限公司的商标。

本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

注意

您购买的产品、服务或特性等应受华为公司商业合同和条款的约束，本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您的购买或使用范围之内。除非合同另有约定，华为公司对本文档内容不做任何明示或默示的声明或保证。

由于产品版本升级或其他原因，本文档内容会不定期进行更新。除非另有约定，本文档仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。

华为技术有限公司

地址： 深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼 邮编： 518129

网址： <http://www.huawei.com>

客户服务邮箱： support@huawei.com

客户服务电话： 0755-28560000 4008302118

客户服务传真： 0755-28560111

目 录

1 执行摘要/Executive Summary	1-1
2 简介/Introduction	2-1
3 解决方案/Solution.....	3-1
3.1 概述.....	3-1
3.2 光层保护.....	3-2
3.2.1 光线路保护.....	3-2
3.2.2 光通道保护.....	3-3
3.2.3 子网连接保护 SNCP.....	3-5
3.2.4 ASON 保护.....	3-6
3.3 IP/MPLS 层保护.....	3-12
3.3.1 故障检测技术.....	3-12
3.3.2 业务保护技术.....	3-13
3.4 IP+光保护协同.....	3-15
3.4.1 多层网络规划工具.....	3-15
3.4.2 SRLG 标识.....	3-16
3.4.3 控制层智能协同.....	3-17
3.4.4 层次化协同保护.....	3-17
3.5 IP+光运维协同.....	3-18
3.5.1 融合管理.....	3-18
3.5.2 可视运维.....	3-19
4 推广/Experience	4-1
4.1.1 方案认证和测试.....	4-1
4.1.2 全球的应用.....	4-2
4.1.3 行业领域案例.....	4-2
5 结论/Conclusion.....	5-1
6 缩略语表/Acronyms and Abbreviations.....	6-1

插图目录

图 3-1 IP+光协同解决方案.....	3-2
图 3-2 光线路保护应用.....	3-3
图 3-3 客户侧 1+1 保护应用	3-4
图 3-4 板内 1+1 保护应用	3-4
图 3-5 ODUk SNCP 保护.....	3-6
图 3-6 MESH 组网的业务保护和恢复.....	3-7
图 3-7 重路由关键流程.....	3-8
图 3-8 主备路径共享应用.....	3-9
图 3-9 业务关联	3-10
图 3-10 钻石级业务	3-11
图 3-11 银级业务.....	3-12
图 3-12 动态 SRLG 标识	3-17
图 3-13 IP+光 告警关联和根因分析.....	3-19
图 4-1 2010 年 EANTC 的 IP+光协同测试.....	4-1
图 4-2 华为 GMPLS/ASON 在 WDM/OTN 领域的应用	4-2
图 4-3 华为 NE40E+OSN6800 在荷兰教育网应用	4-3

表格目录

表 3-1 业务等级	3-10
------------------	------

1 执行摘要/Executive Summary

在企业跨区域、信息化浪潮中，企业跨部门、跨地区业务的协作对广域互联和骨干网存在着越来越多的依赖，对承载网络的可靠性和可维护性提出了更高要求。广域网络和骨干网的中断可能影响公司业务的正常运行，有时甚至会给企业带来灾难性后果。

而现实中广域网和骨干网存在着跨 IP 领域和光传送领域的对网络维护能力要求高、定位效率低下的问题。

华为的 IP+光协同方案作为“融·易·云网络”解决方案的重要组成部分，在融合智能光网络和路由器 IP/MPLS 的新技术的基础上，推出保护协同、运维协同的新方案、新概念，为企业应对跨区域、信息化挑战提供了高价值的解决方案。

华为的 IP+光协同方案具有如下特点：

- 高可靠性
运用跨层网络规划、保护和恢复相结合，提高网络可靠性和业务安全性。
- 简单易用
网络资源统一网管、跨域拓扑可自动发现，快速的端到端业务点击创建。
- 便于管理
跨域资源统一拓扑显示，故障告警根因分析，避免海量告警，实现快速定位。
- 新的业务类型
依据业务的重要性提供跨域多种差异化的业务等级服务（SLA）方案。

IP+光协同方案实现了网络从单域孤立、局部的保护与维护方案转向跨层、跨域的协同、高效的保护和维护方案转变。

2 简介/Introduction

企业业务的跨区域和信息化发展使得网络对企业日常运行的重要性也正在发生越来越深刻的变化，而网络自身也需要新的解决方案才能更好地适应这种变化。随着网络技术的发展，网络各产品面临的问题都已经有了解决方案。

光传送领域发展

GMPLS/ASON 技术引入光网络后，增加了高可靠性、高灵活性、高带宽利用率、高可维护可管理性、多业务等级、业务快速开通等优势，再加上 GMPLS 所带来的资源自动发现、流量工程、带宽动态调整、互联互通等技术，使光网络真正实现了可运营。

IP/MPLS 领域发展

路由器 IP/MPLS 领域的可靠性技术持续发展，BFD For Anything 和 MPLS OAM 为主流的故障检测技术解决了一些深层的故障（如转发引擎故障、链路单通等），通过专门的检测机制，包括探测、故障报告、故障切换等方面的考虑，利用快速的探测报文实现故障检测，触发 IP/LDP/TE FRR 等保护技术实现业务的快速切换。

新的挑战

网络产品在光网的智能化、路由器的可靠性技术发展同时，传统的分层网络也迫切需要解决 IP+光网络协同的问题。

- 生存性问题：单层网络进行可靠性规划时，缺乏对光层路径的考虑，导致 IP 层规划的保护路径和实际业务路由在光层体现为同一故障点，导致保护失效，网络生存性难以提供。
- 逻辑链路代价过大：单层网络进行设计时，对底层光路径的代价考虑不足，导致 IP 层设计的最优路径在光层其实存在着很大的资源浪费，实现代价过大。
- 保护配合意外：在光纤出现故障过程中传送层和路由器同时触发保护，导致业务多次震荡，容易出现保护配合意外事故。
- 定位困难：在单层网络的传统模式下，一条光纤的故障可能导致传送层和 IP 层出现海量告警，在缺乏告警关联和根因分析的情况下，导致网络问题定位困难、解决效率低下。

因此，在网络发展过程中，在传统路由器和光网络上进行多层网络协同，提供 IP+光网络的多层网络规划、保护协同和运维协同的解决方案是一种必然趋势。

3 解决方案/Solution

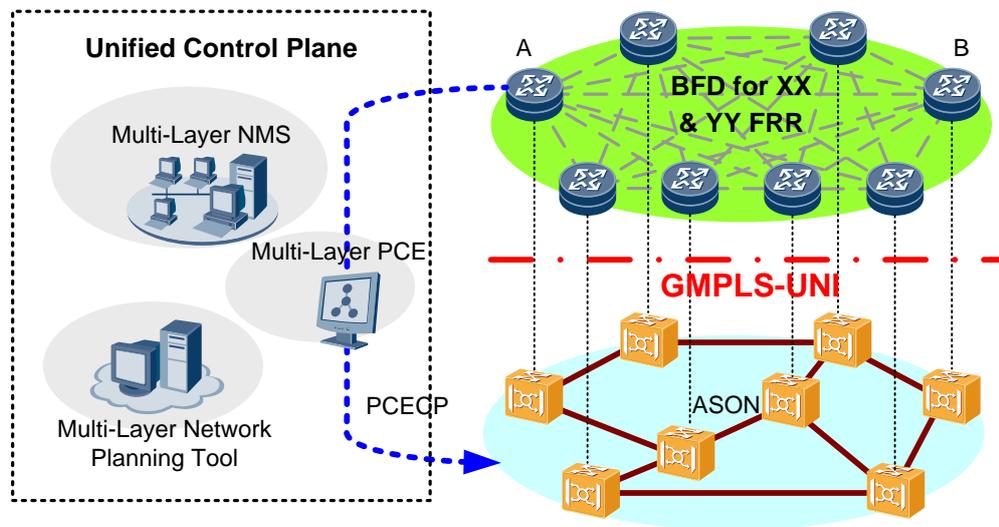
3.1 概述

IP+光协同解决方案是指在企业广域互联的骨干网络中，光网络通过 ASON 技术实现光层根据以太网流量带宽自动调整和长距传送，路由器按 IP/MPLS 等级提供差异化服务和质量保障，以 IP+光协同实现网络跨域的协同工作，提供高质量的、高可靠性、易运维的“融·易·云网络”服务。

IP 和光协同主要有两种模式：

- 静态协同模式
在静态规划协同模式下，跨域规划以经验积累的手动规划为主完成。跨层保护主要通过静态 SRLG 标识、各层保护倒换参数统一设置进行协同。并使用 U2000 进行网络统一的跨域拓扑管理和故障定位。
- 动态协同模式：
在动态协同模式下，跨域规划以智能的多层网络规划工具来完成，跨层保护通过基于 GMPLS-UNI 的动态 SRLG 标识方式和部署多层 PCE 来实现，实现全面智能的协同化。

图3-1 IP+光协同解决方案



企业广域互联/骨干网的 IP+光协同解决方案包括以下几个方面：

- 光层保护
- IP/MPLS 层保护
- IP+光保护协同
- IP+光运维协同

3.2 光层保护

光传送层是业务和数据的底层物理网络，它的设备和网络的可靠性直接关系到上层业务和数据网络的正常运行，因此光传送设备一般都具备较丰富的保护特性，具备较高的可靠性。

传送层的保护可分为设备级保护和网络级保护。设备级保护用于对单点设备进行保护，例如主控 1+1 保护、交叉 1+1 保护、输入电源保护和集中电源保护、风扇冗余保护、子架间通信保护等，本文不作详述。

网络级保护用于对整个网络的设备和链路进行保护，常见的保护技术如下：

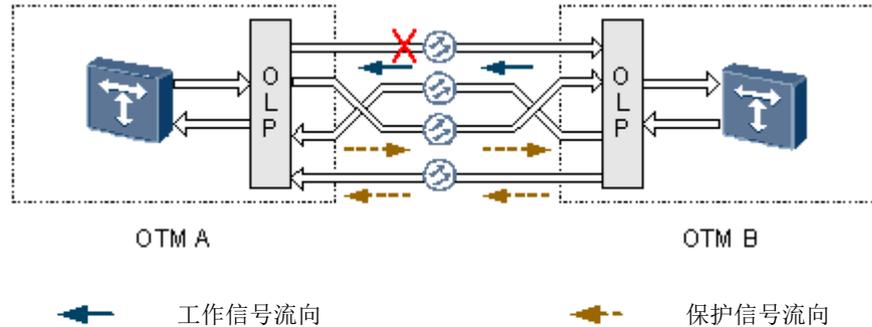
- 光线路保护
- 光通道保护
- 子网连接保护
- ASON 保护

3.2.1 光线路保护

光线路保护是指运用 OLP 单板的双发选收功能，在相邻站点间利用分离路由对线路光纤提供保护。

光线路保护采用两对光纤，一对为工作路径，在工作路径正常情况下传送业务信号；另一对为保护路径，在工作路径发生断纤或信号衰减过大情况下，承载业务信号，如图 3-2 所示。

图3-2 光线路保护应用



3.2.2 光通道保护

光通道保护包括客户侧 1+1 保护和板内 1+1 保护。

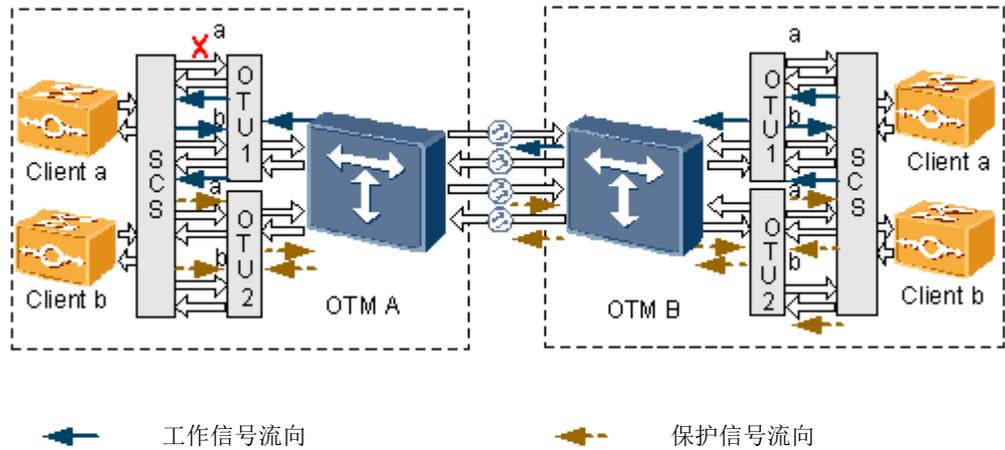
客户侧 1+1 保护

客户侧 1+1 保护通过运用 OLP/DCP 单板的双发选收或 SCS 单板的双发双收功能，对 OTU 单板及其 OCh 光纤进行保护。客户侧 1+1 保护通过占用工作及保护两个波长、两个波长采用不同的路由进行传输的方式，对 OTU 单板进行保护。

当使用 SCS 单板时，正常情况下，工作 OTU 单板的客户侧激光器打开，保护 OTU 单板的客户侧激光器关闭。当工作 OTU 单板检测到 SF 或 SD 信号时，工作 OTU 将上报 SCC 单板，SCC 单板关闭工作 OTU 单板的客户侧激光器，开启保护 OTU 单板的客户侧激光器。系统直接通过 SCC 单板实施保护倒换。

当使用 OLP 或 DCP 单板时，正常情况下，工作 OTU 单板和备用 OTU 单板的客户侧激光器都是打开的。当工作 OTU 单板检测到 SF 或 SD 信号时，工作 OTU 将上报 SCC 单板，SCC 单板关闭该 OTU 单板的客户侧激光器。OLP 或 DCP 单板检测到 R_LOS，实施保护倒换。

图3-3 客户侧 1+1 保护应用



板内 1+1 保护

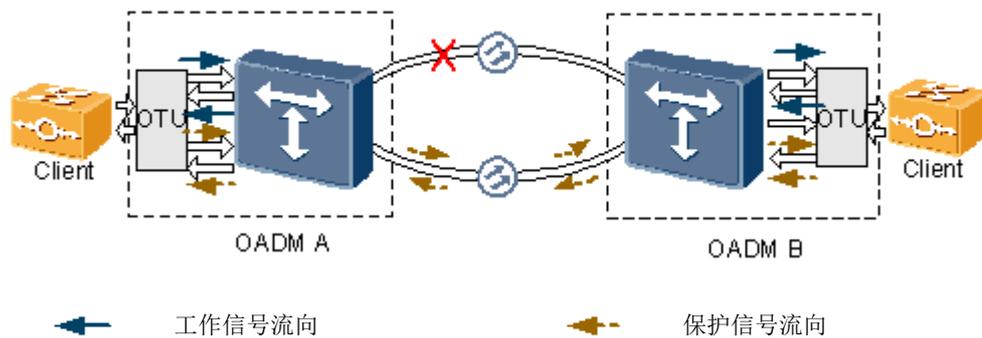
板内 1+1 保护运用 OTU/OLP/DCP 单板的双发选收功能, 利用分离路由对业务进行保护。板内 1+1 保护采用双发选收、单端倒换方式, 用于链形组网和环形网中。

当用于链型组网时, 板内 1+1 保护和光线路保护类似, 需要在相邻站点间提供分离路由。当用于环网时, 板内 1+1 保护利用环网上分离的路径进行保护, 即业务随顺时针、逆时针方向在环上传送, 最终到达目的节点。

板内 1+1 保护包括两种:

- 利用具有双发选收功能的 OTU, 实现对业务的保护, 如图 3-4 所示。
- 利用具有双发选收功能 OLP 或 DCP, 实现对业务的保护, 应用与 OTU 类似。

图3-4 板内 1+1 保护应用



3.2.3 子网连接保护 SNCP

子网连接保护 SNCP (Sub-Network Connection Protection) 是指对某一子网连接预先安排专用的保护路由,一旦子网发生故障,专用保护路由便取代子网承担在整个网络中的传送任务。

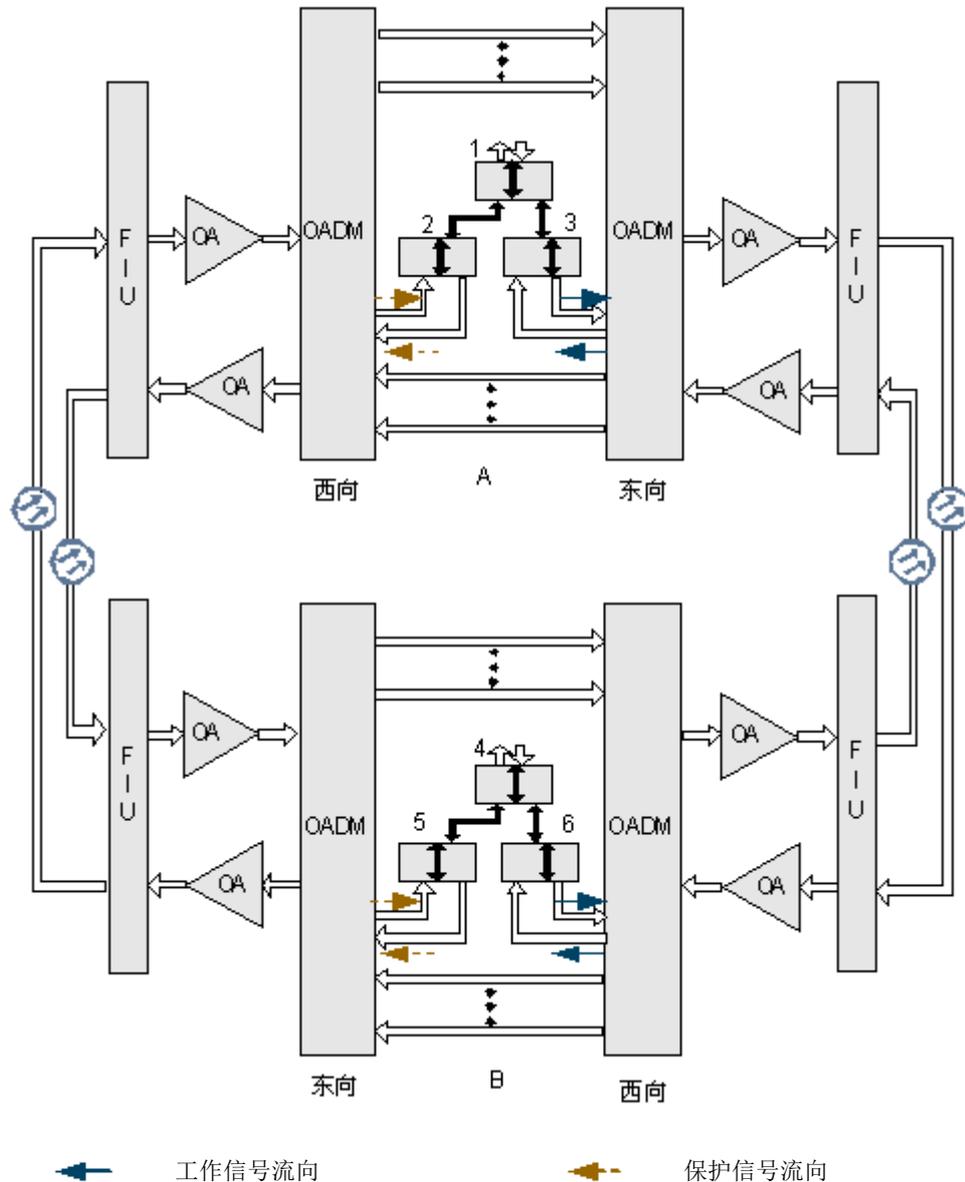
SNCP 是一种通道层的保护,无需 APS 协议,它可以应用在环网上形成二纤通道保护环。在网络结构日趋复杂的情况下,SNCP 是可适用于各种网络拓扑结构且倒换速度快的业务保护方式。

SNCP 通常可包括 SW(Sub-wavelength) SNCP、ODUk SNCP、VLAN SNCP、支路 SNCP、MS (Master Slave) SNCP 等。本节只以 ODUk SNCP 为例进行说明,其余内容可以参考对应传送设备(例如 OptiX OSN 6800)的产品文档。

ODUk SNCP 保护运用电层交叉的双发选收功能,对线路板和 OCh 光纤进行保护。要用于对跨子网业务进行保护,不需要协议。ODUk SNCP 可用于各种形式的组网,具有较大的灵活性。如图 3-5 所示。

- 在业务发送方向,需要保护的客户业务从支路板输入,通过交叉分成工作信号和保护信号,分别送往工作线路板和保护线路板。然后工作信号和保护信号分别在工作通道和保护通道里传输。
- 在业务接收方向,正常工作时,仅工作线路板对应的交叉连接生效,断开保护线路板的交叉连接。当工作通道故障时,线路单板检测并上报相关信号故障告警,产生 SF 或 SD 事件,主控板检测到 SF 或 SD 后,下发倒换命令,断开工作线路板交叉连接,保护线路板对应的交叉连接生效,业务信号工作在保护通道。
- 当工作路由恢复正常后,根据在网管上预先配置的恢复类型,业务信号可以恢复到指定的线路板所对应的交叉连接上。

图3-5 ODUk SNCP 保护



3.2.4 ASON 保护

在传统网络中，波分传输设备往往只作为光纤的替代，而现在已经开始直接承载用户业务，所以对设备的可运营的需求增加。传统网络中存在以下问题：

- 业务配置步骤复杂，扩容或新开通业务周期较长。
- 带宽利用率及效率低，环网结构需要预留一半的带宽。
- 保护单一，网络自愈保护性能差。

为了有效地解决上述问题，一种新型的网络体系应运而生，这就是自动交换光网络 ASON (Automatically Switched Optical Network)，也就是通常所说的智能光网络。它在传输网中引入了信令 (GMPLS-UNI)，并通过增加控制平面，增强了网络连接管理和故障恢复能力。它支持端到端业务配置和多种业务恢复形式。

ASON 相对传统 WDM 具备以下特点：

- 支持基于光学参数的路由计算策略，自动排除不满足光学参数要求的路径。
- 支持重路由和优化时波长自动调整，有效解决了波长冲突问题。
- 新建业务可自动分配波长。
- 支持端到端的业务自动配置。
- 支持拓扑自动发现。
- 支持 Mesh 组网保护，增强了网络的可生存性。
- 支持差异化服务，根据客户层信号的业务等级决定所需要的保护等级。
- 支持流量工程控制，网络可根据客户层的业务需求，实时动态地调整网络的逻辑拓扑，实现了网络资源的最佳配置。

下面着重描述基于 ASON 的传送层保护机制。

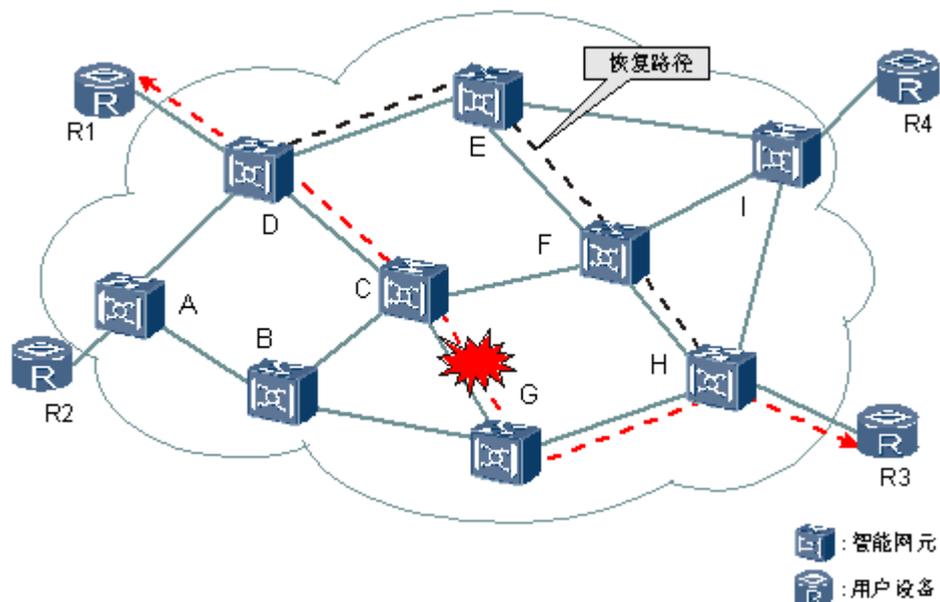
MESH 组网

Mesh 组网是 ASON 网络的主要组网方式之一，这种组网方式具有灵活、易扩展的特点。与传统 WDM 网络相比，在这种组网方式下，恢复路径可以有非常多条，提高了网络的安全性，并最大程度上利用整个网络资源。

在 Mesh 组网中，为使中断业务得以重新接通，除沿用传统的专用保护（如 1+1 保护）和共享保护外，还能够借助于重路由机制实现业务的即时恢复。也就是说，通过 MESH 组网，不仅可以提供传统的保护方式，还能够提供动态恢复的业务形态，甚至在保护失效的情况下还能提供业务恢复机制，使其只要有资源就不会中断业务。

如所示，C-G 之间的光纤断开时，为了达到业务恢复的目的，重新计算一条从 D 到 H 的路由。并建立新的 LSP，业务经新的 LSP 传送。

图3-6 MESH 组网的业务保护和恢复



动态重路由

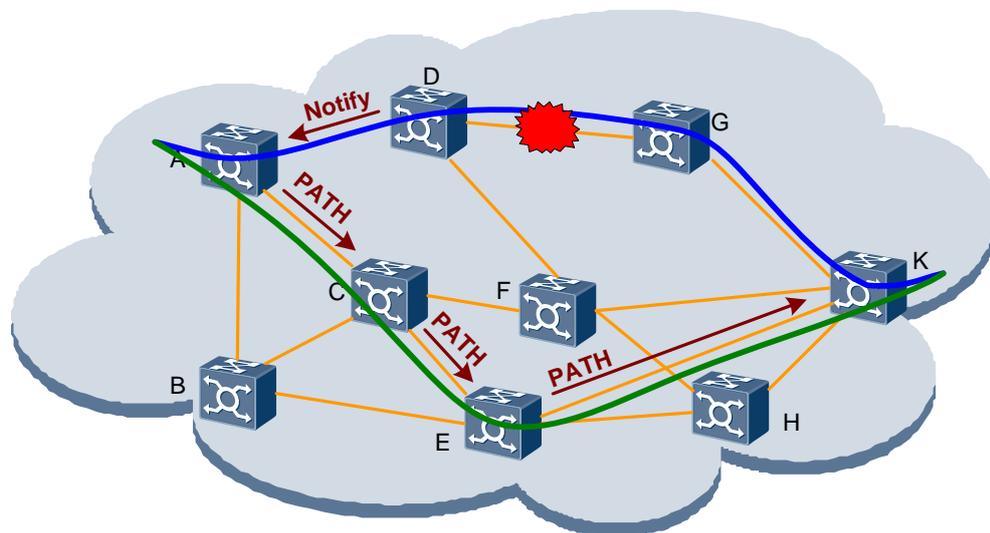
重路由是一种业务恢复方式。对于不可返回式业务，当 LSP 中断时，首节点计算出一条业务恢复的最佳路径，然后通过信令建立起一条新的 LSP，由新的 LSP 来传送业务。在建立了新的 LSP 后，删除原 LSP。

动态重路由是 GMPLS/ASON 带来的核心特性之一，是一种兼顾保护能力和资源利用效率的保护方式，也是对传统保护方式革命性的补充和改进。有了它，抗多次断纤的保护/恢复成为了可能。

如图 3-7 图所示组网拓扑，配置有一条从节点 A 经过 D、G 到节点 K 的 LSP，现在节点 D、G 之间断纤，那么其动态重路由过程为：

- 节点 D 的 FIU (对光层) 或 OTU (对电层) 检测到告警后，上报主控 GMPLS 模块；
- 节点 D 主控 GMPLS 模块检查受影响智能业务，向首节点 A 发送 Notify 消息；
- 首节点 A 的 GMPLS 模块收到 Notify 消息后，计算出一条端到端恢复路径，然后沿计算好的路径，经中间节点向末节点 K 方向发送 PATH 消息，在沿途各节点建立反向交叉连接；
- 末节点 K 的 GMPLS 模块收到 PATH 消息后，经由中间节点向首节点 A 方向发送 RESV 消息，在沿途各节点建立正向交叉连接；
- 首节点 A 收到末节点发过来的 RESV 消息后，打开告警监视，再向下游节点发送开告警的 PATH 消息。下游节点收到该消息后均打开对新业务路径的告警监视。
- 整条 LSP 的告警监视打开后，如果是不可返回式业务则删除老路径，整个重路由过程结束。

图3-7 重路由关键流程



预置恢复路径

对于可靠性要求更高的业务，可预置其恢复路径。当路径发生故障时，GMPLS/ASON 将按照用户设定的恢复路径进行恢复，保证了 GMPLS/ASON 网络业务路径的可控性。如恢复不成功，则按照动态计算出的路径进行重路由。这样可在一定程度上满足用户对业务恢复路径进行控制的需要。

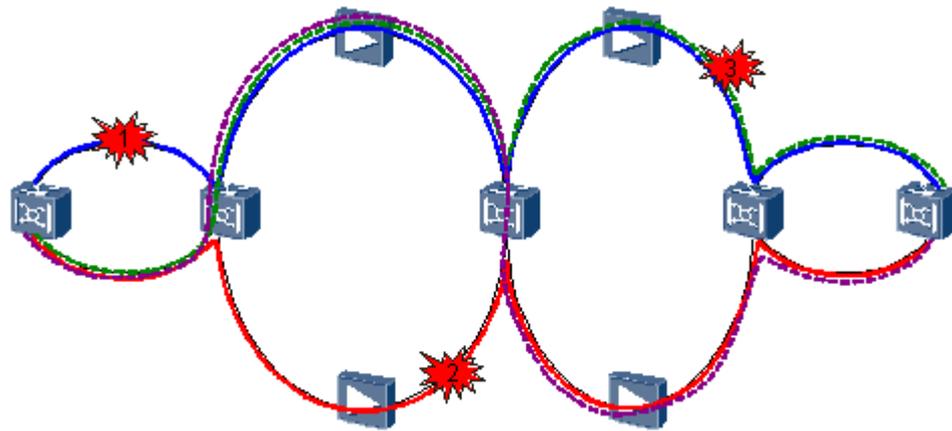
为保证多次断纤后重路由后的路由可控，ASON 软件支持对一条端到端可重路由（包括光层和电层智能）业务配置多条预置恢复路径。用户可以对一条 LSP 最多设置 2 条预置恢复路径，并且可以指定这两条预置恢复路径的优先级。

主备路径共享恢复

主备路径资源共享可以尽可能提供恢复资源。主要应用场景请参见图 3-8 所示的相切环组网拓扑。

蓝色和红色实线为主备路径，1、2 处断纤的发生使主备路径均失效，此时若主备路径不能共享，则该业务无法得到恢复资源。若能够共享，那么就可以将一部分主路径和一部分备路径拼凑起来找到一条恢复路径，即图中绿色虚线所示路径。同样地，3 处再断纤仍然能找到紫红色虚线所示路径将业务恢复。

图3-8 主备路径共享应用

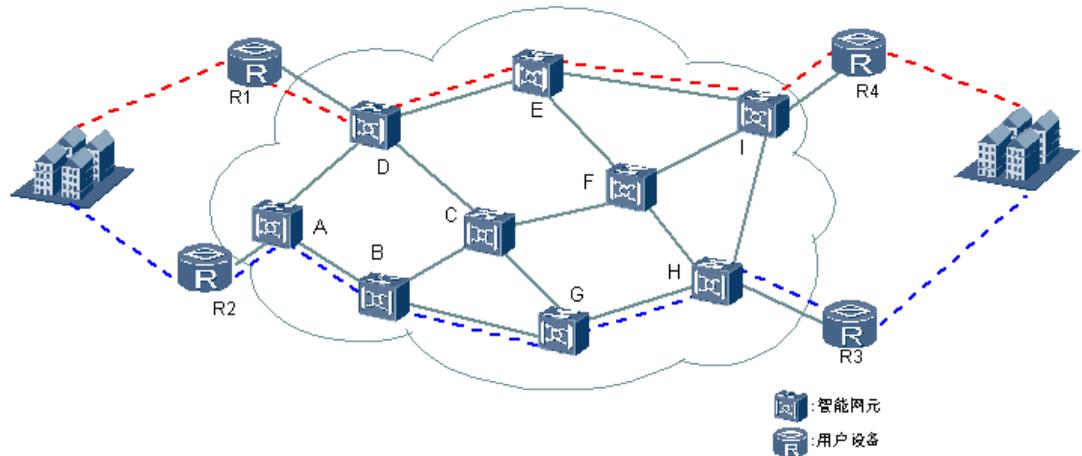


业务关联

业务关联是将两条 LSP 关联起来。在其中一条 LSP 重路由或优化时，尽量与另外一条 LSP 分离，而且不会与关联 LSP 完全重合。主要用来接入有两个接入点的业务（双归属业务）。

如图 3-9 所示，把 D-E-I 和 A-B-G-H 两条 LSP 关联。如果 B 和 G 之间断纤，则 A-B-G-H 这条 LSP 将进行重路由，而且会尽量避开 D-E-I 这条链路。

图3-9 业务关联



差异化服务 SLA

基于 WDM/OTN 的 GMPLS/ASON 可提供多种保护能力不同的业务，包括钻石、银和铜级业务。不同级别的业务，费用不同，这样的差异化服务可以更灵活地满足用户的不同需求。如表 3-1 所示。

表3-1 业务等级

业务	保护和恢复策略	实现方式	倒换时间
钻石级业务	保护与恢复	板内 1+1 保护, ODUk SNCP, SW SNCP 和重路由	小于 50ms
银级业务	恢复	重路由	-
铜级业务	无保护不恢复	-	-

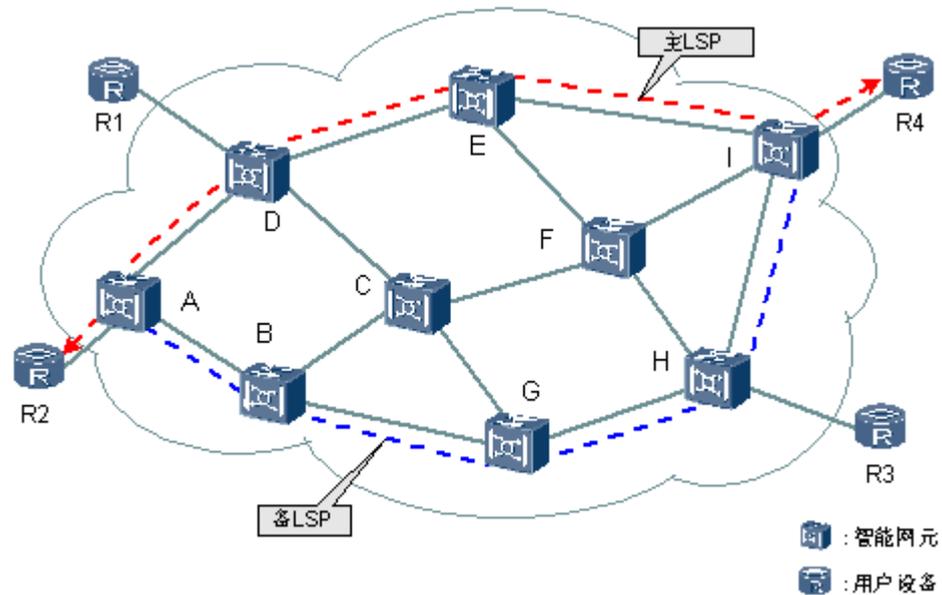
1. 钻石级业务

钻石级智能波分路径的保护能力最强，在资源充足的前提下提供永久的 1+1 保护。包括钻石级智能波分 ODUk 路径。主要用于传送重要的语音和数据业务，重要客户专线，如银行、证券、航空等。

钻石级业务是指一条从源节点到宿节点的具有 1+1 保护属性的业务，也叫 1+1 业务。在源节点和目的节点之间同时建立起两条 LSP，这两条 LSP 的路由尽量分离。一条称为主 LSP，另一条称为备 LSP。源节点和目的节点同时向主 LSP 和备 LSP 发送相同的业务。目的节点在主 LSP 正常的情况下，从主 LSP 接收业务；当主 LSP 失效后，从备 LSP 接收业务。

钻石级业务如图 3-10 所示。

图3-10 钻石级业务



钻石级业务的重路由策略有如下三种：

- 永久 1+1 钻石级业务：任意一条 LSP 失效即触发重路由。
- 重路由 1+1 钻石级业务：两条 LSP 都失效才触发重路由。
- 不重路由钻石级业务：不管 LSP 是否失效，都不触发重路由。

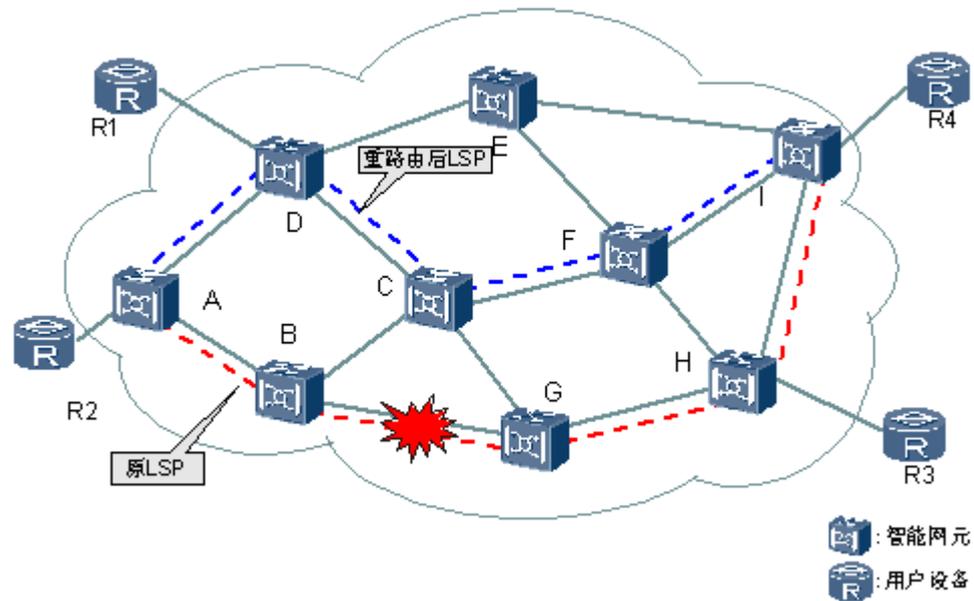
2. 银级业务

银级智能波分路径包括光层智能波分 OCh 路径、电层智能 ODUk 路径和 Client 路径，恢复时间为秒级，适用于实时性要求不太高的数据业务、小区上网业务等。

银级业务指从源节点到目的节点的具有重路由保护属性的业务连接，也叫重路由业务。如果银级业务的 LSP 失效，会不断发起重路由进行业务恢复，直至重路由成功。由于银级业务实时计算恢复路径，无需预先预留资源，故带宽利用率高。但如果网络资源不足，可能造成业务中断。

如图 3-11 所示，A-B-G-H-I 是一条银级业务。当 BG 之间断纤，则从 A 点发起重路由，避开 BG 这段光纤，重新建立一条业务连接，从而达到保护目的。

图3-11 银级业务



3. 铜级业务

铜级智能波分路径应用很少，一般适用于配置临时业务，如节假日期间的突发业务。包括铜级光层智能波分 OCh 路径、电层智能 ODUk 路径和 Client 路径。

铜级业务就是无保护业务。如果 LSP 失效，不会发起重路由，业务中断。

3.3 IP/MPLS 层保护

IP/MPLS 网络可靠性技术基本都是围绕着如何提高故障检测时间和加强网络保护手段的方向，研究如何更好的将故障检测与网络保护结合起来，达到网络可靠性的要求。

3.3.1 故障检测技术

传统的故障检测技术是通过检测设备接口的状态来发现故障，这种方式只能检测简单的物理故障，而对于更深层的故障（如转发引擎故障、链路单通等）只能依靠上层的路由协议通过 Keep alive 或 Hello 报文来发现故障。这种机制不仅检测时间慢、开销大，而且存在应用场景的限制（不能跨协议）。

因此，为了提高 IP/MPLS 层的故障检测时间和效率，需要使用检测速度快、支持各种协议的故障检测机制。目前主要采用的机制有 MPLS OAM 和 BFD 技术。

BFD

BFD（Bi-directional Forwarding Detection）是一个简单的交互检测协议，用于快速检测系统之间的通信故障，并在出现故障时通知上层应用。

BFD 具有如下特性：

- 可以对相邻转发引擎之间的通道提供轻负荷、快速故障检测。这些故障包括接口故障，数据链路故障，甚至有可能是转发引擎本身故障。BFD 的故障检测时间一般在 50ms 以内。
- 提供一个单一的机制，能够用来对任何媒介、任何协议层进行实时地检测。实现 BFD for Everything，例如 IS-IS/OSPF、BGP、LSP、TE 等等。

在目前网络中，BFD 已经被广泛应用于各种链路、协议的故障检测。

MPLS OAM

MPLS OAM 是一个针对 MPLS 的 LSP 连通性的快速检测机制，通过 LSP 中各节点之间的 OAM 报文的快速交互，实现对于 LSP 连通性的检测。

MPLS OAM 不依赖于任何上层或下层的机制，主要实现以下功能。

- 有效检测、识别和定位 MPLS 用户层面故障。
- 衡量网络的利用率以及度量网络的性能。
- 在链路出现缺陷或故障时迅速进行保护倒换，以便能根据与客户签订的 SLA (Service Level Agreements) 提供业务。

关于 MPLS OAM 的详细信息可参考 ITU-T Recommendation Y.1710 和 Y.1711。

3.3.2 业务保护技术

IP/MPLS 网络的每个部件都有可能出现故障，而采取的网络保护手段也有所不同。例如：

- 应用主控冗余、单板热插拔、GR 等保证设备层故障。
- 应用 VRRP、GLBP 等技术提高网关节点可靠性。
- 通过 IGP 快速收敛、TE FRR 保证网络路径的可用性。
- 通过 VPN FRR 保证 PE 节点可靠性。

下面就对各种常见的保护技术进行简单的说明。

IGP 快速收敛

IGP 快速收敛的目的在于当网络发生故障时，提高 IGP 重新计算和路由收敛的速度。IGP 快速收敛是由多项技术结合而成的，主要包括如下特性。

- **I-SPF (Incremental SPF)**: 增量路由计算，它每次只对变化的一部分路由进行计算，而不是对全部路由重新计算。
- **PRC (Partial Route Calculation)**: PRC 的原理与 I-SPF 相同，都是只计算变化的那一部分。但 PRC 不需要计算节点路径，而是根据 I-SPF 算出来的 SPT 来更新叶子（路由）。
- **LSP 快速扩散**: 路由器收到一个或多个比较新的 LSP 时，在路由计算之前，先将小于指定数目的 LSP 扩散出去，加快 LSDB 的同步过程。这种方式在很大程度上可以提高整个网络的收敛速度。

- **智能定时器：**智能定时器可以根据路由信息变化的频率自动调整延迟时间，既保证了路由快速收敛，且不影响路由器效率。智能定时器包括 SPF 智能定时器和 LSP 生成智能定时器。

IP FRR

传统的 IP 网络中，从检测出故障，到路由系统完成路由收敛，一般需要几秒钟的时间。对于网络上某些对延时、丢包等非常敏感的业务来说，这种收敛速度无法容忍。比如 VoIP 业务所能容忍的网络中断时间为毫秒级。

IP FRR 特性能够保证转发系统快速地对于这种故障进行检测并采取措施，尽快让业务流恢复正常。IP FRR 的主要实现思想如下：

- 在主链路可用时，通过 Route-Policy 设置 IP FRR 策略，把备份路由的转发信息同时提供给转发引擎。
- 当转发引擎感知到主链路不可用时，能够在控制平面路由收敛前直接使用备份路径转发信息。

IGP Auto FRR

IP FRR 的备份下一跳是通过手工配置生成的，配置复杂，且需要依靠人为规划避免环路问题，容易出错。为了克服 IP FRR 的技术缺陷，引入了 IGP Auto FRR。

IGP Auto FRR 是 IGP 利用收集到的链路状态信息动态决策出 IP FRR 备份的技术，其 IP 备份下一跳完全由路由协议根据链路状态信息结合公式自动生成，无需人工干预，极大的节约了维护的成本。

BGP FRR

IGP /LDP FRR 技术对链路故障的情况，可以做到快速的路径切换，但是当 BGP 节点发生故障时，需要 BGP 控制层面收敛，然后重新下转发表，收敛时间可能达到秒级，BGP 下一跳分离技术可以加快控制层面的收敛速度，但仍然无法达到电信级的可靠性要求。

BGP FRR 技术采用转发层面的直接切换的方式，将次优 BGP 邻居的 LDP Label/BGP Label 直接作为备份放置到转发表中，当 BFD 等快速检测机制检测到最优 BGP 邻居故障时，直接切换到备份的表项，实现业务的快速收敛。

LDP FRR

在 LDP 层面，通过 LDP FRR 可以实现 LDP LSP 的快速收敛，LDP FRR 是指将设备将 LDP 的最优路由作为转发表项的同时，将 LDP 的次优路由作为备份路径，同时放到转发表中。在最优的下一跳发生故障时，直接使用备份路径/标签进行转发。

通过 BFD 检测可以快速检测与最优下一跳的连接情况，可以实现 50ms 的收敛速度。

LDP FRR 收敛技术的使用是有一定限制的，比如在环网的情况，可能会出现次优下一跳将报文送回本节点从而形成转发环路的情况。

相比 RSVP TE 的 FRR 保护技术，LDP FRR 保护基于单点的行为，不需要端到端的保护。

MPLS TE FRR

MPLS TE FRR 是 MPLS TE 中一套用于链路保护和节点保护的机制。当 LSP 链路或者节点故障时，在发现故障的节点进行保护，这样可以允许流量继续从保护链路或者节点的隧道中通过，以使得数据传送不至于发生中断，同时头节点就可以在数据传送不受影响的同时继续发起主路径的重建。

MPLS TE FRR 的基本原理是用一条预先建立的 LSP 来保护一条或多条 LSP。预先建立的 LSP 称为 FRR LSP，被保护的 LSP 称为主 LSP。MPLS TE FRR 的最终目的就是利用 FRR 隧道绕过故障的链路或者节点，从而达到保护主路径的功能。FRR LSP 和主 LSP 的建立过程需要 MPLS TE 系统的各个构件参与。

MPLS TE FRR 是基于 RSVP TE 的实现，遵循协议 RFC4090。

VPN FRR

MPLS TE FRR 对于 TE 隧道起始点和终结点的两个 PE 设备之间的链路故障和节点故障，能够提供很好的保护，但是不能保护解决隧道起始点和终结点的 PE 设备。

一旦 PE 节点发生故障，只能通过端到端的路由收敛、LSP 收敛来恢复业务，其业务收敛时间与 MPLS VPN 内部路由的数量、承载网的跳数密切相关，在典型组网中一般在 5s 左右，无法达到节点故障端到端业务收敛小于 1s 的要求。

VPN FRR 利用基于 VPN 的私网路由快速切换技术，通过预先在远端 PE 中设置指向主用 PE 和备用 PE 的主备用转发项，并结合 PE 故障快速探测，旨在解决 CE 双归 PE 的 MPLS VPN 网络中 PE 节点故障导致的端到端业务收敛时间长（大于 1s）的问题，同时解决 PE 节点故障恢复时间与其承载的私网路由的数量相关的问题，在 PE 节点故障情况下，端到端业务收敛时间小于 1s。

3.4 IP+光保护协同

广域互联/骨干网的故障影响范围非常广泛，通常一个广域互联/骨干网络故障会影响到成千上万的企业业务，直接影响企业的生产效率和对市场变化的快速响应。因此广域互联/骨干网的可靠性对于企业的运营和竞争力有至关重要的影响。

虽然 IP 层和传送层各自都有丰富的保护，但是在保护的配合上存在一定的问题。或者是保护不成功，或者是重复保护，不仅浪费资源而且影响业务质量。

保护协同就是通过 IP 层和传送层的联合保护，根据广域互联/骨干网的不同需要，提供最优的联合保护方案，主要包括多层网络规划工具、静态/动态 SRLG 标识、控制层智能协同和层次化协同保护方案等。

3.4.1 多层网络规划工具

传统的广域互联/骨干网络是逐层规划的，因此存在网络资源利用率不高、QOS 及可靠性部署复杂的问题，并且网络规模很大时难以做到多人同时设计。

相比传统的单层网络规划工具，多层网络规划工具可大幅提高资源利用率和网络可靠性。

- 通过跨 IP 层和传送层的协同规划，可以根据业务流量统筹分配两层的带宽资源，实现业务流量的协同承载，提高资源利用率。

- 通过两层的协同规划，避免一个故障激发两层各自保护而导致资源浪费，实现高效保护，提高网络可靠性，是实现骨干网 IP 层和传送层智能协同的必要基础。

3.4.2 SRLG 标识

SRLG (Shared Risk Link Group) 是指具有共同可靠性风险的一组链路。例如对于路由器的多个不同的链路，可能会存在经过了相同传送路径的情况。如果此传送链路故障，则路由器层面主备链路会同时故障。

为了避免上述情况的出现，就要求 IP 网络的在计算路径的时候，将有相同 SRLG 信息的链路不放在主备路径上，这样通过 SRLG 信息，以及 SRLG 计算，可以保证路径的主备链路一定不会因为一个底层链路的故障而同时故障，从而提高 IP 层保护的可靠性。

静态 SRLG 标识

静态 SRLG 标识是指在 IP 网络管理人员，通过与传送网的网络管理人员的人工交互后，进行人工的分析和规划，标识出相关的 SRLG 信息，并静态配置到 IP 设备上。

静态 SRLG 标识实现简单，无需额外的配置。但是静态 SRLG 标识存在如下问题：

- SRLG 的配置需要 IP 网络和传送网管理维护人员大量细致的信息交互和配置，工作量很大，而容易出错。
- 如果传送层面进行链路重新规划和调整，需要重新和 IP 网络管理人员交互，重新修改 IP 层的配置。
- 如果传送层使用了 ASON GMPLS 技术，传送路径有可能自动发生变化，变化的路径信息无法及时通知 IP 网络。

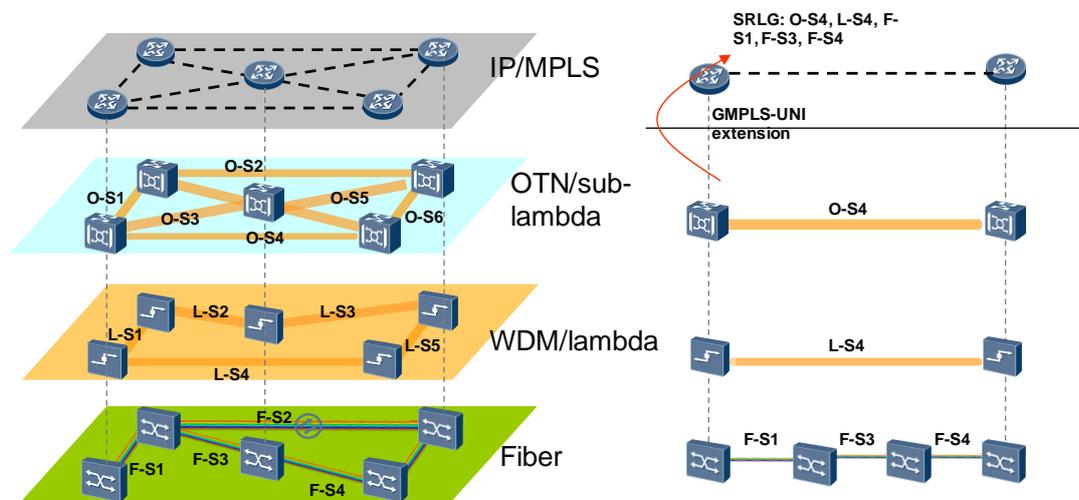
动态 SRLG 标识

由于静态 SRLG 标识存在一定的缺陷，因此华为公司提出了动态 SRLG 标识的解决方案。通过扩展路由器和传送设备间的 GMPLS-UNI，传送设备可以将 SRLG 信息自动传送给 IP 设备。这样上述三个问题都可以很好的解决。

- SRLG 信息由传送层直接发给 IP 层，不需要人工交互，提高效率和正确性。
- 传送层链路调整，传送会自动更新 SRLG 信息，无需人工重新修改。
- 传送层基于 GMPLS ASON 重新计算路由后，也会自动更新 SRLG 信息给路由器。

传送层上会根据链路实际情况上报 SRLG 信息，包含了此链路各个层次的信息，OTN 层、光层、以及光纤层面等。而 IP 设备则根据这些信息自动进行计算和更新主备链路的路径，以避开相同的 SRLG 链路。如图 3-12 所示。

图3-12 动态 SRLG 标识



3.4.3 控制层智能协同

在静态协同模式下不需要考虑控制平面，但是在动态协同模式下，控制平面将发挥关键作用。控制平面的关键技术主要包括 GMPLS-UNI 技术和 PCE 技术。

GMPLS-UNI

GMPLS-UNI 是 IETF 的标准，对于增强 IP 层和传送层的交互有着关键的作用。通过 GMPLS-UNI，IP 层可以直接驱动传送层建立通道或者删除通道。

以建立链路为例，IP 层只需通过 GMPLS-UNI 信令通知传送层新建链路的源和目的节点、新建链路的属性（例如带宽、保护属性等），传送层自动建立满足需要的传送通道。

PCE

在一个大型网络上，基于约束条件的路径计算很复杂，而且需要相关设备具备很强的计算能力。而如果使用分布式路径计算方式，每个节点都要具有强大的路径计算能力，但是这样的话会导致高成本。并且在多域的网络上，每个域的拓扑对其他域都不可见，因此要计算出最优的端到端路径，参与计算的设备必须互相协同。

PCE 就是为了满足上述需要的路径计算技术。PCE 具有强大的路径计算能力，可以部署在网络阶段或者外部服务器上。PCE 负责在一个域里的路径计算。每个域的路径计算请求都发送给这个域的 PCE。在完成路径计算以后，PCE 把结果发送给发出这个请求的客户端(PCC)。多个 PCE 协同工作可以计算出最优的路径。

3.4.4 层次化协同保护

通过 IP 层和传送层不同保护技术的协同，IP+光协同方案可以提供不同等级的层次化的保护方案。包括如下几种：

- TE FRR+ASON 钻石级 1+1 保护
- TE FRR+ASON 银级重路由保护

- TE Hot Standby+光线路 1+1 保护

TE FRR+ASON 钻石级 1+1 保护

该方案用于业务可靠性需求等级高、光路资源和 IP 链路资源充足的场景。

IP/MPLS 层采用 TE FRR 方式保护关键路径，传送层采用 ASON 钻石级 1+1 保护方式。保护范围包括 IP 层节点和链路故障，传送层节点和链路故障，光层可以抗多次断纤。

TE FRR+ASON 银级重路由保护

该方案用于业务可靠性需求等级较高、光路资源较充足的场景。

IP/MPLS 层采用 TE FRR 方式保护关键路径，传送层采用 ASON 银级重路由保护方式。波分线路侧光纤发生故障时，IP/MPLS 层 TE FRR 先启动倒换，倒换到 Bypass Tunnel 上去，传送层使用银级重路由方式重新选择一条路径，当波分重路由结束后，IP 层切回主 Tunnel，回切过程中，路由器使用 Make Before Break，不会产生丢包。

TE Hot Standby+光线路 1+1 保护

该场景传送层的保护只局限在站点间光纤，不能对传送单板和整个站点故障进行保护，而且也只能抗一次断纤，可用于业务可靠性等级一般，设备资源一般的场景。

IP/MPLS 层采用 TE Hot Standby 方式保护端到端路径，传送层采用光线路 1+1 保护方式，波分线路侧光纤发生故障时，波分层面先进行光线路 1+1 保护，将业务切换到备用光纤上。

3.5 IP+光运维协同

传统的 IP 网络和传送网络是由不同的网管系统管理，并且由不同的组织维护，在业务的快速开通和故障定位上存在比较大的问题。例如：

- 当 IP 网络需要增加一个承载波长的时候，传送层可能需要一个多月的时间才能够提供，严重影响了业务的开通和快速上市。
- IP 承载网 80% 以上由波分设备承载，当路由器业务发生中断，是 IP 承载网自身的问题还是波分设备的问题，目前缺乏快速有效的定位和隔离手段。
- 当传送设备发生故障时，传送层不清楚该故障是不是影响到 IP 链路，同时具体影响哪些 IP 链路。
- IP 网络运维复杂，承载 IP 的承载关系复杂，配置业务需要多次跳转页面。

运维协同以“以人为本，网络易运维”为主要理念，主要包括 IP 和光网络的融合管理以及承载业务的可视运维。

3.5.1 融合管理

以 U2000 为基础的融合网管系统，可以实现对于 IP 网络和传送网络的融合管理，包括网元融合共管、快速业务发放和故障快速定位等功能。

网元融合共管

U2000 能够对传送设备、接入设备和 IP 设备进行统一管理，可管理华为 MSTP、WDM、OTN、Microwave、Router、Switch、PTN、MSAN、DSLAM、FTTx、Firewall 等设备和业务。

快速业务发放

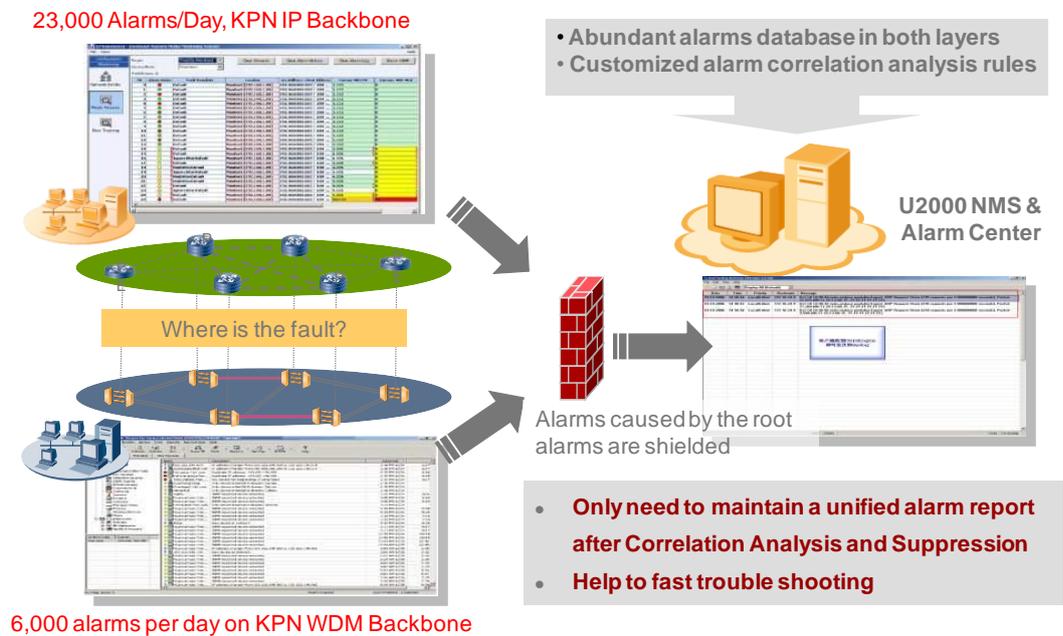
U2000 系统可以实现对于业务的端到端快速发放。U2000 的业务快速发放具有如下特点：

- 通过配置业务模板，例如 Tunnel 模板、L2VPN/L3VPN/VPLS/PWE3 业务模板、QoS 策略模板等，可实现业务相关参数一站式配置，效率提升 3~6 倍。
- 可批量下发各种业务，提升配置效率，通常效率可提升 2~3 倍。
- 网管系统自动计算静态路由，并实现 MPLS 标签自动分配，0 人工干预。
- 提供跨域的 E2E 业务维护，实现不同技术业务的 E2E 管理，有利于故障的准确定责，精确定位。
- IP+光的业务层次一键式切换，层次化展示，IP 和 WDM 业务承载关系可视化。

快速故障定位

U2000 可以提供 IP 网络的告警根因分析，通过对 IP 网络的海量告警清理，可以减少 85% 的 IP 网络无效告警，提高 IP 域告警的可用性。U2000 可以实现对 IP+光的告警相关性分析和光告警所影响的 IP 链路，如图 3-13 所示。

图3-13 IP+光 告警关联和根因分析



3.5.2 可视运维

由于历史和技术原因，传统的 IP 网络的管理和运维，相比其他网络而言，要困难的多。

- IP 网络的业务路由不可视，没有可视化的直观路径事实展现；
- IP 故障定位困难，排查时间长，很多瞬间故障很难从根本上解决；
- IP 网络承载的业务，客户最终体验不可见，无法管理业务质量。

华为通过可视化运维的 SQM (Service Quality Management) 方案，可极大提升 IP 网络的运维能力。SQM 方案通过 IP 业务质量管理体系 U2520 和集成网管系统 U2000 来共同实现。

SQM 方案包括如下的功能和特性：

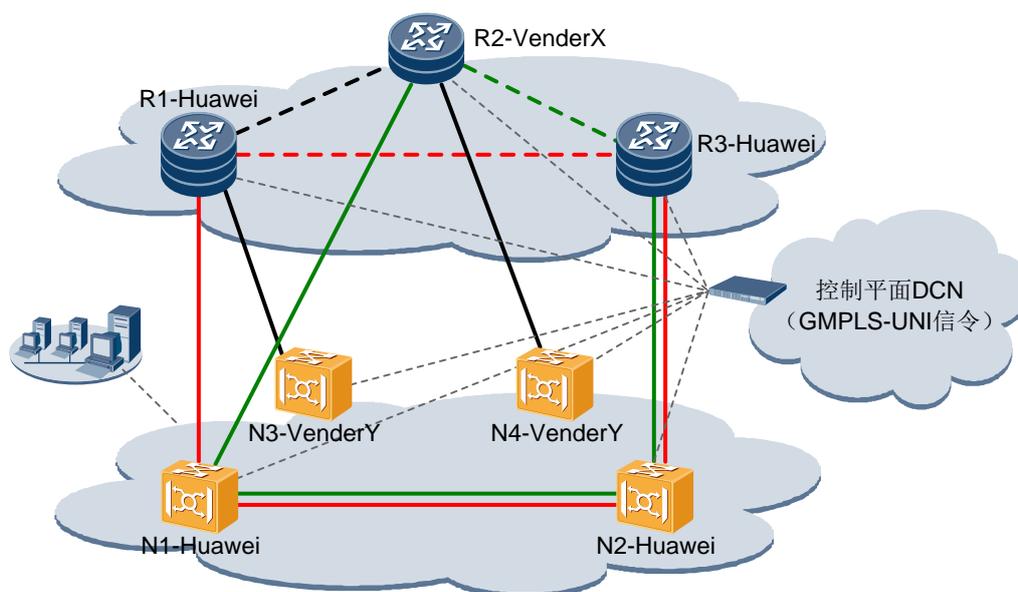
- IP 网络指标监控
SQM 可有效监控 IP 网络中各项 KPI 指标参数，例如延迟、抖动、丢包率等等。覆盖各种 IP 网络应用场景，客户体验可度量、可评估、可预警。
- IP 业务 E2E 管理
SQM 可以针对各种 IP 业务，例如视频、语音、文件传送、生产业务等进行端到端的监控和呈现，故障和业务性能实时监控，现场指导排障。
- IP 路由实时呈现
SQM 可以对全网的 IGP 路由、LSP 路径等进行实时采集和展示，历史瞬间故障可追踪，彻底解决瞬间故障的顽症。
- IP 故障自动定位
SQM 基于华为的 IP 故障分析技术，可以实现对于 IP 故障自动定位。只要输入源宿 IP 地址和源宿端口，5 分钟内即可自动定位出故障根源。

4 推广/Experience

4.1.1 方案认证和测试

华为作为 IP+光协同方案的主导者，2009 年下半年推出了基于 ASON 智能光网络和 IP/MPLS 路由器的 IP+光协同方案。并于 2010 年初通过了 ENANTIC(European Advanced Networking Test Center) 的测试，表现出色。测试组网图如图 4-1 所示。

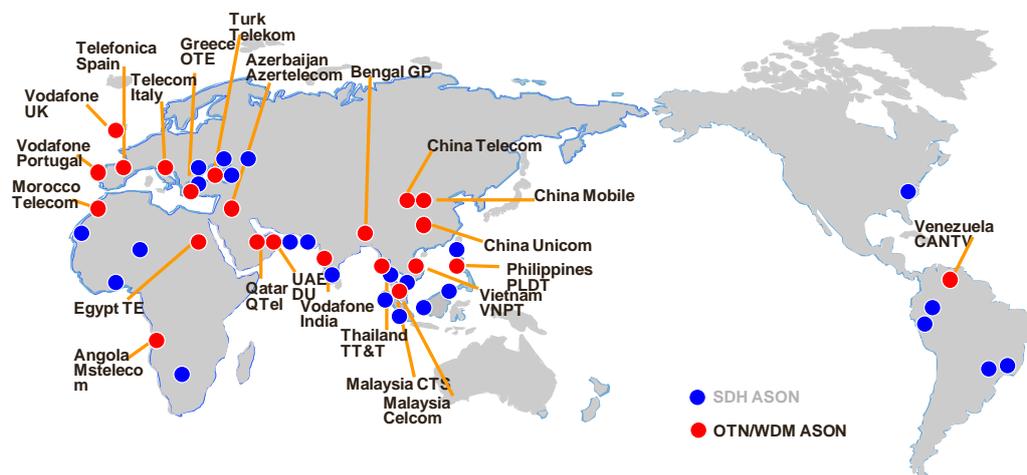
图4-1 2010 年 EANTC 的 IP+光协同测试



4.1.2 全球的应用

作为 ASON 智能光网络的领导者，华为已经在全球 80 多个运营商成功部署了 300 多个 ASON 网络，全球 ASON 网络商用案例最多，积累了最为丰富的 ASON 网络交付和运维经验。

图4-2 华为 GMPLS/ASON 在 WDM/OTN 领域的应用

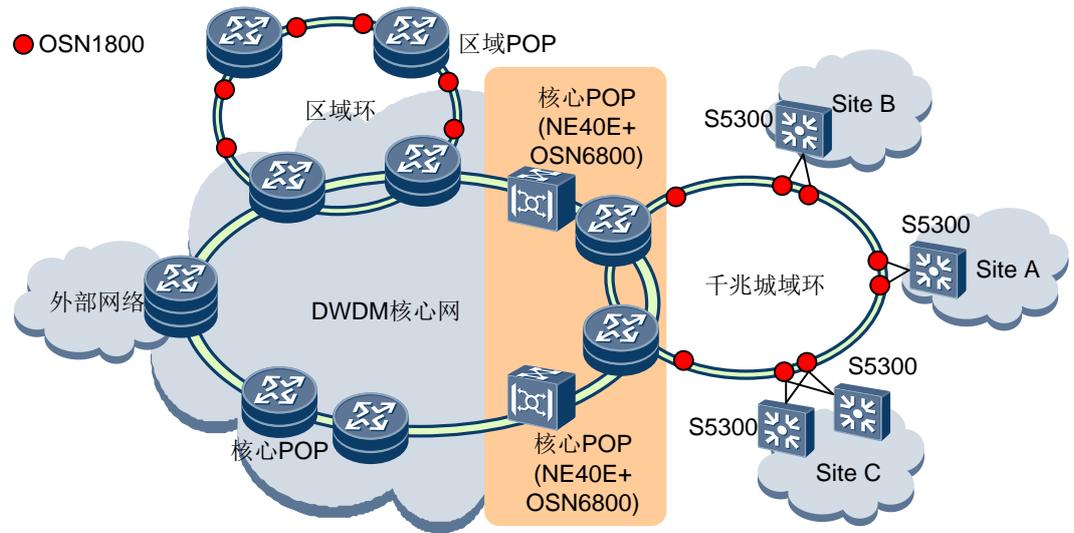


作为路由器领域的技术领先者，华为已服务于全球前 50 名主流运营商中的 36 名，在全球 102 个国家和地区部署了 120 多张 IP/MPLS 骨干网和 620 多张城域网，网络服务全球 10 亿用户，世界第一。

4.1.3 行业领域案例

在行业市场的广域互联/骨干网领域中，华为的光网络和数通器产品同时广泛应用于能源、政府、交通、教育、金融等行业，为 IP+光协同方案的推广和应用积累了丰富的经验。图 4-3 所示是华为的 IP+光协同方案在荷兰教育网中的成功应用。

图4-3 华为 NE40E+OSN6800 在荷兰教育网应用



5 结论/Conclusion

IP+光协同解决方案在增强 GMPLS/ASON 智能光网络的规划模拟工具、可靠性和业务安全性的基础上，结合路由器 IP/MPLS 网络部署的灵活性、可靠性，充分利用 U2000 的统一运维平台系统提升了企业广域互联/骨干网络的可靠性和维护效率。为企业提供更高质量的云网络，在企业信息化过程中为客户创造更好的价值。

6 缩略语表/Acronyms and Abbreviations

英文缩写	英文全称	中文全称
BFD	Bi-directional Forwarding Detection	双向前项检测
IGP	Interior Gateway Protocol	内部网关协议
FRR	Fast Reroute	快速重路由
ASON	Automatically Switched Optical Network	自动交换光网络
SRLG	Shared Risk Link Group	风险共享链路组
TE	Traffic Engineering	流量工程
WDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	密集波分复用
E-NNI	External Network-Network Interface	不同域之间的网络接口
GMPLS	Generalized Multi-Protocol Label Switching	通用多协议标签交换
IETF	Internet engineering task force	英特网工程任务组
I-NNI	Internal Network-Network Interface	同一域内的网络接口
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector	国际电信联盟—电信标准部
LMP	Link Management Protocol	链路管理协议
LSP	Label Switch Path	标签交换路径
NNI	Network Node Interface (Network-to-Network)	网络节点接口
OIF	Optical Internetworking Forum	光互联网论坛
OTN	Optical Transport Network	光传送网
OTU	Optical Transport Unit	光传送单元
PCE	Path Computation Element	路径计算单元

英文缩写	英文全称	中文全称
RSVP-TE	Resource reservation protocol with traffic-engineering extension	针对流量工程扩展的资源预留协议
SLA	Service Level Agreement	服务水平协议
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	同步数字体系
UNI	User Network Interface	用户网络接口