

# 流量工程在调度数据网中的应用

荆铭, 邱夕兆, 尚力

山东电力调度中心, 山东省济南市 250001

## APPLICATION OF TRAFFIC ENGINEERING IN ELECTRIC POWER DISPATCHING DATA NETWORK

**摘要:** 随着电力系统的不断发展和自动化水平的提高, 电网信息化建设的步伐正在加快。IP 数字化网络已成为自动化系统间实现网络互联, 部门间信息融合, 消除信息孤岛的基础网络传输平台。然而, 由于传统 IP 网络路由收敛时间长, 服务质量缺乏保证, 难以满足现代电网信息实时传输要求。本文对流量工程 (MPLS TE) 的产生、特点及应用进行了详细论述, 并通过其在电力调度数据网中的实际部署, 提出了以流量工程新技术提高网络传输的实时性、可靠性的切实解决方案。

**关键词:** 流量工程 调度数据网 MPLS TE

### 1. 引言

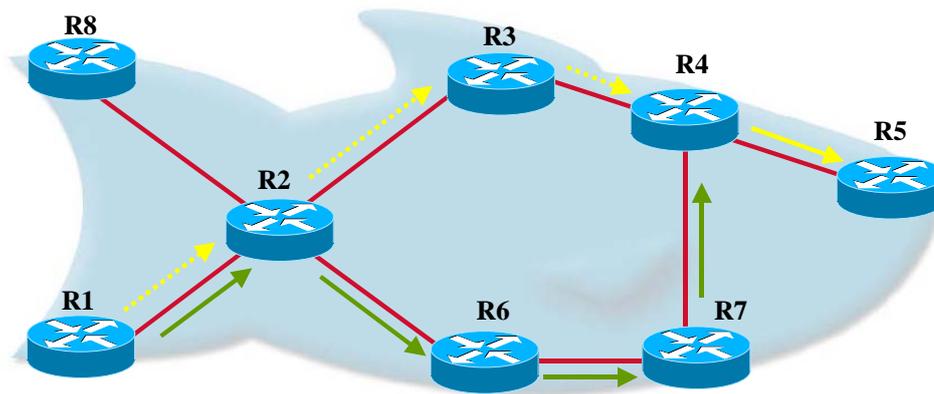
国家电网公司“十一五”科技发展规划和信息发展规划明确提出“建设数字化电网和信息化企业, 加快整合信息资源, 统一规划、统一组织、分层推进重大信息化项目, 建设纵向贯通、横向集成的信息集成平台, 实现公司信息畅通”的战略目标。为实现这一目标, 建设联通各级电网机构、畅通可靠的广域数字通讯网络是加快电网信息资源整合的重要保证。

目前, 各级电网调度机构普遍建设了调度数据网络, 作为承载调度生产实时和准实时业务的专用网络。调度业务通讯要求实时、准确、可靠, 而目前建设的调度数据网络, 是由 Internet IP 网络技术发展而来, 其实时性与可靠性均难以满足调度实时和准实时业务的传输要求, 如何解决这一问题, 提高网络的实时性, 最大限度的保证调度实时业务的可靠数据传输, 是调度数据网得以广泛应用的关键。

### 2. 流量工程

#### 2.1 传统路由产生的问题

传统的路由器通常选择最短的路径作为路由, 不考虑带宽、拥塞等因素。这样, 即使某条路径发生拥塞, 也不会将流量切换到其他的路径上。在网络流量比较小的情况下, 这种问题不是很严重, 但是随着网上应用越来越广泛, 传统的最短路径优先的路由的问题暴露无遗。



鱼形图——传统路由的困难

如上图所示，假设每个链路的 metric 值相同。R1 到 R5 的最短路径为 R1-R2-R3-R4-R5，尽管存在其它到达 R5 的路径，数据转发也走 R1-R2-R3-R4-R5 这条最短路径。这样，就可能出现一条链路 R1-R2-R3-R4-R5 过载，而另外一条链路 R1-R2-R6-R7-R4-R5 空闲的情况。

为了解决上述问题，可以采用调整链路 metric 值的方法。通过将 R2-R3 段的 metric 值调整为 3。这样，可以将流量引到链路 R1-R2-R6-R7-R4-R5 上来。

这种解决方法解决了一条链路上的拥塞（R1-R2-R3-R4-R5），但是可能会引起另外的链路拥塞（R1-R2-R6-R7-R4-R5）。另外，在拓扑结构复杂的网络上，metric 值的调整比较困难，往往一条链路的改动会影响多个路由。

## 2.2 流量工程概述

流量工程（TE Traffic Engineer）是将业务流映射到现有物理拓扑上的处理过程，

以在网络中不同的链路、路由器和交换机之间平衡业务流负载。

目前导致网络拥塞主要有两个原因：

- 1) 网络带宽小，难以承载日益繁忙的网络应用
- 2) 网络流量分配不均匀，某些链路过载，而存在其它可能的链路空闲

对于第一个原因，只能通过增加链路，增加带宽扩容来解决网络拥塞，没有哪种技术可以无中生有的增加带宽。而对于第二个原因，使用流量工程将流量映射到不同网络拓扑上，可以起到非常明显的作用。

流量工程关注网络整体性能的优化，其主要目标是提供高效、可靠的网络服务，优化网络资源的使用，优化网络流量。它分两个层面：一是面向流量的，关注如何提高网络的服务质量；二是面向资源的，关注如何优化网络资源的使用，最主要是带宽资源的有效利用。

## 2.3 MPLS

MPLS (Multi-Protocol Label Switching-多协议标签交换) 技术最初是用来提高路由器的转发速度而提出的一个协议。但是由于 MPLS 在流量工程和 VPN 这两项在目前 IP 网络中非常关键的技术中的广泛应用和突出表现, MPLS 已日益成为扩大 IP 网络规模的重要标准。

MPLS 协议的关键是引入了标签 (Label) 交换概念。标签是一种短的, 易于处理的, 不包含拓扑信息, 只具有局部意义的信息内容。MPLS 协议充分利用数据标签引导数据包在开放的通信网络上高速、高效传输的新技术。它是在一个无连接的网络中引入连接模式从而减少了网络复杂性, 并且兼容现有各种主流网络技术, 能大大降低网络成本。在提高 IP 业务性能的同时, 能确保网络通信的服务质量和数据传输的安全性。

#### 2.4 MPLS TE

综上所述, MPLS 作为一种叠加模型, 可以方便地在物理的网络拓扑上建立一个虚拟的拓扑, 然后将流量映射到这个拓扑上。因此, MPLS 与流量工程相结合的技术——MPLS TE 应运而生。

通过 MPLS TE, 可以精确地控制流量流经的路径, 从而可以避开拥塞的节点, 解决一部分路径过载, 另一部路径空闲的问题, 使现有的带宽资源得到充分利用。同时, MPLS TE 在建立 LSP 隧道的过程中, 可以预留资源, 保证服务质量; 为了保证服务的连

续性, MPLS TE 还引入了路径备份和快速重路由的机制, 可以在链路出现问题时及时进行切换, 对重点链路实施毫秒级的保护。

MPLS TE 技术在支持流量工程上有着下列先天优势:

- 1) 支持建立显式 LSP 隧道, 可以对路径进行控制;
- 2) 通过信令建立 LSP 隧道, 配置起来比较简单, 容易维护;
- 3) 网络流量可以方便地映射到某条 LSP 隧道上;
- 4) LSP 隧道有优先级、抢占等多种属性, 可以方便地控制 LSP 隧道的行为;
- 5) 颜色等属性可以控制 LSP 隧道经由的路径;
- 6) 建立 LSP 隧道的负荷小, 不会影响网络的正常业务;

正是这些优势, 使得 MPLS TE 成为非常吸引人的流量工程方案。

#### 2.5 MPLS TE 常见应用

MPLS-TE 通过感知网络带宽的使用情况, 采用带有约束条件的最短路径优先算法 (CSPF) 计算满足带宽要求的路径。通过资源预留协议 (RSVP) 建立带宽预留的 TE 隧道 (Tunnel), 可以很好地解决基于 IGP 的流量工程所不能解决的问题, 尽可能提高网络资源的利用率。目前, MPLS TE 主要有以下四种类型的应用:

- 1) 静态隧道

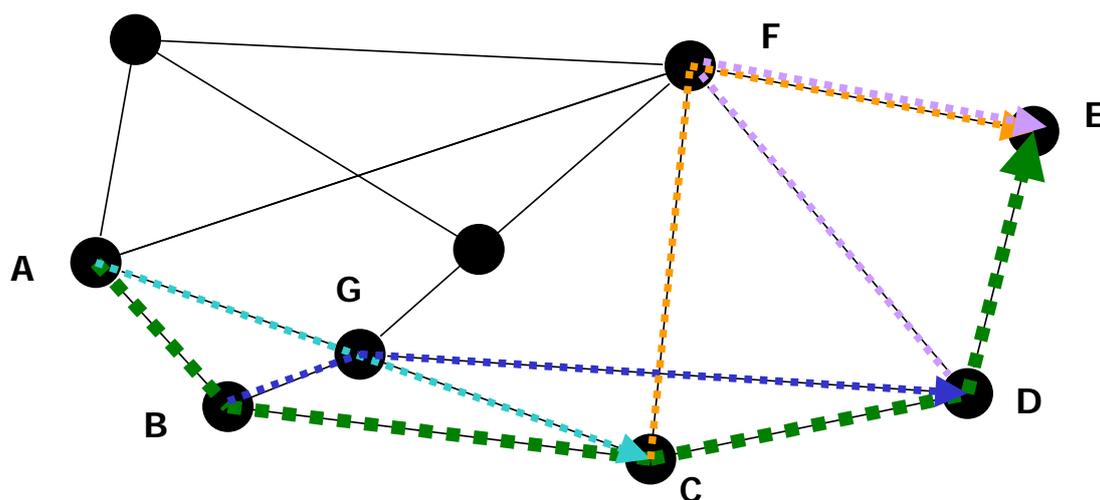
在路由中，静态路由可以直接通过配置产生，不需要路由协议参与。类似的，静态 LSP 隧道是指不需要 MPLS 信令组件

(CR-LDP、RSVP-TE)，逐跳在路由器上进行配置产生的 LSP 隧道。这些静态 LSP 隧道需要配置的信息包括标签转发信息和资源信息等。这种方式建立的 LSP 由于不受信令的影响，只要不删除，一直存在，最为稳定。

## 2) 快速重路由 (FRR)

快速重路由既是一种 MPLS TE 的属性，也是一种网络容错的策略。快速重路由技术

可以对链路或节点进行保护，当节点或者链路发生故障时可以迅速切换，最大限度的减少报文的丢失。做为链路自愈保护的重要方式之一。快速重新路由可以对 LSP 每隔一跳或每隔两跳建立局部备份，在应用了 MPLS TE 的网络中，当某处出现链路或节点故障时，配置有快速重路由保护的 LSP 可以自动将数据切换到保护链路上去，从链路故障到切换成功延时可以达到小于 50ms。



如上图所示，主隧道 LSP 路径为 A-B-C-D-E。隧道 A-G-C 用来对节点 B 及相关链路进行保护，隧道 B-G-D 用来对节点 C 及相关链路进行保护，隧道 C-F-E 用来对节点 D 及相关链路进行保护，隧道 D-F-E 用来对链路 D-E 进行保护。如果 B-C 段的链路发生故障，B 节点上的流量可以立即切换到 B-G-D 隧道上，避免报文的丢失。

## 3) 隧道备份

对于重要的 LSP 隧道，需要进行备份。作为流量保护的一个重要组成部分，在主 LSP 隧道失败后，能够将流量及时切换到备份隧道上。

隧道备份有两种方式：

热备份 (Hot-Standby)：热备份隧道 LSP 在主隧道 LSP 建成之后，发起建立。当

主隧道 LSP 失败消息传到入口路由器后，流量会切换到热备份隧道 LSP。当主隧道 LSP 恢复后，将流量切换回去。

普通备份 (Ordinary): 普通备份隧道 LSP 在主隧道 LSP 失败消息传到入口路由器后，发起建立。建立成功后，将流量切换到该隧道 LSP 上。当主隧道 LSP 恢复后，将流量切换回去。

隧道备份常常和快速重路由结合使用。快速重路由可以及时响应链路故障，将流量在最短的时间内切换到旁路隧道上。链路故障信息通过信令带到入口节点，然后将流量切换到备份隧道上。

#### 4) 隧道重优化

流量工程一个主要的目标就是优化网络上流量的分布。隧道建立之后，可以根据网络上的带宽变化、流量变化、管理策略变化等对已经建立 LSP 隧道进行优化。

隧道优化有两种方式：

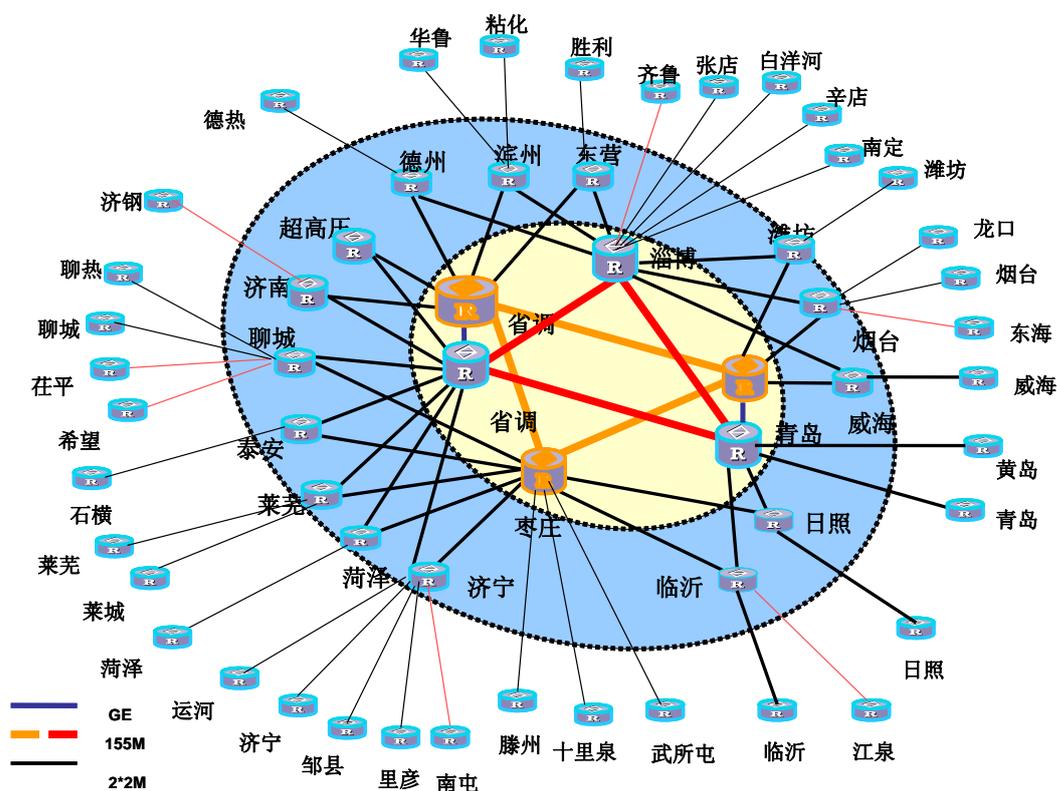
自动优化：根据自动重优化机制，用户可以指定路径优化的时间间隔。在时间到达时，CRLSP 隧道会主动发现更优的路径时进行优化。所谓更优路径，至少需要满足 metric 值小、跳数更小等条件。

手工优化：除了自动重优化，用户也可以通过配置方式直接触发 CRLSP 隧道进行优化，重新请求计算更优路径重新建立。

### 3 MPLS TE 在电力调度数据网上的应用

#### 3.1 网络结构

作为国家电力调度数据网 (SGDnet) 整体结构下的二级网络，山东电力调度数据网 (SGDnet-SD) 是一个覆盖山东电力调度中心 (省调)、17 个地调、超高压分公司、各直调发电厂、变电站的广域网络。调度数据网按分层结构设计，由核心层、骨干层和接入层构成。网络拓扑见下图：



省调和枣庄、淄博、青岛 3 个地调，其中省调和青岛为双设备，共六个节点为组成网络核心层。六个节点间使用 6 条 155M 电路，分别连接成为上、下两个层面的三角形环网，省调和青岛本地节点间使用 GE 分别连接上、下两个层面。14 个地调节点和超高压分公司组成网络的骨干层，各节点采用 2\*2M 的捆绑电路同时上联核心层两个层面上的核心节点。电厂、500kV/220kV 变电站构成网络的接入层。

分层结构设计的调度数据网，在保证通道带宽，节省电路的设计前提下，实现了链路的 n-1 冗余。

### 3.2 核心技术

山东电力调度数据网基于 IP over SDH 的技术体制，采用 MPLS/VPN 技术实现组网，并根据电力二次系统安全防护规定的要求，按安全等级划分 VPN，实现传输业务的逻辑分区。通过在核心层网络上部署流量工程，实现核心网络流量的负载分担和链路故障的快速切换，提高核心网络带宽的利用率和高可靠性的保障。

### 3.3 实际应用

在调度数据网建设过程中，我们采用了流量工程中的静态隧道技术和快速重路由技术分别实现了流量负载分担和链路故障的快速切换。

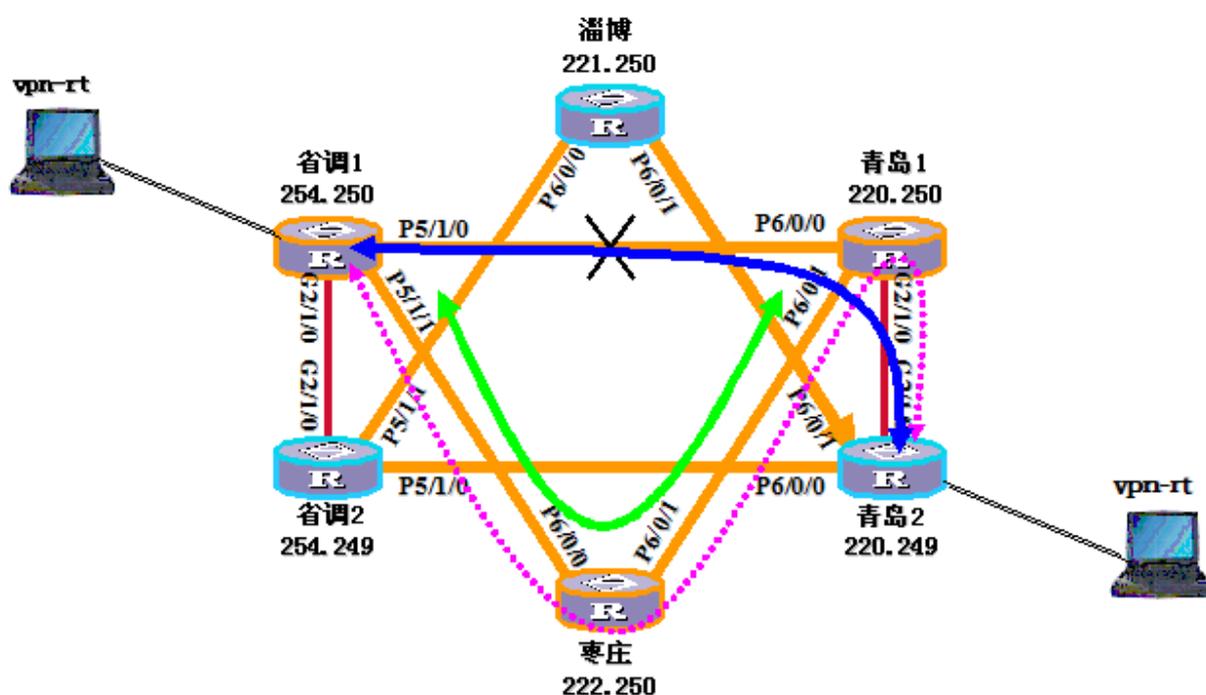
为了提高核心骨干网带宽资源的利用率，实现流量的负载分担。我们采用了静态

隧道技术,通过对数据流量的充分分析,手工配置静态隧道,从而实现了数据业务分流。

由于目前山东电网 SDH 骨干环网备份机制相对不完善,链路稳定性不高,如果网络链路故障时仅靠路由协议实现重新收敛的话,节点或链路故障的恢复时间至少需要数十秒!这对实时通讯业务而言是不可接受

的。通过采用快速重路由技术(FRR),在网络出现异常的情况下,保证网络本身的微妙级的快速自愈,使上层 IP 实时业务不受影响。迅速响应、及时切换是 MPLS 快速重路由的特点,它可以保证业务数据的平滑过渡,不会导致业务中断。

具体实现网络拓扑如下图所示:



图示说明:

- 1) 省调1与青岛2的VPN流量走静态隧道,指定途径节点为省调1—青岛1—青岛2(如图中蓝色曲线所示)。
- 2) 省调1与青岛1之间的POS链路要经过多个传输节点,出现故障的可能行较大,因此采用如下备份隧道对省调1—青岛1链路进行

FRR保护,省调1—枣庄—青岛1—青岛2,如图中绿色曲线所示。

- 3) 配置后省调1和青岛1的设备会一直监视两者之间的链路状态,到链路故障时会迅速切换到FRR保护链路上去。图中的粉红色虚线为发生FRR切换后的路径。

在配置流量工程前后几个重要网络性能指标比较:

比较项目	配置流量工程前	配置流量工程后
流量分担	实现困难	普遍实现
链路故障恢复时间	20 秒左右	微妙级
链路故障丢包情况	28 个	0 个

#### 4. 结束语

山东电力调度数据网通过采用流量工程新技术,提高了 IP 网络的性能和可靠性,为各类调度信息系统提供安全、统一的宽带综合业务传输网络平台,经过近半年的试运行测试,表现稳定可靠,为提高山东电网整体调度自动化水平,建设数字化电网和信息化企业,加快整合调度信息资源打下了坚实的技术基础。同时, MPLS TE 技术是目前最热门、发展最快的一项技术之一,很多相关技术的标准也还在不断的发展和完善之中,因此,对于 MPLS TE 技术,我们要积极跟踪、大胆尝试、慎重使用,使之更好服务于电力生产。

#### 参考文献:

[1] 郭齐, 向力, 孙嘉. MPLS/VPN 电力调度省网与国家电力调度骨干网连接的几点思考. 山东电机工程学会 《第十届优秀学术论文集》2005 年 6 月

[2] 林荣东 陈枫 林为民 李东辉. 基于广域网连接的电力数据网设计. 电力系统自动化, 2000, Vol. 24 No. 17