

组建电力城域网的主流技术——宽带 IP 技术

丁道齐

(国电通信中心, 北京市 100761)

摘要: 论述了电力行业必须建设一个高可靠性的宽带电力通信综合业务平台的必要性和迫切性。在分析电力通信业务特点的基础上, 指出数据和多媒体业务将成为电力通信业务的主体。提出对数据业务量很少, 但对 QoS 要求 100% 可靠性的继电保护、安全稳定控制、AVC、AGC 等直接影响电网安全运行的实时数据, 以及电力调度指挥命令(话音), 应该采用物理隔离的专用光纤网直接传送; 对于其他实时、非实时的大量数据业务, 在比较分析各种组网技术的基础上, 建议在宽带 IP 城域网上传送。根据业务的需求和发展, 可采用高速路由器为核心的交换技术、吉比特以太网技术或弹性分组环网技术, 组建 IP over D(C)WDM 宽带电力城域网。其 QoS 在相关技术的支持下完全可以满足电力实时业务和视频业务的规范要求。最后提出了现有电力通信业务向宽带 IP 城域网过渡的方式和步骤。

关键词: 电力通信; 宽带 IP 城域网; 高速路由器; 吉比特以太网; 弹性分组环; 稀疏波分复用; 服务质量

中图分类号: TM73; TN915

0 引言

宽带城域网(metropolitan area network——MAN)是为满足网络接入层带宽大幅度增长的需求而建设的, 主要针对数据和多媒体业务^[1]。从概念上讲, 城域网既是一个宽带接入网, 又是一个“本地宽带交换网”, 它与普通接入网的最大区别仅在于比接入网多了交换或交叉连接功能。

宽带城域网迅速发展的重要原因在于它可以提供比传统数据网更丰富的业务和运营模式。城域网是高度竞争和开放的网络, 其发展受用户和应用的推动, 是各大电信运营商争夺的重点。

IP 宽带城域网有许多新的特色和要求。扩展性: 带宽可以扩展至几十、几百 Gbit/s 甚至 Tbit/s 以上; 健壮性: 99.999% 的工作时间、硬件冗余和光缆环故障保护自愈能力; 安全性: 用户安全保护功能、线速访问控制功能、策略路由功能等; 多节点: 可以多达几百个节点; 低成本: 建设成本低、运行成本低; 支持新一代基于 IP 的业务: 支持各种物理接口、QoS、SLA、监视和计费系统; 支持传统的话音和数据业务; 强大和便于使用的网络管理系统。

目前电信运营商在宽带城域网上开展的业务主要有 4 类: 数据接入业务, 数据接入增值业务, 基于 Internet 的应用业务和宽带多媒体业务。

电力城域网的建设必须综合考虑其业务定位和网络技术的发展趋势以及电力通信将作为一个新型的电信运营商的地位来决策。

1 建设一个统一、宽带、高可靠性的电力城域网综合业务平台的迫切性

1.1 现代通信是现代化电网赖以生存的重要基础

为保证现代电网的安全稳定运行, 现代通信系统已经成为支撑电力工业安全经济运行和现代化管理所赖以生存的电网安全稳定控制系统、电网调度自动化系统和电力工业信息化系统的最根本的基础设施^[2]。

电力行业的高度信息化和业务系统的交叉和融合, 需要一个宽带高速的通信网络。随着电力行业信息化程度的提高, 业务流量越来越全局化, 资源的共享和协调以及各业务系统之间的交叉与融合, 已经或正在形成若干新型的“增值”业务。例如, 在调度自动化系统中的集成调度电话、视频会议及变电站、发电厂运行环境图像监控等业务; 在电力市场信息与报价系统中的呼叫中心(call center)等。这些通信业务的高速化、全局化, 都必须有一个高速宽带的通信网络来支撑。

多种业务的融合, 又要求通信网络必须具有综合业务的承载能力和多种业务的单一接入能力。

电力市场竞争机制的引入, 要求通信系统的接入必须具有普遍性、及时性与公平性。

1.2 高速宽带通信网是电力通信面向社会开放运营的重要物质基础

国内外电信业经营体制的改革,电力和电信两个市场的开放,特别是中国加入 WTO,为具有得天独厚资源优势的电力通信业提供了参与竞争与营运的机遇。但是,只有建设一个高速、宽带的综合业务网络,并达到电信级的网络水平,才能够支持开放运营,也才会成为国家电力工业一个新的经济增长点^[3~5]。

目前中国电力通信网络不是一个综合业务网络。它是由国家电力通信网(传输网)、国家电力数据网(SPDnet)以及国家电力信息网(SPINet)所组成,主要业务包括话音、实时数据和信息应用。分别由国电通信中心、国家电力调度通信中心和国家电力信息中心负责运行和管理。现有的网络体系结构如图 1 所示。

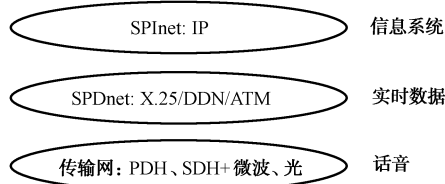


图 1 中国电力通信现有业务网络体系结构
Fig. 1 System structure of China's electric power communication network

当前中国电力通信的技术水平、技术体制和管理机制满足不了支持开放运营和电力工业自身发展的需求。必须建设一个满足电力自身需求、发展和社会需要的 IP 宽带综合业务网络。其体系结构如图 2 所示。



图 2 IP 宽带综合业务网络体系结构
Fig. 2 System structure of IP broadband integrated service network

综合宽带网“综合”(integrated)的内含表现为:

- 综合接入:指在本地网络中,用户可以通过单一的传输媒体、有限的用户网络接口 UNI 获得各种业务的服务。这一点对用户最为重要。
- 综合传输:指不同种类的业务共享网络的传输链路,便于提高中继线路的利用率。
- 综合交换:指在单一交换机上进行多速率、

多媒体业务的交换,同时要满足不同业务的 QoS 指标。

d. 综合控制和管理:指采用统一的网管软件对网络进行性能监测、故障处理及操作维护。同时采用统一的控制软件完成资源分配、通信建立和通信拆除。

2 电力通信的特点、业务分类和发展方向

2.1 电力通信网的特点

电力系统生产和运行的连续性、瞬时性和同时性,决定了电力通信网络必须具有如下功能和特点:

a. 实时性:电力系统中的 EMS 和 SCADA 系统之间传送的数据,包括实时数据和电力系统网络分析等应用软件所需的准实时数据。这类数据的传输需要面向连接,频度为秒级,实时且比特率可变,要求具有较高的 QoS 等级。同时电力调度电话和视频业务也要求较高的 QoS 等级。对于电力系统继电保护、稳定控制信号以及 AGC,AVC 等重要信号更要求实时、快速、可靠,必须保证最高等级的 QoS。

b. 可靠性:尤其是继电保护、安全稳定控制、频率及电压调节等信息的传送必须高度可靠、准确。否则拒送、迟送或误送都将可能导致电力系统事故扩大,甚至崩溃。

c. 安全性:电力系统传输的数据还包括电量计费,电力市场报价等涉及金融的数据,这类数据的传输频度为分钟级,其 QoS 等级较电力调度所需的实时数据低,但是要求数据传输必须具备较高的安全性。

d. 多业务的灵活性:电力系统中关于生产和管理所需的批次信息和其他数据也将在通信网传输,这类业务包括 MIS 上所传输的报表、文件等数据业务,其传输的频度以及应用类型都较为随机,要求传输网络具有较高的灵活性和扩展性。这类业务将会成为整个电力数据业务的主体,而对 QoS 的等级要求较低。

由上可知,将传统的电力通信网转变为实时、可靠、高速,并集成话音、数据、图像等各类业务为一体的综合网络,实现从传统观念中电力通信网为生产调度、政务指挥提供的单纯话音业务,向为整个电力生产及经营的全过程提供以非话音、数据业务为主体的转变是电力通信网发展的主要目标。

2.2 电力通信业务的分类

a. 话音业务:调度电话、会议电话、生产管理电话。其电力调度电话应有较高的可靠性和安全性。

b. 数据业务:继电保护及安全稳定控制信号,要求最高级的可靠性和安全性,但数据量较少,而大

量的则是调度自动化(含电力调度、水库调度、通信调度、燃料调度等)、电力市场技术支持系统、计算机通信、生产管理系统及办公自动化系统等数据信息。

c. 视频业务:会议电视、变电站图像监控等。

d. 多媒体业务:信息检索、科学计算和信息处理、电子邮件、Web 应用、可视图文、多媒体会议、视频点播、电子商务等。

2.3 为满足电力生产的特殊要求和业务的发展,电力通信网必须实现向新一代电信网转变

a. 电力通信网必须实现由小容量向大容量、模拟技术向数字技术、单一业务向多样化业务的转变。

b. 基于因特网的数据多媒体通信必将逐渐成为现代电力通信网技术发展的趋势。

c. 以电路交换及其组网技术为基础的整个电信体系必将逐步转向以宽带 IP 为技术基础的新一代电信体系。

新一代网络 NGN 是基于统一协议、基于分组的网络。现有的信息网络,无论是电信网、计算机网还是有线电视网都不可能以其中某一网络为基础平台来构建信息基础设施。但随着 IP 技术的发展,才使人们真正认识到电信网、计算机网和有电视网将最终汇集到统一的 IP 网络,即人们通常所说的“三网融合”大趋势。IP 协议使得各种以 IP 为基础的业务都能在不同的网上实现互通,具有了统一的、为三大网都能接受的通信协议,从技术上为 NGN 的发展奠定了最坚实的基础。

3 宽带城域网骨干层(支撑业务网)组网的主要技术选择^[6~9]

目前,我国正处在数字化的浪潮中。数字化电力的实现是电力工业信息化的核心,为此必须建设一个适应于电力工业自身和社会各行业需求的、高可靠性的、宽带的综合业务网络体系结构。选择哪一种组网方式实现数字化对未来的发展十分重要。在实现数字化的过程中,采用先进的通信技术组建新一代城域网必将大大加快数字化电力的步伐。

3.1 ATM 和一机双平面技术

3.1.1 关于 ATM

作为面向连接的综合数据传输及处理的技术和标准,ATM 自诞生之日起就展示了其处理综合数据的优势,尤其在低延时及低抖动要求的话音及图像数据的传输处理方面,如较强的综合传输能力、动态分配带宽、传输突发性数据、可保障固定带宽需求的业务等均显示了其独到之处。由于它面向连接,易对资源进行控制和保证传输的 QoS。由于采用固定长度信元和精简信元头,使交换快速而灵活。以致于

ATM 曾被作为各种通信技术和协议的终结者。但事情的发展结果却令 ATM 标准的推行者感到失望。分析 ATM 协议,可以看到 ATM 协议跨越了 OSI 的 7 层结构中的第 2 层到第 4 层,结构十分复杂,而且 ITU 与 ATM 论坛之间在协议的制定方面至今还未形成统一标准。到现在 ATM 还不具备端到端的 QoS 能力,因为目前还不能实现 IP 优先级(CoS)分类映射到 ATM 的 QoS,因而不能提供完全的 QoS 保证。加上信元税开销达 25%以上,ATM 设备成本高和运行费用昂贵,IP 数据流映射到 ATM 上造成复杂的地址解析(地址呈指数性数量级增加),降低了传输效率,影响了扩展性,直接影响了厂商和用户对 ATM 产品的开发和推广应用。

为了让 ATM 承载上层的 IP 业务,出现了 RFC 1483, RFC 1577, LANE, MPOA 和 MPLS 等一系列协议。在这些协议中,ATM 被视为路由器间专线的直接替代品,在引入了大量的封装和协议开销后,才取得了对 IP 业务部分的 QoS 支持。但是由于 IP over ATM 本身模型的复杂性、管理开销、封装效率等问题,使 ATM 承载 IP 比 IP over SDH 和 IP over DWDM 等组网方式大为逊色。测试研究表明,使用 IP over ATM/SDH 组网,IP 只能用到 SDH 带宽的 80%,而使用 IP over SDH 却可获得 95%的带宽。

ATM 作为网络边缘的多业务汇集、服务质量要求高的实时业务及容量不大的中小型网络应用将会在一段较长的时间内继续存在。

3.1.2 在 ATM 交换机上实现 NATIVE IP 和 MPLS,即“一机双平面”

“一机双平面”是指同一台交换机既是 ATM (MPLS)交换机,同时又是 IP 路由器。对于这种技术,新老运营商都表现得比较冷淡。因为对新运营商而言,没有必要走老运营商的老路,而决心在老运营商不占绝对优势的领域,如纯 IP(该领域恰恰是未来业务增长最快的领域)一显身手。为了支持部分实时性业务,他们往往另建一个 SDH 或其他基础性网络加以弥补。而对老运营商而言,他们认为 ATM 在实时性业务方面已占尽优势,稍为逊色的只是快速增长的 IP 业务,这正是老运营商面临的最大潜在威胁和挑战。他们也不愿再采用这种具有重复性投资性质的“一机双平面”技术,而宁愿另建适应于快速增长的 IP 业务的新网络,参与电信市场 IP 业务竞争。

3.2 IP 路由器技术及其与 CWDM 技术的结合

3.2.1 IP 路由器技术适合宽带数据业务

随着技术的进步,路由器已从传统的基于总线(背板)交换、软件包转发和集中式处理结构改变成

交换矩阵、硬件包转发和分布式处理结构,处理能力和吞吐量已大大提高。加之 IP 网络具有灵活的寻路机制,每个 IP 数据包独立、单向地寻找到达目的地的路径。这样就形成了许多好的网络特性:自动地绕过网络故障或阻塞部分,满足点到点(单向、双向或不对称)、点到多点、广播等各种通信方式的需求。因此随着更坚韧的网络资源管理控制机制如 MPLS 和 RSVP 等的实现以及采用 IP over DWDM 技术使得网络几乎已不再出现阻塞。加上用户端采用缓冲及压缩技术,可以较好地城域甚至广域范围内开展实时业务,使 QoS 水平几乎可与 TDM、ATM 电路仿真相媲美。因此,对以数据、多媒体业务为主的宽带城域网来说,使用吉比特路由器(具备 MPLS 和一定功能的 RSVP)组建宽带 IP 网是优选方案之一。

3.2.2 关于 DWDM 和 CWDM 技术

城域光传输网承担着骨干传输网络与接入网络的汇接。尽管接入网络采用的接入技术多种多样,但始终需要一个具有高度可靠性的传输网络进行承载,这个传输网络只能是 DWDM 网络。未来两年内,40 Gbit/s 系统将会在城域网首先得到应用,同时也将看到 40 Gbit/s 接口首次出现在 DWDM 系统上。

但是,作为城域网的传输技术,不能简单地将广域网 DWDM 方案用于城域网。DWDM 系统(波道间隔一般为:200 GHz,1.6 nm;100 GHz,0.8 nm;50 GHz,0.4 nm;25 GHz,0.2 nm;复用波长数16波以上,目前技术上已经可以实现 273 波、10 Tbit/s)对激光器的频率精度、单色性和滤波器要求很高,价格昂贵。广域网传输距离长,中间要用很多放大器,DWDM 系统中多个波长通道共用光纤和放大器,在广域网上仍可大幅度降低成本。而在城域网中,由于距离短(一般 100 km 左右),不需要放大器,增加一根光纤成本也不高,简单地采用与广域网相同的 DWDM 设备将大大增大成本。因此在城域网建设中宜采用稀疏波分复用(coarse WDM)技术。使用 1 200 nm~1 700 nm 的宽窗口(波道间隔较大,一般为 20 nm,复用波长数一般不超过16波),激光器不必冷却,封装要求低,波长精度要求低,滤波装置简单,收发器成本可下降 80%以上,滤波器成本可下降一半,从而大幅度降低 CWDM 系统的成本。与 DWDM 相比,CWDM 还具有功耗低、体积小特点。它无需冷却检测和控制电路,不消耗额外功率(4 波功耗为 DWDM 的一半),板卡设计亦简单。目前 CWDM 16 波系统(40 Gbit/s~160 Gbit/s)即将推向市场,波长范围为 1 290 nm~1 610 nm。

CWDM 技术特别适合于已建系统容量(单纤容量、纤资源)不足、需要扩容的系统,尤其适合电力光纤通信系统建设初期光纤数较少、大部采用 G. 652 光纤的情况。加拿大 Netera 已完成 4 波 CWDM 系统测试;AT & T 已建立了 8 波系统,容量 20 Gbit/s,不久将升至 160 Gbit/s (16 波);韩国已利用 CWDM 系统组建吉比特以太网。

路由器技术应用的另外一种趋势是将 WDM 光传输设备与路由交换机结合在一起,由其端口直接驱动光传输设备。

3.3 以太网正成为城域网承载 IP 业务的主流

以太网技术是目前应用最为普遍的局域网技术。随着技术的不断改进和性能的大幅度提高,快速以太网(百兆)及吉比特以太网技术已被广泛地应用在城域或广域网中。目前许多以太网交换机厂家生产的以太网/IP 之 L2/L3 层交换机,既包括了第 2、第 3 层的交换功能,还具备路由寻址功能。因此,利用它作为网络的主干交换器,既可根据多种方法来定义和配置 VLAN,又能不附加其他路由设备实现 VLAN 间的通信。不论从网络结构还是降低网络传输延迟来说,使用第 3 层交换技术不失为一个很好的选择。

3.3.1 利用快速以太网技术组建城域网

这种组网方式不能过多地划分 VLAN,否则会导致网络流量难以控制和管理复杂。另外,建立大容量的 VLAN 可能引起备份功能的丧失。因此,快速以太网技术一般适合于中小城市在组网初期且业务量不大时采用。

3.3.2 利用吉比特以太网组建城域网

当前以太网交换机技术的发展十分迅速,吉比特以太网技术的发展,及其与 DWDM 技术相结合,在光缆网上架构 GE over DWDM 宽带 IP 城域网,已成为建设宽带 IP 网的主流。

目前 L2/L3 一体化的吉比特以太网路由交换机的背板容量已经达到几百 Gbit/s,数据包通过量达 1 亿个/s 以上。它可以线速进行第 3 层 IP/IPX (网间分组交换)路由和第 2 层无阻塞交换;支持冗余端口、生成树、多选择路由和冗余路由器协议,增加了系统可靠性;还可以提供上百个 1000Base X 端口;提供带宽管理、优先权和基于策略的 QoS;可方便地通过 HTTP,SNMP,RMON,本地和远程的 CLI 进行灵活管理。有的设备还可以支持数千个 IEEE 802.1q VLAN,并且兼容 IEEE 802.1ad 的链路聚合技术。它可以将多个吉比特以太网端口结合成一条干线,在各端口之间进行负载均衡。

对以太网组建城域网有两个技术关键:

a. 如何在无连接的 IP 网上提供端到端的连接, 仿真 TDM 电路。现在有些公司(如 Extreme)的产品可提供 IP TDM 业务, 可以以固定延时传输话音和视频, 为公众电话网提供等效 E1 的 IP TDM 通道。而 RAD 公司提供的产品, 利用 TDM over IP, 在 IP 网上实现透明的 T1/E1 电路。该系统具有外部/自适应时钟再生, 处理时延小于 1 ms, 可扩展, 有冗余备份和管理及诊断功能。其系列产品可以在 IP 网上提供 TDM E1 专线, 比 SDH 网提供的 E1 和 ATM 都要便宜。

b. 当光缆环路被切断时如何能够像 SDH 一样在 50 ms 内完成自愈恢复。现在, 在网络的第 1 层到第 3 层均有了解决方案。

c. DWDM 系统用光交换在光路上实现 50 ms 内完成自愈恢复; 第 2 层的弹性分组环(resilience packet ring——RPR)可以像 SDH 一样在 50 ms 内快速进行自愈恢复, 而又能利用环路备份部分传输数据; 而最新的路由交换机则可以在第 3 层完成环网或网状网出现故障时 50 ms 进行快速自愈恢复。

吉比特光纤以太网具有以下几个重要特点:

a. 光纤网络的可靠性和规模范围上的通达性: 在广域网的建设中, 由于在 DWDM 系统中可采用光放大器, 使得 GE over DWDM 不经过中继传输即可达到 640 km 以上。一些知名厂商测试表明, GE over DWDM 即使在长途干线上使用, QoS 也非常理想。

b. 以太网结构简单、便于扩展。

c. 可实现局域网、城域网和广域网的无缝连接。

d. 可以构筑在光纤、SDH、D(C)WDM 及 RPR 等各种技术之上。

e. 可实现在 1 MHz~1 GHz 范围内以 1 MHz 的增量提供带宽。

f. 可消除协议转换。

g. 可实现多厂家设备的互操作性。

h. 可实现端到端的兼容。

i. 相关的标准有 802.1p 和 802.1q。

2000 年 9 月已发表了 10 Gbit/s 以太网标准草案, 预计 2002 年上半年可完成正式标准的制定。

对于城域骨干网, 不论单路或多路(DWDM)的 IP over OPTICAL 系统, GE 都是最优选择, 具有成本低、性能好的优势。目前一些厂商宣传在城域骨干网上采用 POS、实行 SDH 分帧是一种高成本、低效率的方案(专线的平均利用率不超过 50%)。采用 155 Mbit/s 或 622 Mbit/s 速率不仅传输速率比 CE 低, 设备成本也要高得多, 而当采用 2.5 Gbit/s 速

率时, 价格将高得无法接受。总之 GE over DWDM 是当前最合适的 IP over DWDM 组网方案之一, 具有良好的发展前景, 其应用也越加受到关注。不久前上海交通大学启动了“985 工程”, 这是目前国内规模最大的 ATM 网向宽带以太网移植的校园网改造项目。Extreme Networks 为上海交大提供的技术方案就是 GE over WDM。该方案克服了 ATM 扩展受限、运行成本高、维护复杂等缺陷, 通过一个简单的网络结构, 建立一个可实时进行数据、话音、视频、图像传输的宽带 IP 网络系统, 连接校内所有的教学用户, 并提供强大的 QoS, VLAN, ACL 和 L3/L4 层的路由交换功能及性能。

3.4 RPR 将成为最合适的组网方式

当前关于 RPR 技术已越来越受到业界的广泛关注, 市场前景十分看好。

在传统的电信运营商中, 基于 SDH TDM, ATM, FR 等的传统数据业务仍然有很大业务量, 同时也是主要的收入来源。在新运营商中, 开拓基于 IP 的新业务和为了增加收入而进入传统数据业务市场正同步进行, 在我国这一现象更加明显。因此, 城域网平台应该能够在环形布放的光纤拓扑之上, 通过新型的协议既支持上述的 Ethernet/IP 分组, 也同时支持透明的端到端电路连接。这种新型协议融合了以太网、ATM 和 SDH 的优点, 被称为 RPR。

RPR 的优势十分明显: ①综合了 SDH 和吉比特以太网的优点, 可实现空间重用, 双方向传送, 不占用其他段带宽; ②可实现 50 nm 以内的快速保护切换; ③链路状态变化广播到环上所有节点, 实现拓补自动识别, 最短路径的选择; ④无需额外的备用带宽, 同 SDH 相比可节省 50% 的带宽, 并可实现带宽调节; ⑤可实现等级服务和设备的低成本; ⑥RPR 标准正在制定, 尚未发表。

3.5 各种组网技术在市场上的支持率

2001 年 12 月《中国计算机报》发表了一篇署名文章, 介绍了欧洲网络市场 2001 年对各种组网技术支持率的调研结果(见表 1)和对 2002 年的预测。值得注意的是只有 ATM 的支持率呈下降趋势。另据报道, ATM 在美国的市场支持率已下降至 50% 左右。

2001 年 5 月中国电信提出的《宽带互联网发展研究报告》^[10]中指出: 城域网主要用于连接骨干网和用户接入网络。电信部门出于保护已有线路资源和数据、话音综合服务业务的需求而大多采用 ATM 技术, 而新兴的网络运营商则倾向于采用高速 IP 交换技术。

表 1 各种组网技术在市场上的支持率
Table 1 Supporting ratio of varies technologies

组网技术名称	2001 年/(%)	2002 年/(%)	发展趋势
Terabit routing	12	12	持平
Ethernet	35	41	上升
Packet over SDH	41	41	持平
MPLS	65	70	上升
ATM	76	71	下降
Gigabit routing	65	76	上升
WDM or DWDM	71	76	上升
SDH	82	82	持平

3.6 各种组网技术的成本分析

长期以来,传统的电信运营商一直依托于传统的 ATM 网络平台作为实施网络宽带化的重要技术。之所以这样,归结到一点就是 ATM 有较高的 QoS,这也是 ATM 技术能够生存至今的根本原因,但是 IP 技术的主要缺陷之一。

但是要看到不同业务类型对 QoS 的要求也是不同的。片面地强调 QoS 只会加大建设成本和运行费用。站在运营的角度上,面对市场竞争的压力,所有的服务提供商一改以往片面追求技术的先进性而忽略市场效益的做法,不得不认真考虑设备的成本和性价比。表 2 是几种网络结构的成本比较^[11]。

表 2 几种网络结构的成本比较
Table 2 Cost comparison of several network structures

网络结构	基础设施/(美元· (Mbit·s ⁻¹) ⁻¹)	管理费用/ 美元	系统维护/ 美元
IP/ATM/SONET	8~40	5 000	750~3 750
IP/SONET	6~35	5 000	750~3 750
IP/Ethernet	1~3	1 000	150~450

注:基础设施、管理费用、系统维护的成本优势(成本最高的网络与成本最低的网络其成本之比)分别为 8:1~13:1,5:1,5:1~8:1。

显而易见,从表 2 中可以得出这样的结论:构建基于 IP 网络的投资要比 ATM 少得多,而且 IP 技术的许多标准已经成为信息业的事实标准。IP 网络的主导地位已经确定无疑了。

3.7 各种组网技术的综合比较及应用

综上所述,鉴于 ATM 技术的网络结构复杂,开销大(达 25%以上),成本高,可扩展性差,网络应用呈下降趋势,而对于电力通信现在大量采用的 SDH+光纤的组网方式,由于 SDH 是为汇接低速 TDM 接口而设计的,不能有效地汇聚诸如吉比特以太网等高速数据接口,造成带宽应用的浪费,此外 SDH 还无优先级的 QoS 保证。因此,如前分析,根据宽带 IP 业务的发展情况,建设 IP 宽带城域网有以下几种组网技术选择:

a. 对于 IP 业务量较大的城市,可以采用高速路由器为核心交换技术,采用 IP over DWDM (CWDM)技术组建城域网。

现在一些新技术如交换技术、视频压缩技术(如 MPEG-2 以及 2002 年美国 Galaxy Scientific Corporation 开发成功的图像编码压缩加密技术 GalaxyVue-EIF,EIF 可以达到 2 800 倍的压缩,MPEG 最高压缩为 100 倍,MPEG 不支持无损压缩,而 GalaxyVue-EIF 可做到 27:1 的无损压缩),以及新协议如 RTP/RTCP,RSVP 等的出现,使得 IP over D(C)WDM 可以极好地支持视频和音频等多媒体数据应用。

高速路由器成本相对较高,同时由于虚拟拨号不能穿过基于 IP 的骨干层面,所以要采用接入服务器分布式方案,这会造成初期投资相对较大。

b. 鉴于 GE 技术将取代 ATM 成为局域网、城域网骨干的首选技术已成为发展趋势,采用 GE over D(C)WDM 组建城域网是目前主流方案之一。

在价格方面,由于 ATM 往往只担当网络的骨干,而终端用户的桌面系统仍然使用以太网,通过局域网仿真(LANE)等技术实现网络的互联,因而大大增加了系统的复杂性和成本。而吉比特以太网可以实现与原有的 10 Mbit/s 和 100 Mbit/s 以太网的无缝连接,从而大大地降低了系统的成本和复杂性。因此,采用 GE over D(C)WDM 技术组建城域网已成为当前城域网建设的主流技术。

c. 对于新老运营商或是像电力行业已建有 SDH 和 ATM 的系统的各通信运行(营)公司来说,在城域网的建设中,采用融合了以太网、ATM 和 SDH 的优点的 RPR 技术将会成为最合适的组网方式。

d. 对于 IP 业务量中等的城市,可采用高速 LAN 交换机、吉比特以太网方式组网,以 CWDM 传送 IP 数据。

高速 LAN 交换机价格较便宜,通过划分 VLAN 的方法,可使虚拟拨号穿过基于 LAN 交换机的骨干层面,因此可采用集中式接入方案。这在初期可节省投资。当 IP 业务量增大时,可考虑向以高速路由器为核心交换技术构建城域网的方案过渡。这种过渡是非常容易和平滑的。

e. 在 IP 业务量较小或已建有 ATM 网络的城市,可以用 ATM 组建城域网。通过对 ATM 网络的适当改造和扩建(如引入 MPLS 功能)来组建小型的宽带城域网。这种方案可快速建网,宽带接入服务器可采用集中式接入方案,可大大节约投资。当这种

网络结构不能满足业务发展需要时,可在 ATM 核心层引入一些高速路由器,或者直接向 GE over D(C)WDM组网方式过渡。

4 电力系统综合通信业务在宽带 IP 网上的实现和 QoS 保证

4.1 对 QoS 要求 100%可靠性的业务

电力系统继电保护及安全稳定控制是电力系统安全稳定运行最基本、也是最重要的手段,其信号的传输(包括 AGC,AVC 等调节控制信号)要求极高的实时性(对某些结构比较薄弱的电网来说信号传输的时延要求不得大于 4 ms、可靠性和安全性。应该用专用光纤网实现,并与其他网络隔离。

4.2 对 QoS 不要求 100%可靠性的业务

对现有的其他电力通信业务,均可以分步依次过渡到 IP 宽带综合业务平台上。基于 IP 的信息网络业务,可以直接在综合业务平台上开展;电力数据网的业务,由于采用类似的数字报文分组技术,可以通过对网络接入设备的替换和系统应用中通信接口程序的修改,实现从 X.25/ATM 到 IP 网络的过渡;对于准备采用 X.25/ATM+TCP/IP 网络协议通信的应用,也可直接过渡到综合业务平台上,其数据业务的实时性,可通过 IP 网络的 QoS 机制保证。

4.3 宽带 IP 网络 QoS 的保障服务

基于 IP 网络协议开展的综合业务,首先面临的的就是 QoS 问题。衡量网络 QoS 的主要指标是传输延时、延时的抖动、报文丢失率以及带宽协商能力。IP 对上述指标虽然没有天然的支持,但可以通过协议的扩展、支持优先级服务与 QoS 保障服务加以改进。

要在网络上实现 QoS,先决条件是必须有精确的预测,也就是使用者的数据包流(per flow)在进入网络前,先经过一个网络资源判断的机制(call admission control),来判断网络能否提供足够的资源,相当于使用者与网络提供者制定一个能实现 QoS 的契约。当契约达成后,网络提供者必须对网络各节点进行 QoS 参数的设定,同时网络节点必须提供监控(policing)及排程(scheduling)的机制。监控程序将监视使用者送入网络节点的数据包流,对超出契约内容的数据包则予以丢弃或将 QoS 等级降低。排程则是对竞争性数据包(不同输入端的数据包同时要送到同一输出端)依 QoS 等级的不同给予不同的优先级^[12]。

当前针对提高 IP 网络 QoS 的相关技术已日臻成熟与完善。为满足对 QoS 不同的需要,QoS 协议

主要有以下几种:

a. 资源预约协议 RSVP。它是一个信令协议,可提供建立连接的资源预留,控制综合业务,可在 IP 网上提供仿真电路。可以为特定的主机或者路由上的分组预留资源,为 IP 应用提供了一种从网络中动态申请、接收与调节 QoS 需求的机制。RSVP 是所有 QoS 技术中最复杂的一种,与尽力而为的 IP 服务标准差别极大,它能提供最高的 QoS 等级,使得服务得到保障、资源分配量化,服务质量的细微变化都能反馈给支持 QoS 的应用和用户。

b. 集成服务体系 IntServ。该技术中提供专用带宽与限定时延,可服务于电力系统通信中具有严格时延要求与特殊带宽需求的业务。

c. 差别服务 DiffServ。它可根据 IP 协议报文头,对不同类型的报文进行优先级的排队服务。目前对两种最有代表性的服务等级(业务类别)做了规定。①快速转发(EF):它可以把延时和抖动减到最小,因而能够提供符合 QoS 的最高等级,而任何超过服务范围的业务将被删除;②保证转发(AF):它分为 4 个等级,每个等级有 3 个下降过程,超过 AF 范围的业务不能像业务范围内的业务那样以尽可能高的概率传出去。

统计分析表明,当网络利用率低于 70%时,业务队列很短或根本不排队,只要采用简单的优先级方案,就可保证要求很高的实时业务的 QoS。

电力系统通信中作为核心业务的实时数据业务,传输延时是 QoS 的关键指标。按现有的 IP 技术与应用水平(尤其是高层交换与 RSVP 技术),网络设备的处理能力以及网络的带宽水平,在合理的网络结构上,可以保证 10 ms 级的延时水平。这个指标完全可满足包括电网调度自动化系统在内的实时业务数据传输的规范要求。

参考文献

- 1 修文群,赵宏建(Xiu Wenqun, Zhao Hongjian). 宽带城域网建设与管理(Construction and Management of Broadband MAN). 北京:龙门书局-科学出版社(Beijing: Science Press-Longmen Publishing House),2001
- 2 丁道齐(Ding Daoqi). 现代电网安全稳定运行的三大支柱(Three Pinpoints for Security and Stable Operation of Modern Power Net). 南京:江苏科学技术出版社(Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press),1994
- 3 国家电力公司(State Power Corporation of China). 全国电力系统“十五”通信规划(Blueprint for the National Power Communication in the Tenth Five Year Plan). 2001
- 4 丁道齐(Ding Daoqi). 把握世界通信发展趋势,确立电力通信发展战略(Seizing the Development Trend of Global

Telecommunications and Formulating a Development Strategy of Power Telecommunication). 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 1999, 23(12)

- 5 丁道齐 (Ding Daoqi). 中国电力通信要创新机制, 向新一代公共电信运营公司方向转变 (Creating a New Mechanism for Electric Power Communication in China to Transform into PTO of the New Generation). 中国电力 (Electric Power), 2001, 34(3)
- 6 徐 勇 (Xu Yong). 宽带城域网骨干层的三大选择 (Three Choices on Broadband MAN Backbone Layer). 人民邮电报 (The People's Posts and Telecommunication News), 2001-12-06
- 7 陈 宏 (Chen Hong). GE over DWDM 技术分析 (Analysis on GE over DWDN). 通信天地 (Telecom News), 2000(8)
- 8 北电网络 (Nothern Power Network). 主流光城域网技术 (Technologies of Mainstream MAN). 网络世界 (China Network World), 2002(8)

- 9 侯自强 (Hou Ziqiang). 宽带 IP 城域网渐成主流 (Broadband IP MAN Becoming Mainstream Gradually). 计算机世界网 (Computerworld). <http://www.computerworld.cn>
- 10 中国电信 (Chinatelecom). 宽带互联网发展研究报告 (Research Report of the Development of Broadband Internet). <http://www.chinatelecom.com.cn>
- 11 曾达志 (Zeng Dazhi). IP DSL 擎起一片天 (IP DSL: Porp up Its Own Sky). 网络世界 (China Natwork World), 2002(13)
- 12 林晓峰 (Lin Xiaofeng). 如何保证 QoS 功能 (How to Ensure Qos Function). 网络世界 (China Network World), 2001(16)

丁道齐 (1938—), 男, 教授级高级工程师, 中国电机工程学会通信专委会主任委员。E-mail: dingdaoqi@sina.com

BROADBAND IP TECHNOLOGY: THE MAINSTREAM TECHNOLOGY FOR DEVELOPING A METROPOLITAN AREA NETWORK

Ding Daoqi

(National Power Telecommunication Center, Beijing 100761, China)

Abstract: The necessity and urgency of building a highly reliable broadband power communication integrated service platform is described. Based on an analysis of the characteristics of power communication service, it is pointed out that the data and multi-media service will become the main trends of the communication service. The real-time data on relay protection, security and stability control, AVC, AGC etc., that ask for very little service but are required to be 100% reliable and of perfect QoS because of their direct impact on the safe operation of power network, and the power dispatching command order (voice) should be transmitted directly over a physically isolated special fiber-optic network. For a large amount of data service, real-time or not, transmission over a broadband IP metropolitan area network (MAN) is a good way according to the comparison between and analysis of various networking technologies. According to the service demand and development, it is advisable to set up IP over D(C) WDM broadband MAN by adopting the exchange technology with the high speed router as its core, the Gigabit Ethernet technology and resilience packet ring (RPR) technology. The QoS of the broadband MAN can fully satisfy the requirements of electric power real-time service and video frequency service on standards with the support of the relevant technologies. The methods and steps of the transition from the present power communication service to broadband IP MAN are proposed.

Key words: power communication; broadband IP metropolitan area network (MAN); high speed router; Gigabit Ethernet; resilience packet ring (RPR); coarse WDM; QoS