关于三网融合还有一些要说明的。前面说过，TCP/IP体系结构中对下层物理网络是开放的，只要求所有提交到网络层的数据都被封装成IP包的格式，即IP over Everything。TCP/IP作为计算机网络互通互联标准推广后，电信网络中用于计算机连网的帧中继（FR）、ATM，以太网互联，以及后来出现的多协议标记交换（Multi-Protocol Label Switching，MPLS）技术中都不再设计网络层的内容了，而是直接使用IP报文格式、IP转发方式、IP路由机制。

上世纪九十年代在讨论不同业务的网络融合时，首先要考虑的是基于什么技术支撑来实现。由于IP技术的应用普及率最高，自然也就选择IP作为融合后的网络层标准。也就是说，所有业务都由IP来承载，就形成了Everything over IP的情况。具体说来，在接入网中（采用无环路的简单拓扑，一般不存在路由选择问题，不需要网络层）数据仍以各自网络的格式要求封装，到了汇聚网和骨干网（都需要网络层功能）后，都被封装成IP报文格式。例如，电话网的TDM语音业务用IP来承载；电话网的信令也用IP来承载（称为IP信令网）；有线电视网直接基于IP进行了网络升级和改造；再后来出现的无线自组网、传感网、工业控制网、物联网、卫星网自然也都直接使用IP承载业务数据。也就是说，所有这些网络系统只要与互联网对接，都可以作为互联网的一个组成部分。好，就补充这些。

**4、IP QoS**

前面说过，IP中没有任何网络拥塞管理的流量调整措施。TCP/IP只是在端系统上由TCP来进行网络的拥塞管理，具体措施就是《计算机网络》课程中讲的“慢启动、加速递减、拥塞避免”和“快速重传、快速恢复”等。这种端系统的控制机制效果十分有限，只能起到避免拥塞造成网络系统崩溃的作用。就好比城市交通中，每个单位的汽车在出门时，先看看道路是否拥挤（传输超时），拥挤就不出去，不拥挤就多出去几辆车，而马路上没有交通信号灯和交警的管理和协调。

此外，TCP的流量调节机制没有考虑不同业务数据传输的优先等级问题。这在早期只有文本业务时可以，在网络业务融合后就不能体现“公平性”了。所谓公平就是：不同业务数据在网络传输过程中，根据其所需的服务质量（Quality of Service，QoS）等级提供传输服务。

要提供有效的QoS保证，就需要在每个交换节点（路由器）上增加控制能力，原来路由器采取的先到先服务转发模式就需要改造成分类、排队、调度的转发模式。

* 分类（Classification）是指根据IP包头信息将到达路由器IP分组转发到其输出端口缓存的对应等级的队列中，也就是要把每个端口的缓存空间再划分出不同优先等级队列。IP报文头中的TOS字段就是用于进行分类的，当然，还可以将TOS与IP地址、端口号等结合起来灵活地进行分类。
* 排队（Queueing）是指队列的管理机制，也就是当端口缓存空间的使用溢出时，怎样通过丢弃低优先级缓存数据（例如，尽力而为业务的数据），为新到达的高优先级数据（例如，有实时性要求业务的数据）腾出存储位置。这有“随机早期检测”等技术。
* 调度（Scheduling）是指各个等级的队列怎样转发出去的措施，其原则就是“保证高优先级，兼顾低优先级”。这有“公平加权队列”等技术。

在路由器增加了CQS功能后，还需要有通知路由器针对具体的某个进入网络的数据流采取怎样的CQS处理的机制。这就提出了“综合服务（Integrated Service）”和“区分服务（Differentiated Service）”机制。

* 综合服务是一种有连接传输机制，一个终端（更细一点可以是一个应用程序）在发送数据之前，先沿着IP路由表指示的路径去判断每个需要经过的路由器是否可以提供必要的CQS服务支持，如果可以就在经过的路由器建立预留记录，然后，发送数据；如果不可以就不发送数据。其优点是：一旦路径预留成功，就可以得到有保证的传输服务。其缺点是：互联网上终端和应用程序太多了（几乎等同于无限多），如果大规模开展预留应用，路由器无法预留信息表提供足够大的缓存空间。
* 区分服务是一种无连接的传输机制，为了避免路由器缓存消耗过多，只设计了二十几种CQS服务等级。终端直接发送数据，而是由处于网络边缘的路由器根据与用户签订的服务协议为用户的数据包加上一个对应的服务等级标识（二十几种中的一种），然后转发给网络中IP路由表指示其他路由器，继续后续的转发。路径上的所有路由器都根据这个标识进行相应的CQS处理。其优点是：可以开展大规模的应用。其缺点是：路径上的路由器不一定能够服务保证（可能资源已经不够用了）。

这两种机制各有优缺点，可否将它们结合起来使用，达到既可以大规模应用，又可以提供服务质量保证呢？答案是肯定的，能够实现这两方面有机结合的就是多协议标记交换——MPLS技术。

**5、MPLS**

MPLS在现在的通信网络中占有绝对重要的地位，《计算机网络》课程的书中有一些介绍，但是太少，最好弄一本专门讲述MPLS的书看看。MPLS提出的比较晚，它尽量将已有技术中的一些优点吸纳到其中。

MPLS在IP包的外面（前面）加上了MPLS标签，标签的添加也是在网络边缘的路由器上实现。标签的分配是针对某个转发数等效类的，而转发等效类的确定可粗可细，非常灵活。MPLS标签中既包含了路径信息，又包含了优先等级信息。路径标签的分配过程也就是一条标记交换路径的建立过程，这个建立过程与传统的虚电路建立方式很类似（如帧中继、ATM等），也就是说MPLS提供网络边缘到网络边缘的有连接传输服务，也有人称MPLS为无连接的IP网络提供了有连接传输服务支持。基于有连接过程就可以进行路径上的资源预留，再结合转发等效类定义，“细”可以为某个特定应用建立一条有保证的标记交换路径，“粗”也可以为众多用户的某一类数据建立一条标记交换路径。所以说，MPLS既可以提供综合服务，也可以提供区分服务。

标记交换路径是可以事先建好的。这有两个好处：一是数据包到了标记交换路由器可以立即转发出去，不用拆包提取IP地址找到对应出口，在把数据重新封装之后转发到对应出口，但快速IP交换技术有了后，MPLS的这一优点不突出了；二是可以事先为网络中一些重要的传输路径建立好备份路径，一大发生故障，就直接切换到备份路径上继续传递数据包。虽然IP路由协议具有自愈功能，但IP路由协议发现新路径、更新路由表的过程很耗时间的，无法满足电信网络系统的故障切换不超过50ms的要求。

MPLS的另一个精华就是标签栈，也就是标签嵌套功能。这在基于MPLS的虚拟专用网（Virtual Private Network，VPN）、不同业务的承载支持、网络流量负载均衡、冗余路径容错等技术中都被用到。用的最多的就是内外两层的标签嵌套，充分利用了标签中路径标识和QoS标识的作用。举一个不一定是十分恰当的例子来说明。

例如，武汉经过郑州到北京，同样，武汉经过郑州也可以到西安。在武汉到郑州的高铁上，可能或有去往北京的乘客，也有去往西安的乘客。为了区分这两类乘客分别给他们一个内层标签（例如，1代表去往北京，2代表去往西安）。同时，为武汉到郑州的这趟高铁分配一个外层标签100。这两高铁上的每个乘客就有了两个路径标签（100-1和100-2）。另外，100高铁有硬座和软座，也就是又不同的QoS要求，1（硬）和2（硬）是一样的QoS等级，1（软）和2（软）是一样的QoS等级。武汉到郑州的100高铁是直达的，其QoS等级100（直）。100到了郑州后，去往北京的1标识乘客换乘郑州到北京的高铁，去往西安的2标识乘客乘郑州到西安的高铁。换乘过程中通过内层标签很容易区分乘客。假设郑州到北京一辆高铁是200，那么首先就要看200的QoS等级是不是（直），如果不是，乘客又不愿意接收降级服务，那么1标识的乘客不能安排到200车上；接着看200高铁上是不是又软座，如果没有，1（软）的乘客不能被安排到200车上。如果条件都满足，在郑州中转时，去往北京只希望中转一次、且需要软座的乘客的标签就变为了200（直）-1（软）。这样的传输调度和管理是不是很清晰，也很方便。

MPLS一样是使用IP路由机制来进行选路的，为了建立有保证的传输路径，又有了基于MPLS的QoS路由；为了链路和交换节点的容错，又有了基于MPLS的快速重路由和多拓扑路由；为了网络流量分流和负载均衡，又有了MPLS Tunnel技术，当然，基于MPLS的多拓扑路由也可以用于负载均衡；为了给不同的接入网络系统提供业务支持，又有了基于MPLS的伪线仿真（Pseudo Wire Emulation Edge to Edge，PW3E）技术。

目前，骨干网的OTN中使用的是通用多协议标记交换——GMPLS；汇聚网的PTN中使用的是多协议标记交换传送应用——MPLS-TP。