**二、网络核心技术概述**

**1、电路交换与分组交换**

交换式（非直通式）公共通信网络系统中存在两种信息传递和交换技术，即电路交换技术和分组交换技术。注意，这两种技术目前都在使用，各有优缺点，不同的技术总是针对网络承载的不同业务提出和设计的。网络传递的信息可以大致分为语音、文字、图片、影像、检测数据、控制指令等几种。不同类型的数据有不同的通信传输要求，控制指令和检测数据对传输的实时性和可靠性都有严格要求；实时多媒体的语音（如电话）及影像（如直播）数据对传输的实时性约有较高要求，但对可靠性要求不很高；而非实时的文字、图片、语音、影像等文件传输对可靠性要求很高，对实时性要求不高。不同的要求就需要不同的技术来提供支撑。

电话网最初是为了语音通信而建的，采用的就是电路交换技术，提供的是面向连接的传输服务。所谓面向连接的传输就是在传输数据之前先建立一个通信连接（连接是为交换和传输而建立的一次临时性的联系），在电话通信过程中就是先拨号；然后，传递信息（说话）；最后，撤销连接(挂断电话)。在连接的建立过程中，电话机与接入点程控交换机、沿途路径上交换机与交换机之间都需要通过传递信令来为拨号用户预留通话资源，例如，信令发送者说“我要为A建立通话连接”，接收者回应“A的连接资源已预留”，国内的电话信令机制称为7号信令。这里有个疑问，信令是如何知道应该沿着哪条路径来传递信令建立连接呢？这个是由网络管理员（人为）预先设定好的，即静态路由（也就是选择传输路径并且沿该路径来转发信息的过程，也可以进一步分为路由选择和路由转发两部分，路由选择就是设置路由表，路由转发就是通过查询路由表为到达的信息确定后续的传递路径）。通话过程就是沿着建立的路径传输信息，撤销过程是建立过程的反向放弃预留资源的过程。

随着数字化技术和复用技术的进步，电话的电路交换技术进入了基于脉冲编码调制（Pulse Code Modulation，PCM）的时分复用（Time Division Multiplexing，TDM）时代，PCM和TDM《通信原理》有介绍。电话网中的程控交换机（即公共通信网络中的交换节点）上有两种接口，一种是连接电话的用户线路；一种是连接其他交换机的中继线路。用户线路是没有复用的，中继线路是有复用的，技术上的考虑不一样。程控交换机中，对用户数据的采样和复用（再转发到中继线）有两种标准，T1（北美）和E1（欧洲）。国内采用的是E1标准，每秒采样8000次（间隔125µs），用户速率（带宽）8\*8000=64kbps；然后，将30路用户（电话）信号和1路同步信号、1路信令信号复用在一起，组成一个基本帧；16个基本帧组成一个超帧；这样，一路基本复用信号的速率就是2.048Mbps（通常所说的2M端口）。因为交换机与交换机之间可以支持更高的传输速率，2.048Mbps的信号可以继续复用，以4倍为复用基数，加上一些网络管理用的信息，形成中继线上的传输速率（交换单元）。这些在《程控交换原理》课程中有介绍，你们可能没有讲过，老爸啰嗦一点。在交换机与交换机的连接中，同步信号、信令信号和管理信号都可以从逻辑上和物理上分离出来，形成专门的同步网、信令网和管理网。可见，为了保证语音通话质量是需要一套专门的保证系统，成本是很高的，所以，电话语音通话的计费自然也要高一些。

其实，“交换网络”原来就是指程控交换机中的交换矩阵，老爸把它引用到公共通信网络中，因为它们的功能类似。但是，不管怎样演进，连接建立（拨号）的过程就是预留资源（分配固定的时隙），之后，不管是否有信息传递（说不说话），时隙都被占用了。所以，电路交换的通信质量绝对有保证（端到端时延是确定）的，中间节点都预留了所需的固定转发时隙；如果连接建立时发现没有时隙可用，拨号的反馈就是“嘟嘟”的忙音），连通后也必须按接通时间收费（说不说话是用户自己的事）。

再来说分组交换。在传统的信息传递方式中，除了电话，还有信件和电报。信件和电报都属于报文交换，信息传递时不需要发送端与接收端之间建立连接，只需要（在信封上）把接收者和发送者的地址信息写清楚，然后交给通信网络（邮政系统）即可。报文在公共通信网络的传递由专门的网络管理系统负责。

早期计算机之间的数据传输具有“突发性”，例如，输入一行操作指令，按了回车后指令才开始被传输出去；写完邮件后，按了发送键后邮件才开始发送。所以，采用报文交换方式最合适，通信资源的占用也可以按照数据量（流量）来进行计量与核算。不过，交换机（也是一台特殊用途的计算机）的存储空间有限，也为了对所有用户公平起见，必须限制每个报文的长度，也就有了限定长度的分组一说。分组的数据项就好比信件的内容，分组头就好比信封内容。用户计算机只需要把分组封装好，交给交换机（路由器）即可，后续的传递过程都由通信网络系统完成。通信网络接收分组的交换机上所有到达的分组共享存储和转发资源，如果资源消耗完，则只能丢弃后续到达的分组，其好处就是资源利用率的最大化，将使用成本降至最低。随着网络技术的发展，这种计算机网络就演进成了互联网，《计算机网络》课程有详细介绍。

随着计算机应用的越来越广泛，互联网上不仅需要传输文本类非实时信息，也需要传输网络直播互动的音频和视频一类实时数据信息，就又把面向连接的有保证传输技术引入进来，通过连接建立过程来预留网络资源。但这种资源预留与电路交换中的预留时隙有所不同，只是在交换节点缓存排队和转发调度过程中给予一些标记了服务等级的分组优先考虑，例如，通过在缓存空间中丢弃已缓存的低等级分组为新到达的高等级分组腾出缓存空间；通过优先转发缓存中的高等级分组保证其传输的实时性要求，这也被称为“虚电路”技术。因此，现在的分组交换又演绎出了“虚电路”和“数据报”两种技术类型，采用“数据报”方式传递的被称为“尽力而为（Best Effort）”的网络服务（业务）。

**2、网络体系结构**

端到端的网络数据传输中，控制程序需要完成许多工作，例如，编码、信号调制解调、错误纠正、选择传输路径选择、与应用程序对接、数据格式的转换等等。因此，将系统工程设计中体系结构的思想引入到了网络通信程序的设计与开发中，其好处在《计算机网络》课程中都介绍了。

早期的计算机网络体系结构都是各家网络公司自己定义和设计的，十分不便于不同计算机网络系统的互通互联。为此，国家标准化组织定义了开放系统互连（Open System Interconnection，OSI）模型，也就是著名的计算机网络体系结构的七层模型。其中，每一层的任务划分得很清晰、功能定义得很详细，作为学习资料是挺好的。但是，TCP/IP模型更早被提出，已实际应用到了计算机网络互联过程中，且得到了普及与推广，想要替换成本太大，已不可能。所以，TCP/IP模型成为了事实标准。在后来网络发展的网络融合过程中，鉴于TCP/IP得成功，其自然成了唯一性的通用标准。所以，学习通信网络必须掌握TCP/IP的核心内容和关键要素。你们学习的IPv4和IPv6都非常重要，是必备的基础知识。

一个大的通信系统可以分为终端和通信网络两大部分。对传统的电话网系统来说，用户终端就是固定电话机，其能力有限，所以大量的功能都需要在通信网络内部实现（可以将交换节点和控制、管理用的计算机都算作通信网络内的资源）。而对计算机网络系统来说，作为终端的计算机能力很强大。所以，TCP/IP采用“简单网络/复杂终端”的设计思想，也就是把许多工作都推到终端计算机上去完成，尽量简化交换节点（路由器）上的工作。

下面从TCP/IP的开放型四层结构模型来讲解。这里的开放是指TCP/IP只严格定义了IP（基本对应于OSI模型的网络层）以及TCP和UDP（基本对应OSI模型的运输层）。对下层物理网络系统没有限制，任何一个的网络系统（不分厂家、不论有线或无线）都可以接入进来，唯一的限制就是传上来是数据必须封装为IP包的格式。对上层的应用系统也没有限制，任何人开发的应用系统只要调用TCP或者UDP就可以实现网络通信传输。只有中间两层是标准化的。其中，IP层“简单”，提供标准化的数据封装格式和IP包转发功能（对到达的分组，根据目的IP地址查询路由表，再转送到对应输出端口的缓存区中）；UDP提供简单的通信复用和报文验错功能，复用由端口号指明应用程序，验错通过校验码核对，错了就丢弃，不纠错。TCP提供通信复用，以及复杂的报文纠错和网络流量控制功能（在《计算机网络》课程或《TCP/IP详解》书中都有介绍。IP运行在所有通信设备中，TCP和UDP之运行在终端计算机设备中。

接着说TCP/IP体系的“简单网络不简单”特性。虽然IP中只有简单的“查表转发”过程，但却设计了复杂的由程序实现的路由表动态更新功能（不像电话网是由管理员手工配置），这也被称为IP路由的自组织特性。IP路由中不仅有选取最佳传输路径的算法，还有一整套路由器之间复杂的路由信息交互机制（发现路径、通告路径）。并且，由于互联网十分庞大（有十多万台路由器），又划分为骨干网络、自治系统、局域网等不同的路由管理层次，受可管理范围的约束，需要使用不同的路由协议。这就有了RIP（路由信息协议，用于小型网络）、OSPF（开放最短路径优先，用于大型网络）、BGP（边界路由协议，用于不同自治系统互联）等。同时，为了互联网上的组播应用，还有许多组播最优路径的各种算法和路由协议。这部分《计算机网络》课程中没有，在《TCP/IP路由协议》书中有较为详细的介绍。组播路径最优算法要在相关的研究论文中查出找。IP路由是TCP/IP体系中非常重要的内容，也是其精华所在，也被引入到了电话网和新出现的网络系统中（在其基础上演进）。

IPv6相比IPv4比仅仅是地址极大地扩充，另外在对移动IP、网络安全方面也有支持。移动IP技术基本是从移动通信技术中借鉴过来的，例如，注册、认证、关联、漫游切换等概念和机制。并且，在Wi-Fi等无线网络中也引入了类似的机制。

**3、网络融合**

早期的网络系统都是针对特定业务涉及的，典型的代表有电话网、有线电视网、计算机网。

电话网又分为固定电话网和移动通信网。移动通信网利用蜂窝基站技术解决手机的无线接入网络问题，在基站与基站之间的通信仍使用有线网络。但是，移动通信的信令比固定电话信令复杂得多（关联、漫游），为此电信行业专门设计了新的信令标准（国内就是7号信令），从而使固定电话网与移动通信网很好地融合在了一起。你注意观察会发现，固定电话拨打固定电话的接通时间要小于固定电话拨打手机的接通时间，因为有个信令衔接的过程。另外，不同的传输技术也存在衔接问题。固定电话采用TDM技术，移动通信网的无线接入技术有频分多址访问（FDMA）、码分多址访问（CDMA）、时分多址访问（TDMA），这就需要有一个衔接过程。目前，国内大多采用TDMA，欧洲采用FDMA。

随着计算机互通互联需求产生，电信网又开始针对计算机传输需求（分组交换技术）在话音业务传输网络的基础上设计了专门的分组交换技术，如X.25、帧中继、ATM等，这些都已不再使用也就不多说了。

除了普及最广的电话网，有线电视网在城区也是普及率很高的网络系统。有线电视的优点是影像视频资源丰富，但是，早期该网络传输是单向的。为了支持计算机通信，有线电视网现在已改造成了基于IP的双向传输网络系统的。

计算机网络是基于分组交换技术设计的，随着TCP/IP应用普及和嵌入式技术的推广，原有的和新的通信网络系统都被纳入到计算机网络范畴之内。计算机网络的最大特点就是各种各样的应用程序特别地丰富，这也就是网络应用资源。

在三网融合之前，一个终端终端用户往往需要连接多种输入线路，通信网络建设也存在类似的重复建设问题。于是，网络融合自然成了发展需求。首先就是业务融合，语音、文字、影像业务的融合，即一个网络既可以发送文件，也可以打电话，还可以看电影。提供业务融合的前提是技术融合，不同网络系统中的技术需要相互借鉴和引入。

随着发展的不断深入，抛开经营管理范畴，已经没有电信网、有线电视网、计算机网之分了。但是，骨干网、汇聚网、接入网的概念还是存在的。从融合角度讲，我们从电信系统租用一条“宽带光纤”，它提供固定电话业务（通过频带划分保留了电话语音信道）、互联网业务（浏览信息、网络直播、语音电话等）。注意，这个语音（微信语音、QQ语音）与电话的语音还是有区别的。这两种业务在信道上的分开的。所以，目前国内有一个有趣现象。如果你要求只提供一条固定电话服务，电信局会问你有没有宽带（光纤入户的EPON网络），如果没有，他们基本不会为你另外布设一条专门的电话线路的（拒绝安装电话）。

既然网络融合是基于IP的，那为了支持不同类型业务数据的传输，IP存在的缺陷就必须采取办法解决。单纯靠TCP系统的纠错和流量控制是完全不行的。后面介绍IP QoS技术。老爸休息一下，🙂