

第 5 章 ISP 网络设计方法和实现过程

Internet 服务提供者(Internet Service Provider,ISP)网络设计涉及广域网技术和自治系统划分,因此 ISP 网络设计过程主要包括广域网实现路由器互联的过程与分层路由设计和实现过程。

5.1 ISP 网络结构

ISP 网络结构包含自治系统、广域网技术和分层路由结构等。由于 ISP 网络由多个自治系统组成,因此存在由内部网关协议创建的用于指明通往自治系统内各个网络的传输路径的内部路由项和由外部网关协议创建的用于指明通往其他自治系统中网络的传输路径的外部路由项。

5.1.1 自治系统

ISP 网络结构如图 5.1 所示,由 4 个自治系统组成。自治系统的详细介绍参见 2.3.5 节。

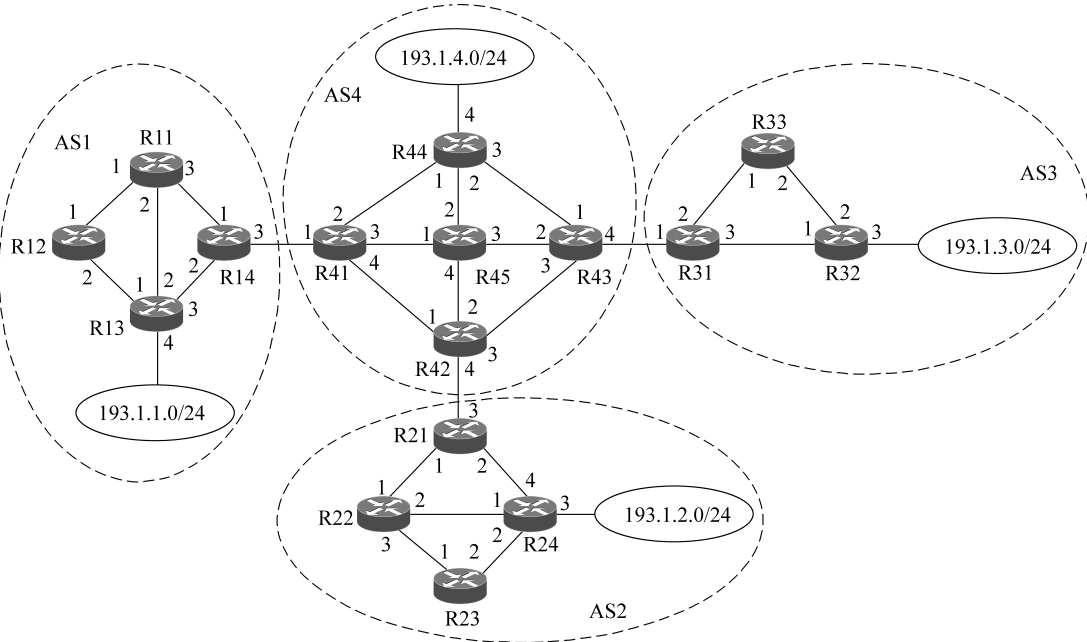


图 5.1 ISP 网络结构

在图 5.1 中,路由器 R14 和 R41 分别是自治系统 AS1 和自治系统 AS4 中的自治系统边界路由器,它们的功能是实现自治系统 AS1 和自治系统 AS4 的互联。一般情况下,需要

路由器 R14 的接口 3 和路由器 R41 的接口 1 连接在同一个网络上,因此通过路由器 R14 和路由器 R41 因为配置接口 IP 地址和子网掩码而自动生成的直连路由项就可实现路由器 R14 和路由器 R41 之间的 IP 分组传输过程。

5.1.2 广域网技术

对于 ISP 网络,路由器之间的间隔可能很远,因此互联路由器的链路常采用远距离点对点链路。目前常见的远距离点对点链路有 ATM 网络提供的虚电路和 SDH 网络提供的物理链路。因此,需要通过 IP over ATM 或 IP over SDH 技术实现路由器之间的 IP 分组传输过程。

IP over ATM 需要实现以下三个功能:一是根据下一跳 IP 地址确定连接下一跳路由器的虚电路;二是需要将 IP 分组封装成 ATM 信元;三是通过路由器之间已经建立的 ATM 虚电路实现封装 IP 分组的 ATM 信元当前跳至下一跳的传输过程。

IP over SDH 需要实现以下四个功能:一是根据 IP 分组的输出接口确定连接下一跳路由器的点对点物理链路;二是通过 PPP 建立与下一跳路由器之间的 PPP 链路,其中包括相邻路由器的双向身份鉴别过程;三是需要将 IP 分组封装成 PPP 帧;四是通过与下一跳路由器之间的 PPP 链路实现 PPP 帧当前跳至下一跳的传输过程。

5.1.3 分层路由结构

每一个自治系统中的路由器通过两层路由协议创建用于指明通往其他自治系统中网络的传输路径的路由项,例如自治系统 AS1 中路由器 R12 创建用于指明通往自治系统 AS3 中网络 193.1.3.0/24 的传输路径的路由项的过程如下。

1. 内部网关协议创建自治系统内部路由项

每一个自治系统通过内部网关协议创建用于指明通往该自治系统内所有网络的传输路径的路由项,如自治系统 AS1 中路由器 R12 通过内部网关协议创建用于指明通往路由器 R14 接口 3 连接的网络(这里假定为 NET9)的传输路径的路由项 $\langle \text{NET9}, \text{R11}, 3 \rangle$,其中目的网络为路由器 R14 接口 3 连接的网络 NET9,下一跳路由器为 R11,距离为 3。同样,自治系统 AS4 中路由器 R41 通过内部网关协议创建用于指明通往路由器 R43 接口 4 连接的网络(这里假定为 NET11)的传输路径的路由项 $\langle \text{NET11}, \text{R45}, 3 \rangle$ 。自治系统 AS3 中路由器 R31 通过内部网关协议创建用于指明通往网络 193.1.3.0/24 的传输路径的路由项 $\langle 193.1.3.0/24, \text{R32}, 2 \rangle$ 。

2. 自治系统边界路由器交换路由消息

通过配置确定 R43 为自治系统 AS4 中的边界路由器,R31 为自治系统 AS3 中的边界路由器,且 R43 和 R31 互为相邻路由器。R43 和 R31 之间通过外部网关协议交换路由消息。R31 发送给 R43 的路由消息中包含以下信息:目的网络 193.1.3.0/24、所在自治系统的自治系统号 AS3 和 R31 接口 1 的 IP 地址。需要指出的是,由于 R31 的接口 1 和 R43 的接口 4 连接在同一个网络上,因此 AS4 中路由器在建立通往 R43 接口 4 连接的网络的传输路径的同时,也建立了通往 R31 接口 1 的传输路径。一般情况下,R43 通过 BGP 将 R31 发送给它的有关目的网络 193.1.3.0/24 的路由消息转发给 R41。

同样,通过配置确定 R41 为自治系统 AS4 中的边界路由器,R14 为自治系统 AS1 中的

边界路由器,且 R41 和 R14 互为相邻路由器。R41 和 R14 之间通过外部网关协议交换路由消息。R41 发送给 R14 的路由消息中包含以下信息:目的网络 193.1.3.0/24、通往目的网络传输路径经过的自治系统 AS3 和 AS4 以及 R41 接口 1 的 IP 地址。R14 通过内部网关协议将用于指明通往外部网络 193.1.3.0/24 的传输路径的路由项<类型=外部网络,目的网络=193.1.3.0/24,下一跳=R41 接口 1 的 IP 地址>扩散到 AS1 中的所有其他路由器。路由器 R12 通过内部网关协议建立的用于指明通往 R14 接口 3 连接的网络的传输路径的路由项<类型=内部网络,目的网络=NET9,下一跳=R11>和路由项<类型=外部网络,目的网络=193.1.3.0/24,下一跳=R41 接口 1 的 IP 地址(属于网络地址 NET9)>建立用于指明通往外部网络 193.1.3.0/24 的传输路径的路由项<类型=外部网络,目的网络=193.1.3.0/24,下一跳=R11>。同样,R41 或 R43 在 AS4 中通过内部网关协议扩散用于指明通往外部网络 193.1.3.0/24 的传输路径的路由项<类型=外部网络,目的网络=193.1.3.0/24,下一跳=R31 接口 1 的 IP 地址>,AS4 中的路由器通过内部网关协议建立的用于指明通往 R43 接口 4 连接的网络的传输路径的路由项和路由项<类型=外部网络,目的网络=193.1.3.0/24,下一跳=R31 接口 1 的 IP 地址>建立用于指明通往外部网络 193.1.3.0/24 的传输路径的路由项。

3. 通往外部网络的传输路径

在 AS1 中建立的 R12 通往外部网络 193.1.3.0/24 的传输路径为 R12→R11→R14→R41,该传输路径由路由器 R12、R11 和 R14 通过内部网关协议建立的通往 R14 接口 3 连接的网路 NET9 的传输路径和路由项<类型=外部网络,目的网络=193.1.3.0/24,下一跳=R41 接口 1 的 IP 地址>创建。

在 AS4 中建立的 R12 通往外部网络 193.1.3.0/24 的传输路径为 R41→R45→R43→R31,该传输路径由路由器 R41、R45 和 R43 通过内部网关协议建立的通往 R43 接口 4 连接的网路 NET11 的传输路径和路由项<类型=外部网络,目的网络=193.1.3.0/24,下一跳=R31 接口 1 的 IP 地址>创建。

在 AS3 中建立的 R12 通往外部网络 193.1.3.0/24 的传输路径为 R31→R32→网络 193.1.3.0/24,该传输路径由路由器 R31 和 R32 通过内部网关协议建立。

5.2 IP over ATM 和 IP over SDH

ATM 和 SDH 是两种广域网技术,ATM 是虚电路分组交换网络,SDH 是电路交换网络。随着路由器之间流量的增加,路由器之间物理链路的带宽日益成为瓶颈,这使得 SDH 成为实现路由器远距离互联的主流广域网技术。

5.2.1 SDH

1. 产生 SDH 的原因

通过分析 PSTN 可以发现,PSTN 实际上是由数字传输系统互联 PSTN 交换机而成的一个网络系统,如图 5.2 所示。当然,可以直接用一对点对点光纤(或优质同轴电缆)互联 PSTN 交换机,但这种互联方式比较复杂,如互联 N 台 PSTN 交换机需要 $N \times (N-1)/2$ 对光纤,因此互联 PSTN 交换机的 E 系列链路采用复用和交换技术。在图 5.3 中,需要用两

条 E3 链路分别互联 PSTN 交换机 1 和 3 与 PSTN 交换机 2 和 4,但不需要单独铺设这两条 E3 链路,而是通过复用一条 E4 链路实现。PSTN 交换机 1 连接的复用/分离器需要将 E4 帧中某个位置的 E3 信号和连接 PSTN 交换机 1 的 E3 链路绑定在一起,同样 PSTN 交换机 3 连接的复用/分离器需要将 E4 帧中同一位置的 E3 信号和连接 PSTN 交换机 3 的 E3 链路绑定在一起。复用技术要求参与复用的 E 链路两端的终端设备位于同一物理区域,如图 5.3 中的 PSTN 交换机 1 和 2 与 PSTN 交换机 3 和 4。如果参与复用的 E 链路两端的终端设备位于不同的物理区域,例如图 5.4 中,连接 PSTN 交换机 3 的 E3 链路的另一端是 PSTN 交换机 7,连接 PSTN 交换机 4 的 E3 链路的另一端是 PSTN 交换机 5。虽然 PSTN 交换机 3 和 4 位于相同的物理区域,但 PSTN 交换机 5 和 7 位于不同的物理区域。这种情况下,如果要求将两条 E3 链路复用到同一条 E4 链路,则需要交叉连接交换设备实现不同 E4 链路之间 E3 信号的交换。这种交换过程和 PSTN 交换机的时隙交换过程相似,即从一条 E4 链路中分离出 E3 信号,然后将 E3 信号重新复用到另一条 E4 链路中,转接项用于指明 E3 信号在这两条 E4 链路中的对应关系。E4 链路由 4 个 E3 信号复用而成,每一个 E3 信号在 E4 帧中都有固定位置,这一点和每一个时隙在 E1 帧中有固定位置是一样的。转接项给出同一 E3 信号在不同 E4 帧中的位置关系,如转接项<1.1: 3.1>表明端口 1 连接的 E4 链路中位置 1 的 E3 信号和端口 3 连接的 E4 链路中位置 1 的 E3 信号是对应的,即需要从端口 1 连接的 E4 链路中分离出位置 1 的 E3 信号,然后将其复用到端口 3 连接的 E4 链

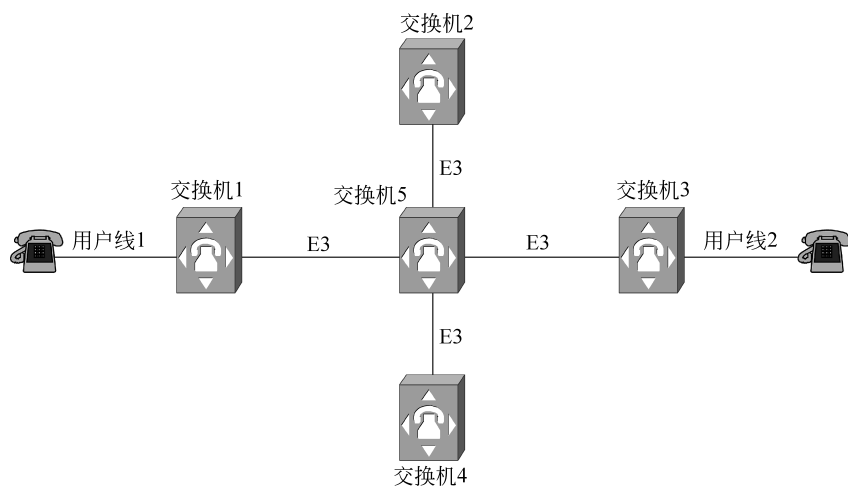


图 5.2 PSTN 结构

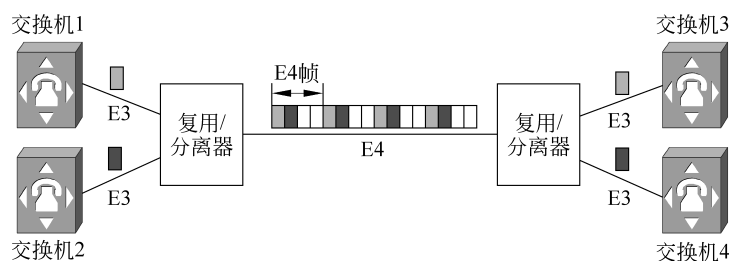


图 5.3 复用技术

路的位置 1 中,反之亦然。PSTN 交换机中的转接项在建立呼叫连接时生成,在释放呼叫连接时删除,而交叉连接交换设备中的转接项往往由人工静态配置。PSTN 交换机间通过复用和交换技术建立的 E3 链路是电路交换网络按需建立的点对点物理链路。

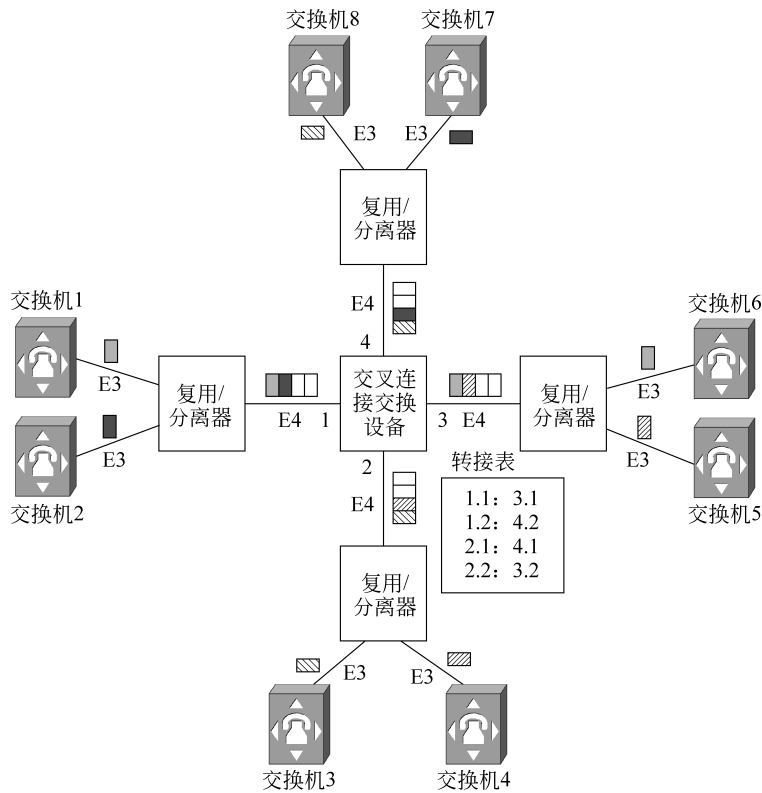


图 5.4 复用和交换技术

目前世界上常用的数字传输系统有两大系列：E 系列和 T 系列。中国和欧洲使用的是 E 系列，北美和日本使用的是 T 系列，这两个系列并不兼容。表 5.1 和表 5.2 分别给出 E 系列和 T 系列链路的传输速率与支持同时通信的语音路数。从中可以发现，不同系列数字传输系统之间不能直接相互通信，需要进行转换，这会对全球通信带来困扰。另外，从高次群

表 5.1 E 系列链路的传输速率和语音路数

速率类型	一次群(E1)	二次群(E2)	三次群(E3)	四次群(E4)	五次群(E5)
传输速率/(Mb/s)	2,048	8,448	34,368	139,264	565,148
语音路数	30	120	480	1920	7680

表 5.2 T 系列链路的传输速率和语音路数

速率类型	一次群(T1)	二次群(T2)	三次群(T3)	四次群(T4)
传输速率/(Mb/s)	1.544	6.312	44.736	274.176
语音路数	24	96	672	4032

帧中提取低次群信号的过程也十分困难,必须逐次分离。需要从 E4 帧中提取 E1 信号,首先需要分离出 E4 帧中的 4 个 E3 信号,然后从包含 E1 信号的 E3 帧中分离出 4 个 E2 信号,再从包含 E1 信号的 E2 帧中分离出该 E1 信号。为解决数字传输系统的不兼容问题,简化信号复用、分离和交换过程,需要提供一种标准的数字传输系统,这种标准的数字传输系统就是同步数字体系。

2. SDH 帧结构

既然同步数字体系是一种通用的数字传输系统,它的帧结构必须是非常灵活的,就像是一条滚装船必须能够同时搭乘旅客、汽车、货物甚至火车,而且应该比滚装船更加灵活。可以把 SDH 帧结构想象成具有这样一种功能的滚装船:如果只搭乘旅客,可以搭乘 5000 名旅客;如果只搭乘汽车,可以搭乘 500 辆汽车;如果只搭乘货物,可以搭乘 100t 货物;如果只搭乘火车,可以搭乘 10 节车厢,如果混装,按照 500 名旅客:50 辆汽车:10t 货物:1 节车厢的比例,任意安排旅客、汽车、货物和火车的数量。

基于这样的思路,人们提出图 5.5 所示的 SDH 同步传送模块等级 1 (Synchronous Transport Module level-1, STM-1) 帧结构,SDH 每一帧的传输时间为 $125\mu\text{s}$,这完全是为了和 PSTN 中 8kHz 的采样频率相吻合。SDH STM-1 每一帧共有 $9 \times 270 = 2430$ 字节,这 2430 字节在传输时是逐字节、逐位传输,但在表示其帧结构时,将 2430 字节安排成 9 行,每行 270 列的矩阵格式。由于每 $125\mu\text{s}$ 传输 2430 字节,因此可算出其传输速率 $= 2430 \times 8000 \times 8 = 155.52\text{Mb/s}$ 。155.52Mb/s 传输速率中包含 9 列开销字节,实际净荷传输速率 $= 261 \times 9 \times 8000 \times 8 = 150.336\text{Mb/s}$ 。净荷传输速率是实际为网络结点提供的数字传输速率,就像滚装船中真正用于搭乘旅客、汽车、货物和火车的空间,而开销字节数就像滚装船中一些服务设施所占用的空间。不同网络结点要求的传输速率是不同的,如 PSTN 交换机 X 要求 E2 传输速率(8.448Mb/s),而 PSTN 交换机 Y 要求 E3 传输速率(34.368Mb/s)。这就像多个用户同时通过某条滚装船运送物品时,不同用户有不同的运输要求,如用户 X 要求运送 20 辆汽车,而用户 Y 要求运送 2 节火车车厢。对滚装船而言,需要用一种方法将不同尺寸、不同类型的物品混装在一起;而且,为方便装卸,需要将滚装船的空间分隔成不同类型的标准子空间,以对应不同尺寸、不同类型的物品。当然,这种子空间的分隔可以动态改变。很显然,每一标准子空间的大小肯定不会和实际物品尺寸完全一致,应该是稍大于实际物品尺寸。我们将实际物品放入对应标准子空间的过程称为封装,将标准子空间尺寸称为封装

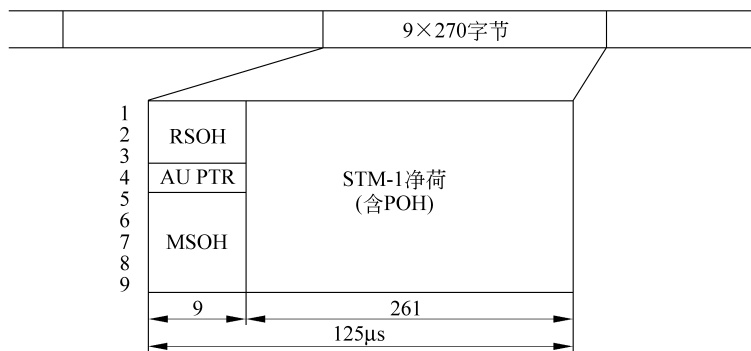


图 5.5 SDH STM-1 帧结构

空间尺寸。同样,当 SDH 汇聚不同传输速率要求的数字传输服务请求时,也需要将这些不同的传输速率要求封装成对应的标准子速率,这些标准子速率是实际的传输速率要求+作为开销的传输速率。因此,在图 5.5 中,当净荷传输速率用于提供 VC-4 标准子速率时,真正可以为网络结点提供数字传输服务的传输速率只有 $260 \times 9 \times 8000 \times 8 = 149.760\text{Mb/s}$ 。这个传输速率可以支持 E4 传输速率。但如果要求支持 E5 传输速率,就需要更高速的数字传输系统。实际上,155.52Mb/s 传输速率只是 SDH 的基本传输速率(STM-1),有点类似于 PSTN 中的 E1 传输速率。SDH 可以提供更高速的传输速率,这些高速传输速率必须是基本传输速率的整数倍。表 5.3 是目前 SDH 可以提供的传输速率。

表 5.3 SDH 信号结构

信号	速率/(Mb/s)	容量
STM-1,OC-3	155.520	1E4、84 T1 或 3 T3
STM-4,OC-12	622.080	4E4、336 T1 或 12 T3
STM-16,OC-48	2488.320	16E4、1344 T1 或 48 T3
STM-64,OC-192	9953.280	64E4、5376 T1 或 192 T3
STM-256,OC-768	39813.12	256E4、21504 T1 或 768 T3

SDH STM-1 的传输速率是由 STM-1 帧结构决定的,图 5.6 所示是支持 STM-4 传输速率的 STM-4 帧结构。STM-4 帧结构表明 STM-4 每 $125\mu\text{s}$ 传输 $4 \times 270 \times 9 = 9720$ 字节,可算出其传输速率 $= 4 \times 2430 \times 8000 \times 8 = 622.08\text{Mb/s}$ 。从图 5.6 中也可以看出,STM-4 的开销也是 STM-1 的 4 倍。通过 STM-4,不难推出支持 STM-N 的传输速率的 STM-N 帧结构。

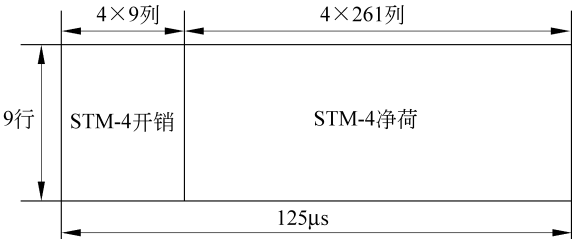


图 5.6 STM-4 帧结构

3. SDH 复用结构

SDH 作为标准的数字传输系统必须能够同时支持 E 系统和 T 系列信号结构。当然,STM-1 只能支持 E1、E2、E3、E4 和 T1、T2、T3,而 STM-4 可以支持 E5 和 T4。

SDH 复用过程就是将多个 E 系列或 T 系列信号复用成单一的 STM-1 或 STM-N 信号的过程。对于 STM-1 信号,根据它的传输速率,可以得出表 5.4 所对应的关系。

表 5.4 STM-1 信号能够支持的 E 系列和 T 系列信号

信号类型	E1	E3	E4	T1	T2	T3
数量	63	3	1	84	21	3

从表 5.4 中可以看出,目前能够复用为 STM-1 信号的 E 系列和 T 系列信号只能是 E1、E3、E4 和 T1、T2、T3。E2 由于在实际应用中并不常见,因此 SDH 目前不支持 E2 信号的复用。

表 5.4 列出的数量是将单个信号复用为 STM-1 信号时支持的信号数量,即可以将 63 个 E1 信号复用为一个 STM-1 信号。但实际应用中,往往是将多种信号复用成单一 STM-1 信号,图 5.7 给出了多种信号复用为 STM-1 信号的过程。从图 5.7 中可以看出,当多种信号复用成单一 STM-1 信号时,每一种信号的数量并不是任意分配的。当 T1 信号参与复用过程时,它的数量必须是 4 的整数倍,而当 E1 信号参与复用过程时,它的数量必须是 3 的整数倍。

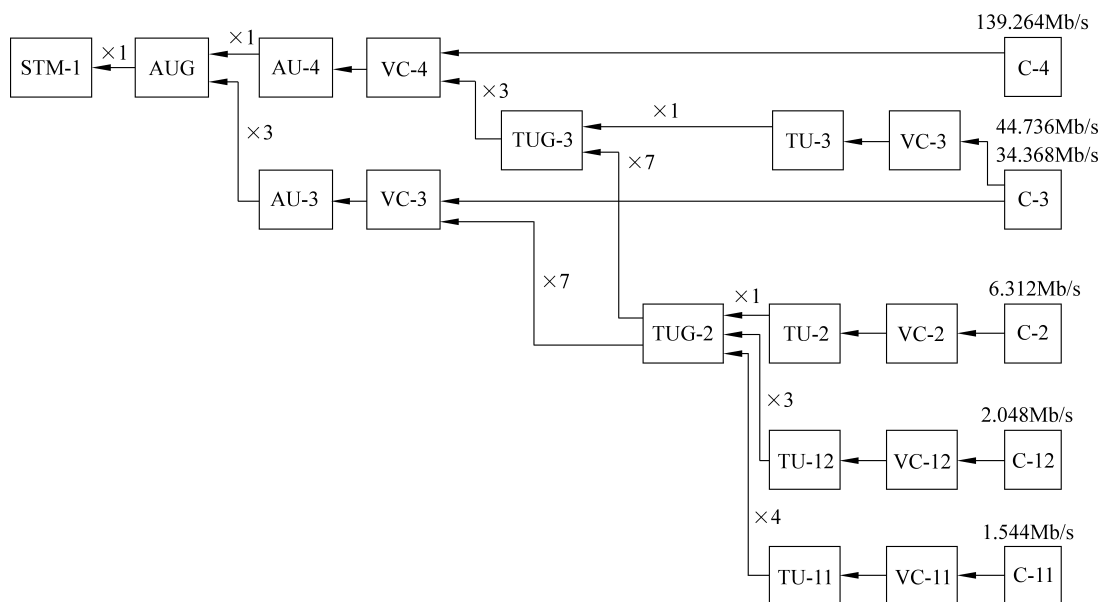


图 5.7 SDH 复用结构

在讨论滚装船装卸过程时也讲过,不可能在一个毫无分割的大空间内将人、汽车、货物及火车车厢堆放在一起,应该分别为人、货物、汽车、火车车厢分割出独立的子空间。一方面这种分割是动态的,另一方面这种分割是有基本单位的,如分隔出的旅客房间是 4 人间的。因此,旅客人数最好是 4 的倍数,否则就会造成浪费。对于汽车、货物、火车车厢也同样如此。

因此,当确定旅客、汽车、货物、火车车厢数量后,首先对滚装船进行空间分割(当然目前的滚装船是固定分割好的,但为了和 SDH 结构相一致,才要求它具有动态分割功能),然后再将旅客、汽车、货物、火车车厢装入对应的子空间。将多种信号复用为单一 STM-1 信号的过程也是相似的。

在 SDH 结构中,对应每一种信号的基本装载结构为容器(C),对应 T1、E1、T2、E3、T3、E4 的容器分别为 C11(T1)、C12(E1)、C2(T2)、C3(E3 和 T3)和 C4(E4)。容器应该有一定的伸缩性,因为不同设备的 T 系列或 E 系列信号存在一定的传输速率误差,它必须能够装载下误差范围内的对应信号。

虚容器(VC)由容器和通道开销(Path Over Head, POH)组成($VC_n = C_n + VC_n \text{ POH}$),通道开销的作用在于能够更方便地插入或取出信号。容器和 POH 对应图 5.5 中一定数量的字节数,字节数的多少决定了容器的传输速率和 POH 占用的带宽。

支路单元(TU)由低阶虚容器(VC-11、VC-12、VC-2、VC-3)和支路单元指针(TU- n PTR)组成($TU-n = VC-n + TU-n \text{ PTR}$),支路单元指针用于指出虚容器在图 5.5 所示矩阵中的位置。将虚容器变成支路单元的目的是为了方便地存取对应信号,支路单元组(TUG)由若干支路单元组成。

管理单元(AU)由高阶虚容器(VC- n , $n = 3, 4$)和管理单元指针(AU- n PTR)组成($AU-n = VC-n + AU-n \text{ PTR}$),管理单元组(AUG)由若干管理单元组成。

以滚装船为例,可以简单说明一下管理单元组、管理单元、支路单元组、支路单元、虚容器和容器之间的关系。一般情况下,将滚装船划分成若干层,每一层的面积相等,位置固定,如管理单元组。在每一层,为充分使用该层空间,将该层分隔成若干独立的子空间(管理单元),这些子空间用于装载对应的物品或旅客。不同类型的物品利用子空间的方式不同,如用于装载火车车厢的子空间,单个子空间只能装载一节火车车厢,类似 VC-3 或 VC-4 构成的 AU-3 或 AU-4。有的子空间可能需要进一步分割,如装载旅客的子空间可能需要进一步分成二等舱区、三等舱区(支路单元组),每一个舱区需要分割成多个房间(支路单元),每一个房间分成若干床位(虚容器),床的大小又要适应不同身高的旅客。床位和床的区别在于床位是指房间中用于固定存放床并使旅客能够方便上、下床的一个空间范围。滚装船如此组织空间的目的在于既有效地利用空间,又方便装卸货物(或上、下旅客)。同样,SDH 如此组织帧结构的目的也在于既要充分利用传输速率,又要方便信号的存取。

图 5.8 是基于 SDH 实现的 PSTN,它和图 5.2 所示的基于 E 系列数字传输系统实现的 PSTN 结构十分相似。PSTN 交换机间的 E3 链路首先被复用到 STM-N 帧中,传输给交叉连接交换设备,交叉连接交换设备通过转接表在各个 STM-N 帧间完成 VC-3(E3 信号的虚容器封装格式)交换。图 5.8 所示的转接项<1.1VC-3; 3.1VC-3>表明将端口 1 连接的 STM-N 帧中位置 1 的 VC-3 交换到端口 3 连接的 STM-N 帧中位置 1 的 VC-3。同样, PSTN 交换机 6 连接的复用/分离器将 STM-N 帧中位置 1 的 VC-3 和连接 PSTN 交换机 6 的 E3 链路关联在一起。从 SDH 帧结构和复用过程中可以看出,SDH 一是解决了统一传输 E 系列和 T 系列信号的问题,二是解决了直接在 STM-N 帧中分插和交换任何次群 E 系列和 T 系列信号的问题。

5.2.2 ATM

1. 引出 ATM 的原因

目前,许多国家通常由不同的公司经营 PSTN 和 SDH,这种情况下,选择 PSTN 交换机间用于传输语音信号的数字信号结构显得十分重要。如果数字信号速率太低,而跨 PSTN 交换机呼叫很密集,则大量呼叫不能连接成功,影响用户通信。反之,如果数字信号速率太高,而跨 PSTN 交换机呼叫没有密集到充分利用数字信号传输能力的程度,则导致 PSTN 交换机间传输通路的带宽浪费,经营成本增大。选择合适的 PSTN 交换机间传输通路带宽的困难之处在于跨 PSTN 交换机的呼叫密度不是恒定的,而是变化的。

为提高互联 PSTN 交换机的 E 系列链路的传输效率,应该由另一种复用设备而不是由

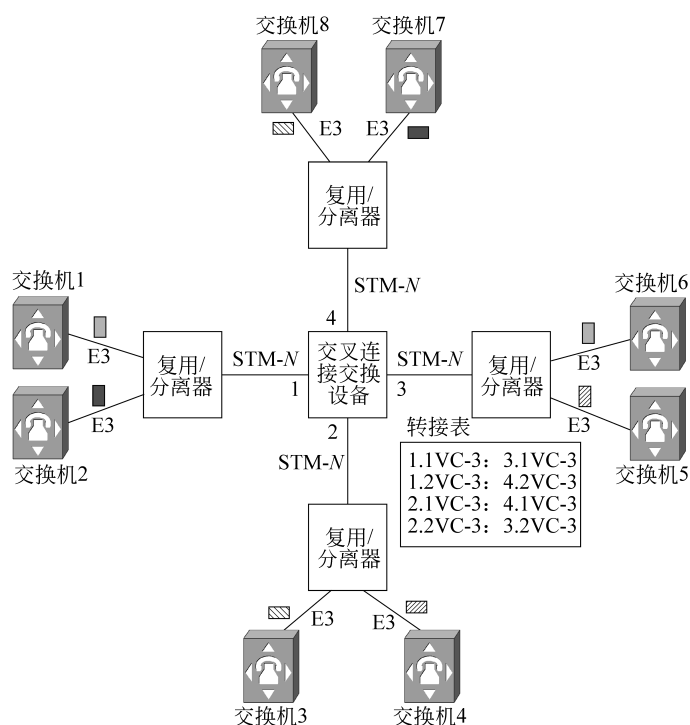


图 5.8 基于 SDH 实现的 PSTN 结构

PSTN 交换机直接占用 SDH 提供的 E3 链路传输带宽, PSTN 交换机和其他终端设备(如路由器)通过该复用设备共享 E3 链路传输带宽,当然,为保证用户的语音通信质量,语音信号优先占用 E3 链路传输带宽。图 5.9 所示是这种应用的结构图。

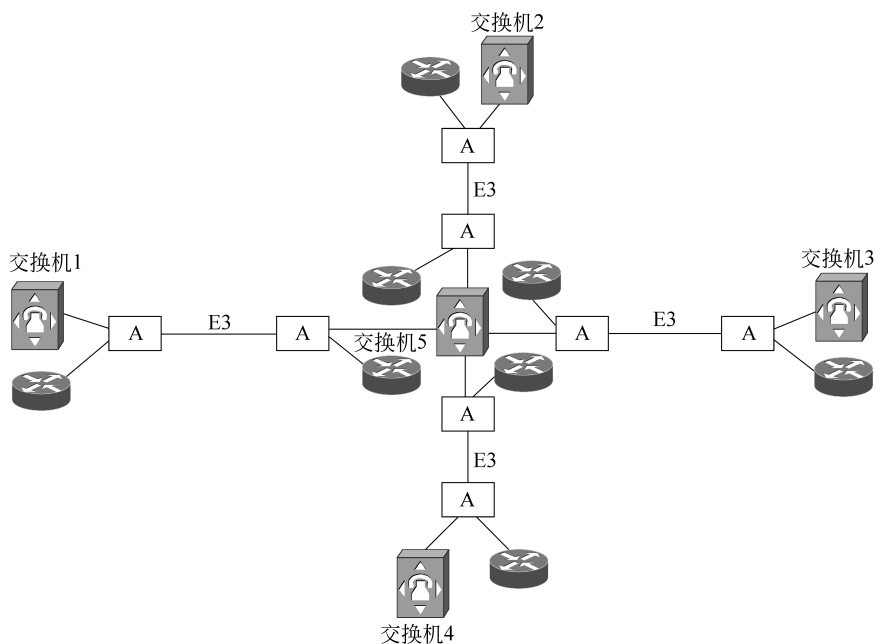


图 5.9 多种终端设备共享 E3 信号带宽的结构图