

第3章 现代电信网

通信是人类社会传递信息、交流文化、传播知识的一种非常有效的手段。随着通信技术的发展，电信网的类型越来越多，电信网能向公众提供的电信业务越来越丰富，其服务质量也越来越高。目前，电信网正朝着数字化、宽带化、智能化、综合化和个人化的方向发展。本章主要讲述现代电信网的发展史、现状及未来的发展趋势，现代电信网的概念、构成要素和各种主流的电信网络。

3.1 电信网

3.1.1 基础知识

1. 基本概念

自从有了人类活动，就有了通信。人们通过听觉、视觉、嗅觉、触觉等感官，感知现实世界而获取信息，进而传递信息。过去的通信由于受技术与需求的限制，仅限于话音通信。随着信息社会的到来，人们对信息的需求日益丰富，而现代通信的发展为此提供了条件。现代通信是集语音、图像、视频和数据于一体的综合信息，这些信息通过“电信系统”来进行传递。

下面是电信系统中涉及的几个基本概念。

(1) 电信：利用有线、无线的电磁系统或者光电系统，对语音、文字、数据、图像以及其他形式的信息的传送、发射或接收。

(2) 电信系统：以电或光信号作为传递和交换信息手段的通信方式所构成的通信系统。

(3) 电信网 (Telecommunication Network)：是为公众提供信息服务、完成信息传递和交换的通信网络；是由多个用户电信系统互连构成的通信体系，由终端设备、传输设备、交换设备等基本要素组成的综合系统。

(4) 电信业务：电信网提供的信息服务。

2. 电信系统构成模型

电信系统的构成可简单的概括为一个统一的模型，如图 3-1-1 所示。这一模型给出了点到点之间建立的通信系统的基本组成。包括：信源、变换器、信道、噪声源、反变换器和信宿六个部分。

信源：各种信息（如语音、文字、图像和数据等）的发出者；信源可以是发出信息的人或是发出信息的机器，例如计算机等。不同的信息源构成不同形式的电信系统。

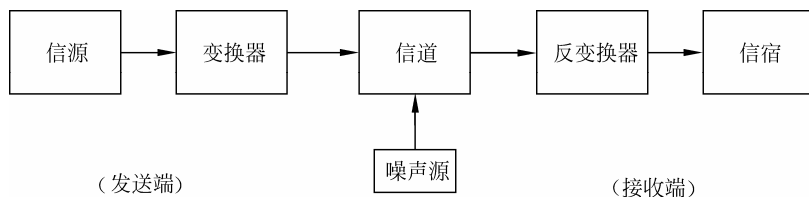


图 3-1-1 电信系统构成模型

变换器：把信源发出的信息变换成适合于在信道上传输的信号的设备。值得注意的是，信源发出信息的形式不同，要求变换器有不同的变换和处理方式，因而就构成了不同类型的电信系统。比如，语声形式的信源就是电话通信系统，变换器包括送话器、模数变换器、编码器、时分复用器等，其中模数变换器的作用是将送话器输出的模拟话音信号变换成适合在数字信道中传输的数字信号。如果信源的形式是文字，就有电报通信系统和传真通信系统等与之对应。

信道：信号传输介质的总称，即电磁信号可从源传输到宿的通道（媒介）。按照传输介质可分为有线信道和无线信道。有线信道是将电磁信号约束在某种传输线上进行传输。无线信道是使电磁信号在自由空间中传输。按照信道上传输信号的形式可分为模拟信道和数字信道。模拟信道上处理模拟信号，数字信道上处理数字信号。

反变换器：变换器的逆变换，即把经过信道传输的混杂着噪声和干扰的电磁信号（一般情况下这种信号是不能被信息接收者直接接收的）还原为信息接收者可以接收的信息。

信宿：信息传送的终点，即信息的接收者；它可以与信源相对应构成人-人通信或机-机通信，也可以与信源不一致，构成人-机通信或机-人通信。

噪声源：噪声和干扰是任何实际的通信系统中客观存在的。系统的噪声和干扰来自各个部分，在发送端、接收端和传输的过程中，周围环境、各种电子器件、以及从信道中所接收到的来自外部的光、热和电磁干扰等，都会对信号形成噪声和干扰的影响。为了分析问题的方便，在模型中把发送端、传输过程和接收端各部分的干扰噪声集中起来，都综合到信道中，用一个噪声源来表示。

以上所述的电信系统只能实现点到点用户间的单向通信，要实现多用户之间的通信，则需要将多个电信系统有机组成一个整体，使它们能协同工作，形成电信网。

3. 电信网的构成要素

电信网是为公众提供信息服务，完成信息传递和交换的通信网络。电信网所提供的信息服务也就是通常所说的电信业务。一个完整的电信网由硬件和软件两部分组成，每一次通信都需要软硬件设施的协调配合来完成。其中硬件部分的结构称为网络的拓扑结构，而软件部分决定着网络的体系结构。

（1）电信网的硬件

电信网硬件设施主要包括终端节点、交换节点、业务节点和传输系统，它们完成电信

网的基本功能：接入、交换和传输。

终端节点：也称为终端设备，是电信网中用户使用的设备，即电信网中的源点和终点。其完成的功能除了对应模型中的信源和信宿外，还包括一部分变换和反变换功能。其完成的主要功能有：①用户信息的处理，包括用户信息的发送和接收，将用户信息转换成适合传输系统传输的电磁信号以及相应的反变换。②信令信息的处理，主要包括产生和识别连接建立、业务管理等所需的控制信息。常见的终端设备有电话机、传真机、计算机、视频终端等。

交换节点：电信网核心设备，负责集中、转发终端节点产生的用户信息，但它自己并不产生和使用这些信息。其主要功能包括：①用户业务的集中和接入功能。②交换功能。③信令功能。④其他控制功能。常见的交换设备有电话交换机、分组交换机、路由器、转发器等。

业务节点：通常由连接到电信网络边缘的计算机系统、数据库系统组成。其主要功能包括：①实现独立于交换节点的业务执行和控制。②实现对交换节点呼叫建立的控制。③为用户提供智能化、个性化、有差异的服务。常见的业务节点有智能网中的业务控制节点（SCP）、智能外设、语音信箱系统以及 Internet 上的各种信息服务器等。

传输系统：它将用户终端设备与交换节点以及交换节点之间连接起来形成网络，为信息的传输提供通道。为提高物理线路的使用效率，传输系统通常都采用了多路复用技术，例如频分复用、时分复用、波分复用等；此外，交换节点必须和传输系统协调一致，包括保持帧同步和位同步、遵守相同的传输体制（如 PDH、SDH）等，以保证交换节点能正确接收和识别传输系统的数据流。

（2）电信网的软件

电信网软件设施主要包括信令、协议、控制、管理、计费等，它们完成电信网的控制、管理、运营和维护，实现电信网的智能化。

4. 电信网的拓扑结构

电信网是一个多用户互联的电信系统，按照互联的方式不同可分为直接互联网（完全互联网）和转接互联网（不完全互联网）两种。电信网的拓扑结构有多种形式，常用的有网型、星型、复合型、树型、线型、环型、总线型等七种形式，如图 3-1-2 所示。

（1）网状网：网内任意两个节点之间均有线路相连，如图 3-1-2（a）所示。如网内有 N 个节点，就需要 $N(N-1)/2$ 条传输链路。当节点数增加时，传输链路数会迅速增加，网络结构的冗余度较大、稳定性较好，但线路利用率不高，经济性较差。

（2）星型网：也称为辐射网，将一个节点作为辐射点，该点与其他节点均有线路相连，如图 3-1-2（b）所示。如网内有 N 个节点，则将有 $N-1$ 条传输线路。其传输链路少、线路利用率高，但稳定性较差。因为中心节点是全网可靠性的瓶颈，中心节点一旦出现故障，将会造成全网瘫痪。

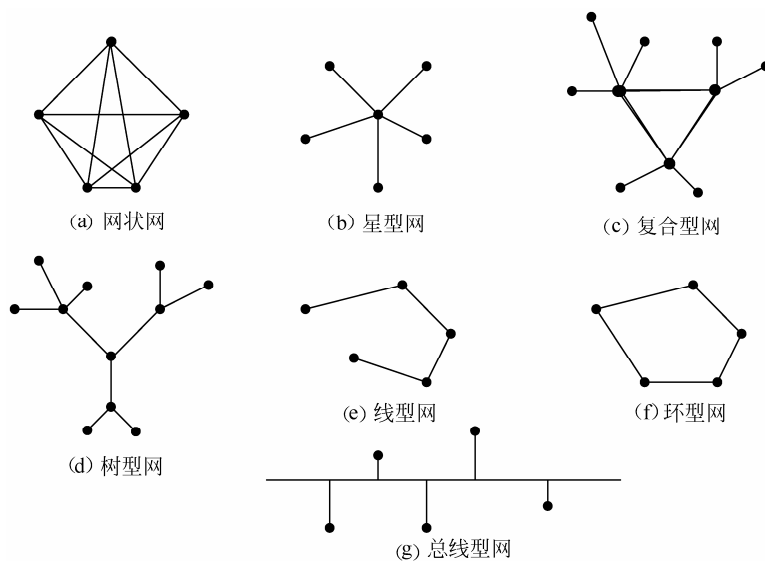


图 3-1-2 电信网常见拓扑结构

(3) 复合型网：由网状网和星型网复合而成，如图 3-1-2 (c) 所示。其综合了二者的优点，根据电信网业务量的需要，以星型网为基础，在业务量较大的转换交换中心区间采用网状网结构，可以使整个网络比较经济，且稳定性和可靠性较好。复合型网具有网状网和星状网的优点，是电信网中常用的网络拓扑结构；这种网络中的设计原则是以交换设备和传输链路的总费用和为最小。

(4) 树型网：可以看成是星型网拓扑结构的扩展，其节点按层次进行连接，信息交换主要在上、下节点之间进行，如图 3-1-2 (d) 所示。树型结构主要用于用户接入网或用户线路网，以及主从网同步方式中的时钟分配网中。

(5) 线型网：结构简单，常用于中间需要上、下电路的传输网中，如图 3-1-2 (e) 所示。

(6) 环型网：与线型网结构相似，但其首尾相接形成闭合的环路，如图 3-1-2 (f) 所示。这种拓扑结构的网络具有自愈能力，能实现网络自动保护，因此具有较高的稳定性。其主要应用于计算机通信网中，它要求各节点有较强的信息识别和处理能力。

(7) 总线型网：是将网内所有节点都连接在一个公共传输通道（总线）上，如图 3-1-2 (g) 所示。这种网络的拓扑结构所需要的传输链路少，增减节点方便，但稳定性较差，网络范围也受到一定的限制。其主要应用于计算机通信网中，它要求总线终端节点有较强的信息识别和处理能力。

5. 电信网的分类

可以按照不同的角度和不同的方式对电信网进行分类。

按照业务性质分,有电话网、电报网、传真通信网、数据通信网、图像通信网、有线电视网等。

按服务地域分,电话网有国际电话网、长途电话网和本地电话网,数据网有局域网(LAN)、城域网(MAN)和广域网(WAN)等。

按服务对象分,有公用电信网和专用电信网。

按传输介质分,有电缆电信网、光缆电信网、卫星电信网等。

按交换方式分,有电路交换网、报文交换网、分组交换网和宽带交换网等。

按拓扑结构分,有网状网、星型网、环型网、总线网等。

按信号形式分,有模拟电信网和数字电信网。

按信息传递方式分,有同步转移模式(STM)的综合业务数字网(ISDN)和异步转移模式(ATM)的宽带综合业务数字网(B-ISDN)。

按网络功能分,有业务网、传输网和支撑网,它们之间的关系如图 3-1-3 所示。

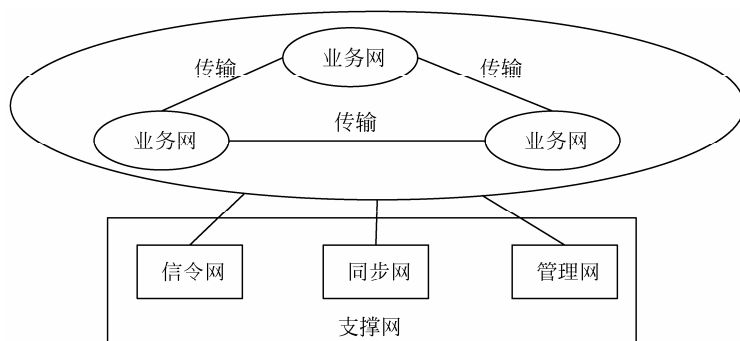


图 3-1-3 业务网、传输网和支撑网之间的关系

其中业务网负责向用户提供各种通信业务,如基本话音、数据、多媒体、租用线、VPN等,采用不同交换技术的交换节点设备通过传送网互联在一起就形成了不同类型的业务网。包括公用电话交换网、分组交换网、帧中继网、数字数据网、综合业务数字网、IP网、移动通信网、智能网等。传输网通过光纤、微波、卫星等各种传输方式为不同服务范围的业务之间传送信号;

传输网独立于具体的业务网,负责按需为交换节点/业务节点之间的互联分配电路,在这些节点之间提供信息的透明传输通道,它还包含相应的管理功能,例如电路调度、网络性能监视、故障切换等。目前主要的传送网有 SDH/SONET 和光传送网(OTN)两种类型。

支撑网负责提供业务网正常运行所必需的信令、同步、网络管理、业务管理、运营管理等功能,以提供用户满意的服务质量。支撑网包含三部分:

(1) 同步网:它处于数字通信网的最底层,负责实现网络节点设备之间和节点设备与传输设备之间信号的时钟同步、帧同步以及全网的网同步,保证地理位置分散的物理设备

之间数字信号的正确接收和发送。

（2）信令网：对于采用公共信道信令体制的通信网，存在一个逻辑上独立于业务网的信令网，它负责在网络节点之间传送业务相关或无关的控制信息流。

（3）管理网：主要目标是通过实时和近实时来监视业务网的运行情况，并相应地采取各种控制和管理手段，以达到在各种情况下充分利用网络资源，以保证通信的服务质量。

另外，从网络的物理位置分布来划分，通信网还可以分成用户驻地网、接入网和核心网三部分，其中用户驻地网是业务网在用户端的自然延伸，接入网也可以看成传送网在核心网之外的延伸，而核心网则包含业务、传送、支撑等网络功能要素。

6. 电信网的质量要求

一个通信系统能否快速、有效、可靠的传递信息，决定了它能否提供高质量的服务。为了提高服务质量并充分发挥电信网的作用，对电信网的质量一般有三个要求，即接通的任意性与快速性、信号传输的透明性与传输质量的一致性和网络的可靠性与经济合理性。对于不同的电信网，这三个要求的具体内容和含义将有所不同。

（1）接通的任意性与快速性

一个电信网的最基本要求是网内任一用户应能快速的接通网内任一其他用户，也就是连接的任意性。另外，网络还要求能够实现快速接通。即网络保证合法用户可以快速的接入网络以获得信息服务，并在规定的时延内传递信息的能力。

影响网络接通的任意性和快速性的主要因素有三个：一是电信网的拓扑结构，网络拓扑结构不合理造成通信的转接次数太多，导致阻塞率增大、时延变大；二是电信网的网络资源，可用的网络资源不足也导致阻塞率增大、时延变大，甚至通信无法接通；三是电信网的可靠性问题，网络设备可靠性下降，会造成传输链路中断、网路中某些设备发生物理性故障并丧失其应有的功能等。

（2）信号传输的透明性与传输质量的一致性

信号传输的透明性是指在规定的业务范围内的信息都可以在网内传输，它反映了网络保证用户信息具有可靠传输质量的能力；传输质量的一致性是指网内任何两个用户通信时，应具有相同或相仿的传输质量，而与用户之间的距离无关。

一般电信网的传输质量直接影响通信的效果，例如当系统中失真较大，就无法从收到的信号中提取所需的信息。因此需制定传输质量标准并进行合理分配，使网中各部分均满足传输质量指标的要求。

（3）网络的可靠性与经济合理性

可靠性是指整个通信网连续、不间断地稳定运行的能力，它通常由组成通信网的各系统、设备、部件等的可靠性来确定。网络可靠性设计不是追求绝对可靠，而是在经济性、合理性前提下满足业务服务质量要求即可。一般应根据实际需要，在可靠性和经济性之间取得平衡。

3.1.2 考试要点

- (1) 熟悉基本概念和电信系统构成模型。
- (2) 掌握电信网的构成要素。
- (3) 熟悉电信网常见的拓扑结构。
- (4) 了解电信网的分类。
- (5) 熟悉电信网的质量要求。

3.1.3 习题集精粹及答案

一、判断题

1. 以电或光信号作为传递和交换信息手段的通信方式所构成的通信系统称为电信系统。

【参考答案】√

【分析】参见本节 1。

2. 电信网的组成除了硬件外，为了保证网络能正常运行还应有相应的软件和协议（规定）。

【参考答案】√

【分析】参见本节 3。

3. 电信网硬件设施主要包括终端节点、交换节点和传输系统，它们完成电信网的基本功能：接入、交换和传输。

【参考答案】×

【分析】参见本节 3，还应包括业务节点。

4. 电信网按网络功能方式分，有业务网、传输网和管理网。

【参考答案】×

【分析】参见本节 5，管理网应改为支撑网。

5. 环型网是本地网结构中最简单的一种，网中所有端局个个相连，端局之间设立直达电路。

【参考答案】×

【分析】参见本节 4，端局之间不可能设立直达电路。

6. 复合型网具有网型网和星型网的优点，是通信网中常用的一种网络结构。

【参考答案】√

【分析】参见本节 4。

7. 星型网的特点是结构简单，实现容易。因为它可以采用自愈环对网络加以保护，所以其稳定性比较高。

【参考答案】×

【分析】参见本节 4，后面是环型网的特点。

8. 网型网通信网相对于星型投资成本要大，但安全性要高。

【参考答案】√

【分析】参见本节 4。

9. 电信网的目标是向网内任何用户之间提供通信的能力。

【参考答案】√

【分析】参见本节 6。

10. 传输质量的任意性是指网内任何两个用户通信时，应具有相同或相仿的传输质量，而与用户之间的距离无关。

【参考答案】×

【分析】参见本节 6，任意性改为一致性。

11. 信号传输的透明性是指在规定业务范围内的信息都可以在网内传输。

【参考答案】√

【分析】参见本节 6。

二、单项选择题

1. 电信网是为公众提供信息服务，完成信息传递和（ ）的通信网络。

- A. 同步 B. 管理 C. 交换 D. 信令

【参考答案】C。

【分析】参见本节 1。

2. （ ）是电信网的核心设备。

- A. 终端节点 B. 交换节点 C. 业务节点 D. 传输系统

【参考答案】B。

【分析】参见本节 3。

3. 电信网按网络功能方式分，有业务网、传输网和（ ）。

- A. 电话网 B. 同步网 C. 管理网 D. 支撑网

【参考答案】D。

【分析】参见本节 5。

4. （ ）也称为辐射网，它将一个节点作为辐射点，该点与其他节点均有线路相连。

- A. 星型网 B. 复合型网 C. 总线型网 D. 环型网

【参考答案】A。

【分析】参见本节 4。

5. （ ）可以看成是星型拓扑结构的扩展。

- A. 网型网 B. 星型网 C. 树型网 D. 环型网

【参考答案】C。

【分析】参见本节4。

6. 接通的（ ）是对电信网的最基本要求。

- A. 可靠性与经济合理性
- B. 透明性与任意性
- C. 可靠性与快速性
- D. 任意性与快速性

【参考答案】D

【分析】参见本节6。

7. 信号传输的（ ）是指在规定业务范围内的信息都可以在网内传输，对用户不加任何限制。

- A. 任意性
- B. 快速性
- C. 一致性
- D. 透明性

【参考答案】D。

【分析】参见本节6。

8. 支撑网包括（ ）。

- A. 同步网、信令网、传输网
- B. 同步网、信令网、交换网
- C. 同步网、信令网、管理网
- D. 传输网、交换网、传输网

【参考答案】C。

【分析】参见本节5。

9. 电信网按服务对象分有（ ）。

- A. 数字、数据网
- B. 传输、交换网
- C. 模拟、数字网
- D. 公用、专用网

【参考答案】D。

【分析】参见本节5。

10. 电信网的拓扑结构有多种形式，一般在相同的网络规模下，采用（ ）拓扑结构的网络具有较高的可靠性，但线路投入较大、经济型较差。

- A. 网状
- B. 星型
- C. 复合型
- D. 总线型

【参考答案】A。

【分析】参见“电信网拓扑结构”。

三、多项选择题

1. 以电或光信号作为（ ）信息手段的通信方式所构成的通信系统称为电信系统。

- A. 传递
- B. 同步
- C. 管理
- D. 交换

【参考答案】AD。

【分析】参见本节1。

2. 电信是指利用有线、无线的（ ），传送、发射或者接收语音、文字、数据、图像以及其他任何形式信息的活动。

- A. 微机系统
- B. 电磁系统
- C. 光电系统
- D. 交换系统

【参考答案】BC。

【分析】参见本节1。

3. 电信网硬件设施由（ ）构成。

- A. 终端节点 B. 交换节点 C. 业务节点 D. 传输系统

【参考答案】ABCD。

【分析】参见本节3。

4. 电信网按网络功能方式分，有业务网、（ ）。

- A. 电话网 B. 同步网 C. 传输网 D. 支撑网

【参考答案】CD。

【分析】参见本节5。

5. 支撑网包括（ ）。

- A. 信令网 B. 同步网 C. 管理网 D. 传输网

【参考答案】ABC。

【分析】参见本节5。

6. 业务网包括（ ）、IP电话网、数据通信网、窄带综合业务数字网和宽带综合业务数字网。

- A. 电话网 B. 电报网 C. 数据网 D. 传输网

【参考答案】ABC。

【分析】参见本节5。

7. 未来的通信网正向着（ ）的方向发展。

- A. 数字化 B. 综合化 C. 智能化 D. 个人化

【参考答案】ABCD。

【分析】参见本章开始部分。

8. 从网络的物理位置分布来划分，通信网还可以分成用户驻地网和（ ）共三部分。

- A. 接入网 B. 电话网 C. 核心网 D. 数据网

【参考答案】AC。

【分析】参见本节5。

四、简答题

1. 简述电信系统模型中各个组成部分的含义。

【参考答案】电信系统模型的基本组成包括：信源、变换器、信道、噪声源、反变换器和信宿六个部分。

信源：各种信息（如语音、文字、图像和数据等）的发出者。

变换器：把信源发出的信息变换成适合于在信道上传输的信号的设备。

信道：信号传输介质的总称，即电磁信号可从源传输到宿的通道（媒介）。

反变换器：变换器的逆变换，即把经过信道传输的混杂着噪声和干扰的电磁信号，还原为信息接收者可以接收的信息。

信宿：信息传送的终点，即信息的接收者。

噪声源：模型中把发送端、传输过程和接收端各部分的干扰噪声集中起来，都综合到信道中，用一个噪声源来表示。

2. 构成电信网的要素有哪些？它们各自完成什么功能？

【参考答案】一个完整的电信网主要由硬件和软件两部分组成。从硬件的构成来看通信网由终端节点、交换节点、业务节点和传输系统构成，它们完成通信网的基本功能：接入、交换和传输。软件设施则包括信令、协议、控制、管理、计费，它们主要完成通信网的控制、管理、运营和维护，实现通信网的智能化。

3. 电信网常用的拓扑结构有哪几种形式？请简述各种结构的特点。

【参考答案】有以下 7 种形式：网型网、星型网、复合型网、树型网、总线型网、线型网、环型网。

网状网：网内任意两个节点之间均有线路相连。当节点数增加时，传输链路数会迅速增加，网络结构的冗余度较大、稳定性较好，但线路利用率不高，经济性较差。

星型网：也称为辐射网，将一个节点作为辐射点，该点与其他节点均有线路相连。其传输链路少、线路利用率高，但稳定性较差。

复合型网：由网型网和星型网复合而成，综合了二者的优点。根据电信网业务量的需要，以星型网为基础，在业务量较大的转换交换中心区间采用网状网结构，可以使整个网络比较经济，且稳定性和可靠性较好。

树型网：可以看成是星型网拓扑结构的扩展，其节点按层次进行连接，信息交换主要在上、下节点之间进行。

线型网：结构简单，常用于中间需要上、下电路的传输网中。

环型网：与线型网结构相似，但其首尾相接形成闭合的环路。这种拓扑结构的网络具有自愈能力，能实现网络自动保护，因此具有较高的稳定性。

总线型网：是将网内所有节点都连接在一个公共传输通道（总线）上。这种网络的拓扑结构所需要的传输链路少，增减节点方便，但稳定性较差，网络范围也受到一定的限制。

4. 对电信网的质量一般有哪些要求？

【参考答案】3 个要求：接通的任意性与快速性；信号传输的透明性与传输质量的一致性；网络的可靠性与经济合理性。

5. 简要回答适合电信网的拓扑结构是什么？

【参考答案】复合型网由网型网和星型网复合而成，综合了二者的优点。根据电信网业务量的需要，以星型网为基础，在业务量较大的转换交换中心区间采用网状网结构，可以使整个网络比较经济，且稳定性和可靠性较好，是电信网中常用的网络拓扑结构。

6. 简要回答适合计算机通信网的拓扑结构是什么？

【参考答案】环型网与线型网结构相似，但其首尾相接形成闭合的环路。这种拓扑结构的网络具有自愈能力，能实现网络自动保护，因此具有较高的稳定性。总线型网是将网内所有节点都连接在一个公共传输通道（总线）上。这种网络的拓扑结构所需要的传输链路少，增减节点方便，但稳定性较差，网络范围也受到一定的限制。它们都主要应用于计算机通信网中。

3.2 电话网

3.2.1 基础知识

1. 电话网构成要素及特点

(1) 电话网的构成要素

电话的发明满足了人们进行信息交流的需要，电话网络将世界上现有的电话机相互连接，构成了当代最大的通信系统。从设备上讲，一个完整的电话网由用户终端设备、交换设备和传输链路设备 3 部分组成，如图 3-2-1 所示。

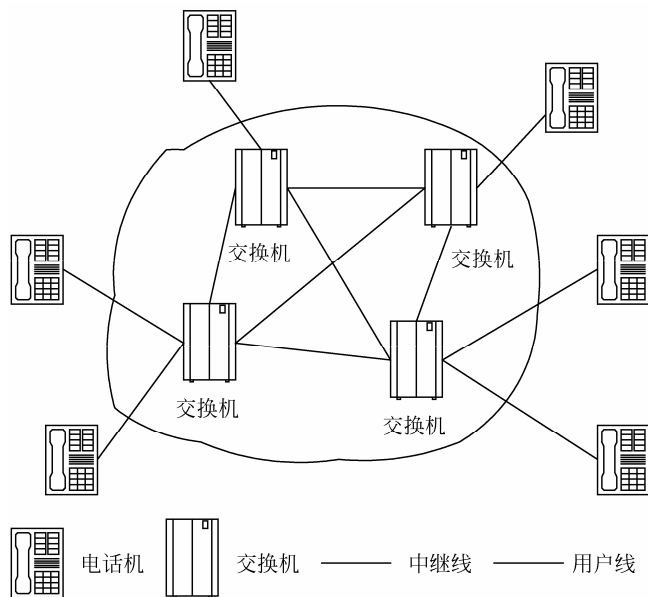


图 3-2-1 电话网的构成

电话网中的用户终端设备即为电话机，是用户使用的设备，主要完成将用户的声信号转换成电信号或者将电信号还原为声信号；同时，电话机还具有发送和接收电话呼叫的功能，用户通过电话机拨号来发起呼叫，通过振铃知道有电话呼入。

电话网中的交换设备即为电话交换机，主要负责用户信息的交换。电话交换机除了具有连接功能外，还具有控制和监视功能，比如它能够及时发现用户的摘挂机信号、还要完成号码的接收以及计费等功能。

传输链路设备负责在各交换点之间传递信息。在电话网中，传输链路包括用户线和中继线。用户线负责在电话机和交换机之间传递信息，而中继线则负责在交换机之间进行信息的传递。传输介质可以有线的也可以是无线的，传送的信息可以是模拟的也可以是数字的，传送的形式可以是电信号也可以是光信号。

(2) 电话网的特点

① 语音业务的特点

电话网中的业务主要是语音业务，语音业务具有如下特点：

- 经过 PCM 编码后，速率恒定且单一，固定为 64kb/s；
- 由于语音信息相关性较强，存在冗余，因此语音对丢失不敏感；
- 语音对实时性要求较高，不能忍受较大的时延；
- 语音具有连续性，即通话双方在较短时间内连续地表达自己的通信信息。

② 电话网的特点

电话网主要支持语音通信，因此语音业务的特点决定了电话网的技术特征。归纳起来，电话网具有如下特点：

- 同步时分复用

它是将多个用户信息在同一条物理传输介质上以时分的方式进行复用，来提高线路利用率。在复用时，每个用户在一帧中占用固定的一个时隙，即每用户占用固定的带宽资源，此与语音通信的恒定速率相匹配。

- 面向连接的电路交换方式

电路交换的基本过程包括呼叫建立、信息传输和连接释放三个阶段。在用户开始呼叫时，要为两用户之间建立起一条端到端的连接，并预留时隙资源，来保证信息传输过程中的时延满足规定的指标。

- 用户数据的透明传输

所谓透明，是指对用户数据不作任何处理；因为语音对丢失不敏感，因此网络中不用对其进行复杂的控制，可进行透明传输。

传统的电话网只提供语音业务，均采用电路交换技术。因此，电话网又叫做电路交换网，它是电路交换网的典型例子。

2. 电话网的服务质量

电话网的服务质量表明了用户对电话网提供的服务的满意程度，同时也反映了网络向用户提供服务的能力。为了判定电话业务的良好程度，电话网的服务质量可由下述三方面指标来衡量：

- 接续质量

接续质量是指用户通话被接续的速度和难易程度，表明了电话用户对电话呼叫在建立接续过程中是否容易接通和好用的满意程度。

- 传输质量

传输质量是指用户接收到的语音信号的清楚逼真程度，反映了信息传输的准确程度。

- 稳定质量

稳定质量是指通信网的可靠性，即当传输设备、交换设备发生故障和话务异常时可以维持正常业务的程度。

(1) 衡量“接续质量”的指标

通常用“接通率”、“接续损失率（呼损率）”和“接续时延”等指标来评定。对整个电信网络而言，与呼损具有统一含义的量称为“阻塞率”，因此有时也用阻塞率来衡量接续质量。

① 接续呼损

所谓呼损，是指在用户发起呼叫时，由于网络或中继的原因导致电话接续失败。接续呼损可用损失的呼叫占总发起呼叫数的比例来描述。

② 接续时延

接续时延是指在一次电话接续过程中，由交换设备进行接续和传递相关信令所引起的时间延迟，一般可用拨号前时延和拨号后时延两个参数来衡量。

- 拨号前时延：从主叫用户摘机至听到拨号音瞬间的时间间隔。

- 拨号后时延：用户拨号结束至网络送出回铃音或忙音之间的时间间隔。

(2) 衡量“传输质量”的指标

在电话网络中，信号的传输质量的要求是：

① 响度：是指收听到的语音音量的大小程度，反映通话的音量。

② 清晰度：是指收听到的语音的清晰、易懂程度，反映通话的易懂度。

③ 逼真度：是指收听到的语音的音色和特性的不失真程度。

除了上述三项由人来进行主观评定的指标外，对电话电路还规定了一些电气特性，如传输损耗、传输频率特性、串音、杂音等多项传输链路指标。

(3) 衡量“稳定质量”的指标

网络的稳定质量主要是指网络的可靠性。所谓可靠，是指在概率意义上使平均故障间隔时间达到要求。衡量可靠性的指标有：

① 失效率：系统在单位时间内发生故障的概率，一般用 λ 表示。

② 平均故障间隔时间（MTBF）：相邻两个故障发生的时间间隔的平均值。当失效率与时间 t 无关，这时有：

$$MTBF = 1/\lambda$$

③ 平均修复时间（MTTR）：修复一个故障的平均处理时间。

若 μ 表示修复率, 则 $MTTR = 1/\mu$

④系统可用度(或有效度) A :

通常假设系统在稳定运行时, μ 和 λ 接近于常数(与 t 无关), 则

$$\begin{aligned} A &= \frac{\text{有效工作时长}}{\text{有效工作时长} + \text{平均失效时长}} \\ &= \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \\ &= \mu / (\lambda + \mu) \end{aligned}$$

不可用度: $U = 1 - A = \lambda / (\lambda + \mu)$

这三个方面的质量测度原则可作为电信网组织及设计的依据。例如, 依据接续质量的要求, 在业务预测和话务量统计的基础上, 可对设备容量、网路结构、路由组织、中继方式及中继线数量进行计算和设计。依据传输质量要求选择终端设备及传输链路设备, 并以此对传输链路进行设计。依据全网稳定质量要求分别计算出网络各部分的稳定质量指标, 以对全网设备选型、网路组织方式及全网运行管理等进行设计。

3. 电话网的等级结构

从电话网络结构的演进历史和发展趋势来看, 总的目标和要求都是为了使网络结构清晰简化、网络资源均衡合理、网络运行效率高效、网络管理工作有效。目前, 电话网基本结构分为“等级网”和“无级网”两种形式。其中, 网络的等级结构是指对网络中的各交换中心的一种等级安排。

• 等级网

每个交换中心被赋予一定的等级, 除了最高等级的交换中心, 每个交换中心必须接到等级比它高的交换中心。最高等级交换局间两两直接相连构成网状网, 低等级的交换局与管辖它的高等级交换局相连形成星型网, 也称为多级汇接辐射网。等级结构电话网是复合型网, 属于传统网络组织原则, 全世界范围内很多国家的电话网都采用等级结构。

• 无级网

每个交换中心处于相同的等级, 完全平等, 各交换中心采用网状网或不完全网状网相连。无级网的优越性在于灵活性和自适应性, 可大大提高接通率, 同时网络结构简单, 设计和管理简化, 节省费用, 降低投资, 但它对网络的发达程度和设备之间的配合要求特别高, 适用于发达国家长途交换网络。

我国电话网络结构目前仍采用等级网, 无级网将是我国电话网络结构的发展趋势。我国幅员辽阔, 电话网规模庞大, 各地话务负荷不均匀, 如果采用无级网则需要充分的时间和投资进行网络改造和技术更新, 短期内想实现无级网, 存在很大的困难。

(1) 我国等级制电话网结构

为了在全国范围内任何两点之间都能进行通信联系, 需要将各区域的通信流量逐级汇集起来, 以提高通信电路的利用率。一般在长途电信网中, 根据地理条件、行政区域、通信流量的分布情况等设立各级汇接中心, 每一汇接中心负责汇接一定区域的通信流量, 然

后逐级形成辐射的星型网或网型网。

我国电话网的网络等级结构在初级发展阶段分为五级，由一、二、三、四级长途交换中心和第五级本地交换中心组成，亦可分为国际局、长途电话网和本地网。本地网又称为市话网，设置有两个等级的交换中心，分别为汇接局和端局，以 T_m 和 C_5 表示。本地网也可以设置端局一个等级的交换中心。用户连接在本地的某一台交换机上，这个交换机就叫做端局。汇接局的作用是疏通本地话务，即将不同端局来的呼叫集中后送到长途网。长途网可设置一、二、三、四级长途交换中心，分别以 C_1 、 C_2 、 C_3 和 C_4 表示。国际局是对外的出入口，国际局通过国际电路与其他国家的国际局连通。

五级等级结构的电话网在网络发展的初级阶段是可行的，然而在通信高速发展的今天，新技术新业务层出不穷，以上多级网络结构存在的问题日益明显。在服务质量方面主要表现在由于转接段数多，造成时延长、传输损耗大、接通效率低、可靠性差。此外网络结构划分越小，交换等技术量就越多，网管工作过于复杂，同时也不利于新业务网的开放，很难适应数字同步网和 No.7 信令网的建设。

- 考虑到以上原因，我国的电话网已由五级网向三级网过渡。其演变推动力有以下两个：
- ① 随着 C_1 、 C_2 间话务量的增加， C_1 、 C_2 间直达电路增多，从而使 C_1 局的转接作用减弱，当所有省会城市之间均有直达电路相连时， C_1 的转接作用完全消失，因此， C_1 、 C_2 局可以合并为一级。
 - ② 全国范围的地区扩大本地网已经形成，即以 C_3 为中心形成扩大本地网，因此 C_4 的长途作用也已消失。

三级网网络结构如图 3-2-2 所示。三级网也包括长途网和本地网两部分，其中长途网由一级长途交换中心 DC_1 、二级长途交换中心 DC_2 组成，本地网与五级网类似，由端局 DL 和汇接局 T_m 组成。

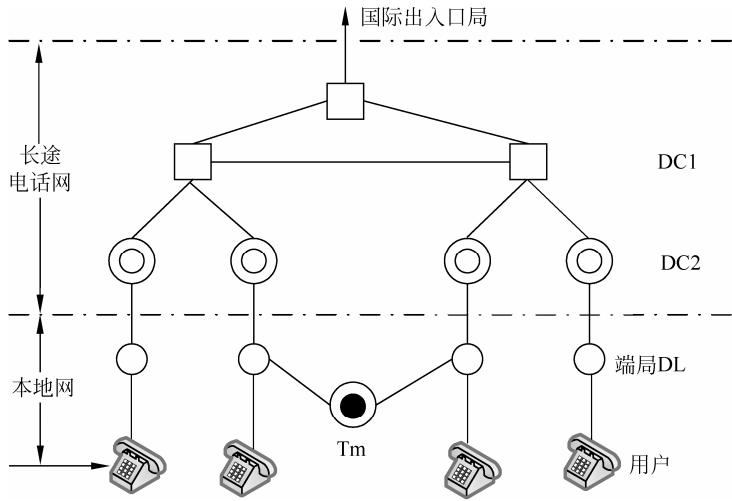


图 3-2-2 我国等级制电话网结构

(2) 国内长途电话网

长途电话网由各城市的长途交换中心、长市中继线和局间长途电路组成,用来疏通各个不同本地网之间的长途话务。长途电话网中的节点是各长途交换局,各长途交换局之间的电路即为长途电路。

① 长途网等级结构

二级长途网的结构如图 3-2-3 所示。二级长途网由 DC1、DC2 两级长途交换中心组成,为复合型网络。

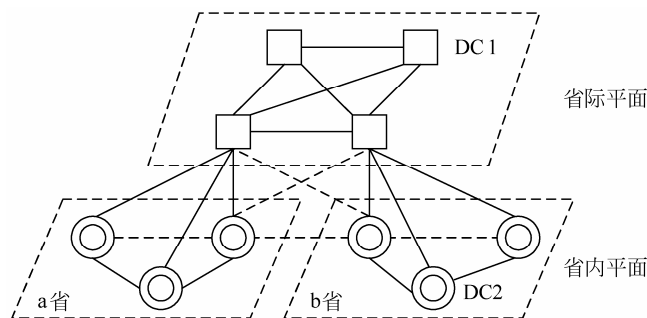


图 3-2-3 二级长途电话网网络结构

DC1 为省级交换中心,设在各省会城市,由原 C1、C2 交换中心演变而来,主要职能是疏通所在省的省际长途来话、去话业务,以及所在本地网的长途终端业务。DC2 为地区中心,设在各地区城市,由原 C3、C4 交换中心演变而来,主要职能是汇接所在本地网的长途终端业务。

二级长途网中形成两个平面:DC1 之间以网状网相连,形成高平面,也称为省际平面;DC1 与本省内各地市的 DC2 局以星状网相连,本省内各地市 DC2 局之间以网状网或不完全网状网相连,形成低平面,也称为省内平面。

根据话务量的流向,DC2 也可与非从属的 DC1 之间建立直达电路群。另外,DC1 可同时具有 DC1 和 DC2 的交换功能。

② 长途交换中心设置原则

长途交换中心用来疏通长途话务,一般每个本地网都有一个长途交换中心。在设置长途交换中心时应遵循以下原则:

- 省会(自治区、直辖市)本地网至少要设置一个省级长途中心,采用可扩容的大容量长途交换系统。
- 地(市)本地网可单独设置一个长途交换中心,也可与省(自治区)内地理位置相邻的本地网共同设置一个长途交换中心,使用大容量长途交换系统。
- 随着长途业务量的增加,允许在同一本地网设置多个长途交换中心。
- 直辖市本地网内设一个或多个长途交换中心时,一般均设为 DC1(含 DC2 的功能);

省（自治区）本地网内设一个或多个长途交换中心时，一般设两个 DC1 和若干个 DC2；地（市）本地网内设长途交换中心时，均设为 DC2。

（3）本地电话网

本地电话网简称为本地网，是指在同一编号区范围内，由若干个端局或若干个端局和汇接局以及局间中继线、用户线和话机终端等组成的电话网。其用来疏通本长途编号区范围内任何两个用户间的电话呼叫和长途业务。

① 本地电话网的交换等级划分

本地网可以仅设置端局 DL，但一般是由汇接局 Tm 和端局 DL 构成的两级结构。汇接局为高一级，端局为低一级。

端局是本地网中的第二级，通过用户线与用户相连，它的职能是疏通本局用户的去话和来话业务。根据服务范围的不同，可以有市话端局、县城端局、卫星城镇端局和农话端局等，分别连接市话用户、县城用户、卫星城镇用户和农村用户。

汇接局是本地网的第一级，它与本汇接区内的端局相连，同时与其他汇接局相连，它的职能是疏通本汇接区内用户的去话和来话业务，还可疏通本汇接区内的长途话务。有的汇接局还兼有端局职能，称为混合汇接局（Tm / DL）。汇接局可以有市话汇接局、市郊汇接局、郊区汇接局和农话汇接局等几种类型。

② 本地网等级结构

依据本地网规模大小和端局的数量，本地网结构可分为两种：网状网结构和二级网结构。

• 网状网结构

网状网结构中仅设置端局，各端局之间个个相连组成网状网。网状网结构主要适用于交换局数量较少，各局交换机容量大的本地电话网。现在的本地网中已很少用这种组网方式。

• 二级网结构

本地网中设置端局和汇接局两个等级的交换中心。其中，汇接局两两相连组成网状网，汇接局和其所汇接的端局之间以星型网相连。在业务量较大且经济合理的情况下，任一汇接局与非本汇接区内的端局之间或端局与端局之间也可设置直达电路群。

（4）国际电话网

国际电话网由国际交换中心和局间长途电路组成，用来疏通各个不同国家之间的国际长途话务。国际电话网中的节点称为国际电话局，简称国际局。用户间的国际长途电话通过国际局来完成，每一个国家都设有国际局。各国际局之间的电路即为国际电路。

国际网的网络结构如图 3-2-4 所示，国际交换中心分为 CT1、CT2 和 CT3 三级。各 CT1 局之间均有直达电路，形成网状网结构，CT1 至 CT2，CT2 至 CT3 为辐射式的星状网结构，由此构成了国际电话网的复合型基干网络结构。除此之外，在经济合理的条件下，在各 CT 局之间还可根据业务量的需要设置直达电路群。

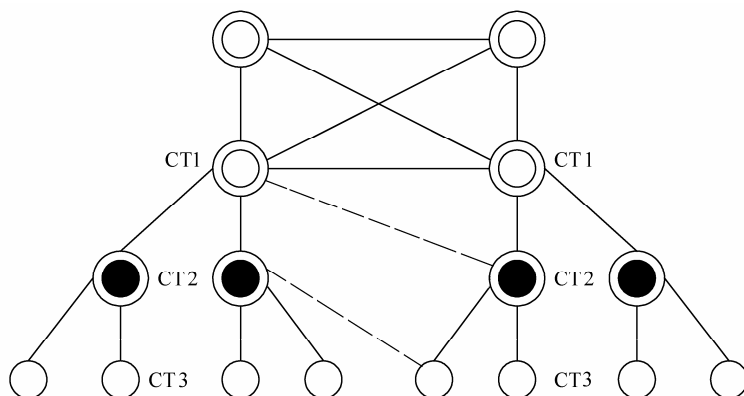


图 3-2-4 国际电话网结构

CT1 和 CT2 只连接国际电路，CT1 局在较大的地理区域汇集话务，数量很少。在每个 CT1 区域内一些较大的国家可设置 CT2 局。CT3 局连接国际和国内电路，各国的国内长途网通过 CT3 进入国际电话网（每个国家均可有一个或多个 CT3 局），因此 CT3 常称为国际接口局。

我国在北京和上海设置了两个国际局，同时根据业务需要在广州设立了国际边境局，用于疏通与我国港澳等地区间的话务量。

4. 电话网编号方案

所谓编号计划，是指在本地网、国内长途网、国际长途网，以及一些特种业务、新业务等中的各种呼叫所规定的号码编排和规程。自动电话网的编号计划是使自动电话网正常运行的一个重要规程，交换设备应能适应各项接续的编号要求。电话网的编号计划是由 ITU-T E.164 建议规定的。

电话网中规定每个用户都有一个编号，用来在电信网中选择建立接续路由和作为呼叫的标志。编号规划的目的在于分配给网内每个用户一个唯一的号码，并根据网络的规模和网络的现状及发展安排和使用号码资源。

（1）本地网电话用户的编号

① 本地网内电话编号的原则

- 在同一本地网内，用户尽可能采用等位编号；对于用户小交换机的分机，在内部呼叫和对外呼叫时，可使用不等位长的号码；
- 对 6 位及以下号码的本地网，在特殊情况下可暂时采用不等位编号，但号长只能差一位；
- 对 7 位或 8 位号码 ($PQR(S)ABCD$) 的本地网，其 $PQR(S)$ 这 3 个或 4 个号码应尽量避免相同（如 $777ABCD$ ），以减少错号；
- 要珍惜号码资源，编号合理安排，节约使用。

② 本地网的编号方案

- 电话号码 P 位（首位）的分配：
 - “0” 为国内长途电话业务字冠；
 - “00” 为国际长途电话业务字冠；
 - “1” 号码作为全国统一使用的号码，按位长不同分为两类：常用作各种业务的接入码的短号码；用作用户号码和业务用户号码，例如移动电话号码、宽带用户号码和信息服务号码的长号码；
 - “2” 至 “8” 的号码主要用作固定本地电话网的用户号码，部分号码用作全国和省内智能业务的接入码；
 - “9” 的号码用作社会公众服务号码，位长为 5 位到 6 位；95XXX (X) 是在全国范围统一使用的号码；96XXX (X) 是在省（自治区、直辖市）区域内统一使用的号码。

- 本地用户号码：由本地端局局号和用户号码两部分组成，结构为：

$$PQR(S)(\text{局号}) + ABCD(\text{局内用户号})$$

其中，“ P ” $\neq$ “0”、“1”、“9”。

- 本地移动电话编号方案：

$$1M_1M_2(\text{移动网接入码}) + H_0H_1H_2H_3(\text{业务区号}) + ABCD(\text{局内用户号})$$

- 如果固定电话用户呼叫固定电话用户，拨打 $PQR(S) ABCD$ ；
- 如果固定电话用户呼叫移动用户，拨打 $1M_1M_2H_0H_1H_2H_3ABCD$ ；
- 如果移动用户呼叫固定用户，则根据运营商要求拨打。
- 本地网号码的升位：根据预测结果，做好发展规划，按规划阶段安排编号，待到一定时期按照预定计划升位。常用的加号升位方法有三种：
 - 在原局号之前加个 X 号码，如 ABC 局变为 $XABC$ 局；
 - X 插在原局号的中间，如 ABC 局变为 $AXBC$ 局或 $ABXC$ 局；
 - 在原局号末尾加 X ，如 ABC 局变为 $ABCX$ 局。

(2) 国内长途电话网的编号

① 国内长途电话网编号原则

- 编号方案适应性要强；
- 编号方案应尽可能缩短号长；
- 长途编号应有规律性；
- 全国长途自动电话网只应有一个编号计划；
- 国内长途电话编号应符合 ITU 的建议，使之能进入国际电话网。

② 国内长途编号方案

我国国内长途电话号码由长途字冠、长途区号和本地网内号码 3 部分组成，具体形式如下：

$0+XY(Z)+PQR(S)ABCD$ (本地电话号码)

其中:

“0”: 国内长途字冠;

“ $XY(Z)$ ”: 国内长途区号, 我国采用不等位制编号, 区号位长分别为 2 位或 3 位, 具体分配如下:

- 编号为 “10”, 北京;
- 编号为 “2Y”, Y 为 0 至 9, 均为我国特大城市本地长途区号;
- 编号为 “XYZ”, X 为 3 至 9, 用于其他城市长途区号;
- 拨打国内长途电话规则:

若固定电话用户或移动电话用户拨打固定电话网用户, 拨打方案为:

$0XY(Z)PQR(S)ABCD$;

若固定电话用户呼叫异地移动网用户, 拨打方案为:

$01M_1M_2H_0H_1H_2H_3ABCD$;

若移动电话用户呼叫异地移动网用户, 拨打方案为:

$1M_1M_2H_0H_1H_2H_3ABCD$;

(3) 国际长途电话的编号

国际长途呼叫是指发生在不同国家之间的电话通信, 需要两个或更多的国家通信网配合完成。

ITU-T 建议的国际电话编号方案规定, 国际长途全自动号码由国际长途字冠、国家号码和国内号码 3 部分组成, 格式如下:

00 (国际长途字冠) + $N_1(N_2N_3)$ (国家号码) + $XY(Z)PQR(S)ABCD$

- 国际长途字冠是呼叫国际电话的标志, 其由各国自行规定, 如我国规定为 00。
- 国家号码由 1-3 位号组成, 第一位数是国际编号区号码, 如我国规定为 86。
- $XY(Z)PQR(S)ABCD$ 为国内长途电话号码。

信息产业部于 2003 年颁布了《电信网号码资源管理办法》, 其中要求 PSTN 的国际长途号码最大位长为 15 位 (不含长途字冠)。目前我国已使用的国际长途号码最大位长为 13 位 ($86XYZPQRSABCD$)。

(4) 特种服务电话的编号

特种服务编号是公众特殊服务项目代码, 其编号目前分为:

- 紧急救助业务号码: 使用 “1” 字头的 3 位短号码, 目前使用的有 110、119、120 和 122 共 4 个。
- 运营商客户服务号码: 使用 “1” 字头的 5 位短号码, 例如, 中国电信使用 10000, 中国联通使用 10010, 中国移动使用 10086 等。
- 社会公众服务号码: 一般使用 “9” 字头的 5 位短号码, 如 95XXX 为全国统一使用号码, 96XXX 为省 (直辖市、自治区) 区域内统一使用号码。

3.2.2 考试要点

- (1) 掌握电话网的构成要素。
- (2) 理解语音业务和电话网的特点。
- (3) 熟悉电话网的服务质量指标。
- (4) 掌握我国等级制电话网结构。
- (5) 理解我国电话网编号目的和原则。

3.2.3 习题集精粹及答案

一、判断题

1. 电话网中的传输链路设备包括用户线和中继线。

【参考答案】√

【分析】参见本节 1。

2. 语音业务具有的特点是对实时性要求较高，对丢失敏感。

【参考答案】×

【分析】由于语音信息相关性较强，存在冗余，因此语音对丢失不敏感。

3. 电话网中的语音对时延敏感，因此不能进行透明传输。

【参考答案】×

【分析】语音对丢失不敏感，网络不用对其进行复杂的控制，可进行透明传输。

4. 在同步时分复用时，电话网中每个用户在一帧中随机占用一个时隙，保证每用户固定的带宽资源。

【参考答案】×

【分析】同步时分复用时，每个用户在一帧中占用固定的一个时隙。

5. 电话网质量有接续质量和稳定质量两项要求。

【参考答案】×

【分析】电话网质量有接续质量、稳定质量和传输质量三项要求。

6. 电话网络的稳定质量衡量指标主要是响度、清晰度和逼真度。

【参考答案】×

【分析】电话网络的稳定质量主要是指网络的可靠性。

7. 本地电话网简称本地网，指在同一行政区域内，由若干个端局，或者由若干个端局和汇接局及局间中继线、用户线和话机终端等组成的电话网。

【参考答案】×

【分析】同一行政区域内应改为同一编号区。

8. 编号规划的目的也在于分配给每个用户一个号码，并根据网络的规模及现状及发展安排、使用号码资源。

【参考答案】×

【分析】“一个”应改为“一个唯一的”。

9. 当本地网中交换局数量较少时,可由端局和汇接局构成两级结构的等级,端局为低一级,汇接局为高一级。

【参考答案】×

【分析】“较少”应改为“较多”。

二、单项选择题

1. 电话网中的传输链路设备包括用户线和()。

- A. 接入线 B. 反馈线 C. 中继线 D. 信令线

【参考答案】C。

【分析】参见本节1。

2. 为了提高线路利用率,电话网中的语音传输常采用()方式。

- A. 异步时分复用 B. 同步时分复用
C. 面向连接 D. 无连接

【参考答案】B。

【分析】参见本节1。

3. 电话网的语音呼叫采用()的电路交换方式。

- A. 无连接 B. 虚连接 C. 面向连接 D. 数据报

【参考答案】C。

【分析】电话网的特点之一是采用了面向连接的电路交换方式。

4. 我国长途电话网目前采用的等级制电话网为()。

- A. 二级 B. 三级 C. 四级 D. 五级

【参考答案】A。

【分析】参见本节3。

5. 现阶段我国本地网的结构为()结构。

- A. 二级 B. 三级 C. 四级 D. 五级

【参考答案】A。

【分析】参见本节3。

6. 在同一个长途汇接区内,可设置()与本汇接区级别相等的长途交换中心。

- A. 一个或多个 B. 两个或多个 C. 三个或多个 D. 四个或多个

【参考答案】A。

【分析】参见本节3。

7. 汇接局一般设置在本地网的(),并且相互之间采用网状网结构。

- A. 特大城市 B. 大城市 C. 中心城市 D. 地级市

【参考答案】C。

【分析】参见本节 3。

8. PSTN 电话网向用户提供的话音业务速率是（ ）kb/s。

- A. 16 B. 32 C. 64 D. 128

【参考答案】C。

【分析】参见“电话业务的特点”。

9. 目前我国长途电话网主要采用的是（ ）网络结构。

- A. 无级网 B. 二级等级网 C. 三级等级网 D. 四级等级网

【参考答案】B。

【分析】参见本节 3。

10. 我国国内长途区号采用不等位制编号，区号位长分别为（ ）。

- A. 1 位和 2 位 B. 2 位和 3 位 C. 2 位和 4 位 D. 3 位和 4 位

【参考答案】B。

【分析】参见“国内长途电话网的编号”。

11. 电话网可向用户提供的主要业务是（ ）的语音业务。

- A. 恒定速率、可靠性要求高 B. 可变速度、实时性强
C. 恒定速率、实时性强 D. 可变速率、可靠性要求高

【参考答案】C。

【分析】参见“电话业务的特点”。

12. 在我国本地网编号方案中，本地用户号码 $PQR(S)ABCD$ 中的 P 不能为（ ）。

- A. 0 或 1 B. 0 或 9 C. 0 或 1 或 9 D. 0 或 1 或 5

【参考答案】C。

【分析】参见“电话网的编号”。

三、多项选择题

1. 从设备上讲，一个完整的电话网由（ ）和传输链路三部分组成。

- A. 用户终端 B. 交换设备 C. 中继设备 D. 用户网关

【参考答案】AB。

2. 电话网中的业务主要是语音业务，语音业务具有（ ）特点。

- A. 速率恒定且单一 B. 速率可变
C. 实时性要求较高 D. 实时性要求不高

【参考答案】AC。

3. 决定电话业务质量的主要因素有（ ）。

- A. 接续质量 B. 可靠质量 C. 稳定质量 D. 传输质量

【参考答案】ACD。

【分析】电话网质量有接续质量、稳定质量和传输质量三项要求。

4. 电话网中衡量传输质量的指标有 ()。

- A. 响度 B. 保真度 C. 清晰度 D. 逼真度

【参考答案】ACD。

【分析】参见本节2。

5. 电话网的基本结构分为 () 两种形式。

- A. 等级网 B. 本地网 C. 无级网 D. 长途网

【参考答案】BCD。

【分析】参见本节3。

四、简答题

1. 电话网的构成要素有哪些？各自完成什么功能？

【参考答案】一个完整的电话网是由用户终端设备、交换设备和传输链路3部分组成。用户终端设备主要完成将用户的语音信号转换成电信号或将电信号还原成语音信号来发起呼叫，同时，用户终端设备还具有发送和接收电话呼叫的能力。交换设备主要负责用户信息的交换，具有连接、控制和监视的功能。传输链路设备包括用户线和中继线。用户线负责在电话机和交换机之间传递信息，而中继线负责在交换机之间进行信息的传递。

2. 简单阐述电话网具有的特点？

【参考答案】电话网具有三个特点：

- ①采用同步时分复用提高线路利用率。
- ②面向连接的电路交换方式。
- ③用户数据的透明传输。

3. 我国电话网的等级结构是怎样的？各级的职能是什么？

【参考答案】我国电话网目前采用的是等级制电话网，分为长途电话网和本地电话网。长途电话网由DC1、DC2两级长途交换中心组成，为复合型网络。DC1为省级交换中心，设在各省会城市，主要职能是疏通所在省的省际长途来话、去话业务，以及所在本地网的长途终端业务。DC2为地区中心，设在各地区城市，主要职能是汇接所在本地网的长途终端业务。本地电话网可以仅设置端局(DL)，但一般是由汇接局(Tm)和端局(DL)构成的两级结构。汇接局为高一级，端局为低一级。汇接局与本汇接区内的端局相连，同时与其他汇接局相连，它的职能是疏通本汇接区内用户的去话和来话业务，还可疏通本汇接区内的长途话务。端局通过用户线与用户相连，它的职能是疏通本局用户的去话和来话业务。

4. 国内长途电话网编号原则是什么？

【参考答案】① 编号方案适应性要强。

② 编号方案应尽可能缩短号长。

③ 长途编号应有规律性。

④ 全国长途自动电话网只应有一个编号计划。

⑤ 国内长途电话编号应符合 ITU 的建议，使之能进入国际电话网。

5. 什么是本地网？本地网有几种网络组织方式，各适用于什么情况？

【参考答案】本地电话网（简称本地网）是指在同一个长途编号区范围内，由若干个端局或者由若干个端局和汇接局及局间中继、长市中继、用户线和话机终端所组成的电话网。

依据本地网规模的大小和端局的数量，本地网机构分为：①网状网结构：仅设置端局，各端局之间两两相连构成网状网。②二级网结构：本地网中设置端局和汇接局两个等级的交换中心。其中，汇接局两两相连组成网状网，汇接局和其所汇接的端局之间以星型网相连。在业务量较大且经济合理的情况下，任一汇接局与非本汇接区内的端局之间或端局与端局之间也可设置直达电路群。

3.3 数据通信网

3.3.1 基础知识

1. 数据通信网概述

（1）数据通信的概念

数据是指具有某种含义的数字信号的组合，例如字母、数字和符号，可以用离散的数字信号逐一准确地表达出来，并能够由计算机或数字终端设备进行处理。

数据通信是指以传输和交换数据为主要业务的一种通信方式，是计算机与通信相结合的产物。具体而言，数据通信是指计算机和其他数字设备之间，通过通信节点、有线或无线链路，按照一定协议，进行数字信息交换的过程。

与传统的电话通信相比，数据通信有以下特点：

- 数据通信是“机-机”以及“人-机”之间的通信，计算机直接参与通信，计算机之间的通信过程需要按照事先约定好的规程或通信协议来进行。
- 数据传输的可靠性要求高，通常要求误码率不大于 $10^{-7} \sim 10^{-9}$ ，需要采取措施对差错进行纠正或控制。
- 数据通信对传输速率要求较高，需要具备同时处理大量数据的能力。
- 数据通信的通信量呈突发性，即数据通信速率的平均值和高峰值差异比较大。
- 数据通信每次呼叫平均持续时间短，因此要求接续和传输响应时间快。

（2）数据通信系统的组成

数据通信系统是通过数据电路将分布在异地数据终端设备与计算机系统连接起来，实现数据传输、交换、存储和处理的系统。典型的数据通信系统由终端、数据电路和计算机系统三部分组成，如图 3-3-1 所示。

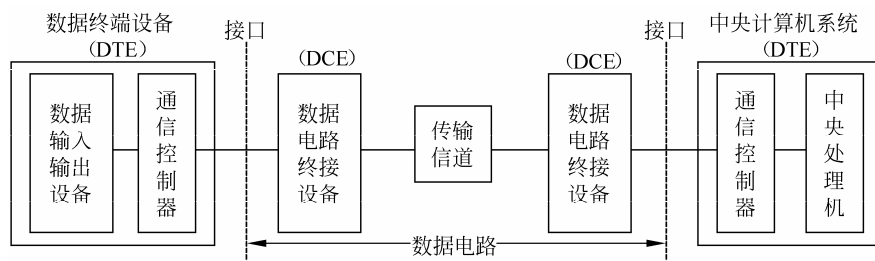


图 3-3-1 数据通信系统的组成

在数据通信系统中，远端的数据终端设备（DTE）通过由数据电路终接设备（DCE）和传输信道组成的数据电路，与中央计算机系统实现连接。DTE 是处理用户数据的设备，从简单的数据终端、I/O 设备到复杂的中心计算机均称为 DTE。DCE 属于网络终接设备，用于提供 DTE 与传输信道之间的接口，调制解调器、线路接续控制设备及与线路连接的其他数据传输设备均称为 DCE。中央计算机系统处理从 DTE 输入的数据信息并将处理结果向相应的 DTE 输出。

（3）数据通信网的概念

数据通信网是数据通信系统的扩充，即为若干个数据通信系统的归并和互连。其基本组成部件和数据通信系统相同，所增加的主要设备为数据交换机（一般为分组交换机）。数据通信网通常由硬件和软件两部分组成。硬件部分包括传输设备、交换设备和终端设备，软件部分是为了支持上述硬件而配置的网络协议等。

数据通信是计算机通信的基础，数据通信网可视为计算机通信网的一个组成部分。计算机通信网由通信子网和本地网（用户资源子网）组成。在大多数场合中，数据通信网是指计算机通信网中的通信子网，它的主要功能是完成数据传输、交换以及通信控制。

2. 数据通信网的服务质量

（1）服务质量衡量指标

数据通信网的服务质量指标主要是围绕传输的有效性和可靠性来制定的，主要包括：

- 服务可用性：指用户与网络之间的服务连接的可靠性。
- 最大传输速率：指网络传输数据速率的上限。
- 吞吐量：指信道在单位时间内成功传输的信息量。
- 利用率：利用率等于吞吐量与最大数据传输速率之比。
- 时延：从发送者发送第一位数据开始，到接收者成功地收到最后一位数据为止所经历的时间，可分为传输时延和传播时延。
- 抖动：时延的实时变化称为抖动，它往往与设备处理能力和信道拥挤程度等有关。
- 差错率：差错率是衡量通信系统可靠性的主要指标。在数据通信系统中，常用的差错率指标主要包括比特差错率、码元差错率和分组差错率。比特差错率是指二进制

比特位在传输过程中被误传的概率；码元差错率是指码元被误传的概率；分组差错率是指数据分组被误传的概率。

- 丢失率：是指数据在通过网络传输时允许的最大丢失概率，通常数据丢失是由于网络拥塞造成的。

（2）服务性能保障机制

任何网络都不可能保证 100% 的可靠，在运行时，它们时常要面对以下 3 类问题：

- 数据传输中的差错和丢失。
- 网络拥塞。
- 交换节点和物理线路故障。

要保证稳定的服务性能，网络必须提供相应的机制来解决上述问题，这对网络的可靠运行至关重要。目前网络采用的服务性能保障机制主要有 4 类。

① 差错控制

数据通信要求信息传输具有高度的可靠性，即要求误码率足够低。为此，在进行数据传输时，要采取一定的方法发现差错并纠正差错，这称为差错控制。

差错控制的基本思想是在发送端被传输的信息码序列的基础上，按照一定的规则加入若干“监督码元”后进行传输，这些加入的码元与原来的信息码序列之间存在着某种确定的约束关系。在接收数据时，检验信息码元与监督码元之间的既定约束关系，如该关系遭到破坏，则在接收端可以发现传输中的错误，乃至纠正错误。

目前差错控制方式有两大类：一类是前向纠错，即接收方收到有差错的数据时，能够自动将差错纠正过来；另一类是检错重发（ARQ），即接收方可以检测出收到的数据中有差错，但并不知道哪几个比特错了，于是就让发送端重复发送，直至接收端正确收到信息为止，这种方法在数据通信中较常使用。

② 拥塞控制

所谓拥塞是指由于网络中传送的信息分组数量过多而造成网络传输性能下降的现象。通常拥塞发生在通过网络传输的数据量开始接近网络的数据处理能力时。

在数据通信网中，产生拥塞的原因主要有以下几个方面：

- 交换节点的存储空间不足。
- 链路的带宽容量不足。
- 节点的 CPU 处理速度慢。
- 不合理的网络拓扑结构及路由选择。

解决拥塞问题的有效途径是采用拥塞控制。拥塞控制的目的是在有限的网络资源条件下，通过通信量的约束与调配减少数据丢失，提高网络吞吐量，充分利用已有的网络资源。因此，拥塞控制提出从两个方面着手：通信量的约束、通信量的调配。通信量的约束是指控制进入网络的通信量，使其与网络容量相匹配；通信量的调配则是合理处理和转发到达网络的数据，实现网络流量均衡。

③ 流量控制

如果发送端发送的数据过多或者数据发送速率过快,致使接收端来不及处理,则会造成数据在接收端的丢弃。为了避免这种现象的发生,通常的处理办法是采用流量控制,即控制发送端发送的数据量及数据发送速率,使其不超过接收端的承受能力,这个能力主要指接收端的缓存和数据处理速度。

在分层网络体系中,流量控制可以在多个协议层次实现,大致可分为端到端的流量控制和链路级流量控制。端到端的流量控制是基于数据最终接收端的承受能力控制数据源端的数据流量;链路级流量控制则是基于接收节点的承受能力控制发送节点的数据流量。流量控制涉及的技术通常有滑动窗口法、在 Internet 的 IP 层实现的可变信用量方法、在 ATM 中使用的漏桶算法等。

④ 路由选择

由于数据业务具有高度突发性,且统计复用传输资源,因此在运行中,网络各部分的负荷分布会有很大的波动,合理选择分组路由,不但可以迅速而可靠地把分组传送到目的地,而且可以保证现有其他数据呼叫的性能不受影响。好的路由选择算法应当能通过将通信量分散到所有线路上来避免拥塞,而且具有故障恢复能力,当网络出现故障时,能避开发生故障或拥塞的节点。

在数据通信网中路由选择的方法很多,通常分为静态路由选择和动态路由选择。静态路由选择也称为非自适应路由选择,是指不利用网络状态信息,按照某种固定的规则选择路由。静态路由选择的特点是简单和开销较小,但不能及时适应网络状态的变化。动态路由选择也称为自适应路由选择,是指各节点根据实时测量或估计的网络当前通信量和拓扑结构选择路由。动态路由选择的特点是能较好地适应网络状态的变化,但实现起来较为复杂,开销也比较大。对于规模较大、结构较复杂的网络来说,一般采用动态路由选择策略,如 Internet 中的 IP 路由协议就属于动态的路由选择协议。

3. 数据通信网的分类

数据通信网可以从不同的角度进行分类。

按网络拓扑结构分类,数据通信网可分为网状型网与不完全网状型网(格型网)、星型网、树型网、环型网和总线网等。

按使用对象分类,数据通信网可分为公用数据通信网和专用数据通信网。

按传输距离分类,数据通信网可分为局域网、城域网和广域网。

按传输技术分类,数据通信网可分为交换网和广播网。根据采用交换方式的不同,交换网又可分为数字数据网(DDN)、分组交换网(X.25)、帧中继(FR)网、ATM 网、IP 网等。

DDN 网是利用数字信道提供半永久性连接电路传输数据信号的数字传输网。它向用户提供专用的数字数据传输信道,为用户建立专用数据网提供条件。DDN 网具有传输质量高、误码率低、传输时延小、支持多种业务(数据、语音、传真、图像、帧中继等)、提供高速

数据专线等优点。DDN 网不仅能提供高质量数字专线，而且具有数据信道带宽管理功能。

分组交换网（X.25）吸收了电路交换低时延及电报交换的路由选择自由的优点，是一种数据传输可靠性较高的数据通信方式。分组交换网能够向用户提供不同速率、代码及通信规程的接入。我国的分组交换网与用户的接口规程主要采用 ITU-T X.25 协议，它包括 ISO 的开放系统互联（OSI）七层协议的下三层，分别由网络终端和通信网完成这些功能。由于线路采用动态统计时分复用，线路利用率较高，但通信协议开销较大。

帧中继网采用快速分组交换技术，它是在数字光纤线路代替模拟线路、用户终端逐渐智能化的基础上发展起来的，帧中继网只完成 OSI 物理层和数据链路层的功能，不负责数据的纠错、重发、流量控制等。因此它具有网络吞吐量高、传送时延低、可靠、灵活的特点，是非常经济的用户宽带业务接入网。

异步传送模式（ATM）是一种用于宽带网内传输、复用、交换信元的技术，可以支持高质量的语音、图像和高速数据业务。它是一种简化的面向连接的高速分组交换，是未来宽带综合业务数字网的基础和核心。

IP 网（Internet 网或因特网）是全世界最大的信息网络，通过 IP 网的计算机联网功能，我们可以与世界大多数国家交流信息，检索各种资料。IP 网利用 TCP/IP 协议将遍布世界各地各种类型的数据网联成一个大网。其下层数据网由各种类型的二层数据网组成，其网络节点设备可以是各种类型的数据交换机（如 X.25.FR、ATM、以太网等分组交换机）。IP 网采用统一格式的 IP 地址，节点设备统一采用面向无连接的路由器。

4. 分组交换网

分组交换网是为适应计算机通信而发展起来的一种先进通信网络，可以满足不同速率、不同类型终端的互通，从而实现存储在计算机内的信息资源共享，还可在分组交换网上开发各种增值业务。

（1）分组交换基本原理

分组交换的基本思想是把用户要传输的信息分成若干长度较短，具有统一格式的数据包，即分组，以“存储-转发”的方式进行交换、传输。每个分组都有一个分组头，包含用于控制和接收地址的有关信息。这些分组在网内传输时，每个交换节点首先对收到的分组进行暂时存储，检测分组传输中有无差错，分析该分组头中有关选路的信息，进行路由选择，并在选择的路由上排队，等到有空闲信道时转发给下一个交换节点或用户终端。

分组交换适合于数据通信，其主要特征是业务的突发性、高度的可靠性，而对实时性的要求并不严格。分组交换的技术特点可以归纳如下：

- 电路利用率高。分组交换在线路上采用动态统计时分复用的技术传送各个分组，每个分组都有控制信息，使多个终端可以同时按需共享资源，充分利用空闲电路，因此提高了传输线路（包括用户线和中继线）的利用率。
- 可在不同类型终端间进行通信。在数据通信中，通信双方往往是异种终端。分组交换中采用存储-转发方式，可以把终端送出的报文变成对方终端能接收的形式，以

实现不同速率、不同编码方式、不同同步方式以及不同传输规程终端之间的数据通信。

- 传输质量高。数据业务的可靠性要求较高,因此分组交换在网络内的中继线和用户上传时采用了逐段独立的差错控制和分组重发规程,使得网内全程的平均误码率可达 10^{-11} 以下。
- 传输时延大。分组交换规定了丰富的控制功能,这也增加了分组交换机处理的负担,使分组交换机的吞吐量和中继线速率的进一步提高受到了限制,而且分组的传输时延比较大。

① 数据报和虚电路

数据分组的传输方式有两种:一是数据报方式,也称报文分组方式;二是虚电路方式,又称虚逻辑电路传送方式。

数据报中的每一个分组都带有完整的目的站地址,独立地进行路由选择,同一终端送出的不同分组可以沿着不同的路径到达终点。在目的地,根据分组的序号重新排列次序,组合成报文。这里,每一个单独处理的分组称为一个数据报,图 3-3-2 是数据报方式的示意图,终端 A 有三个分组 a、b、c 要送给 B,在网络中,分组 a 通过节点 2 进行转接到达节点 3, b 通过 1、3 之间的直达路由到达节点 3, c 通过节点 4 进行转接到达节点 3,由于每条路由上的业务情况(如负荷量、时延等)不尽相同,三个分组的到达不一定按照顺序,因此在节点 3 要将它们重新排序,再送给 B。

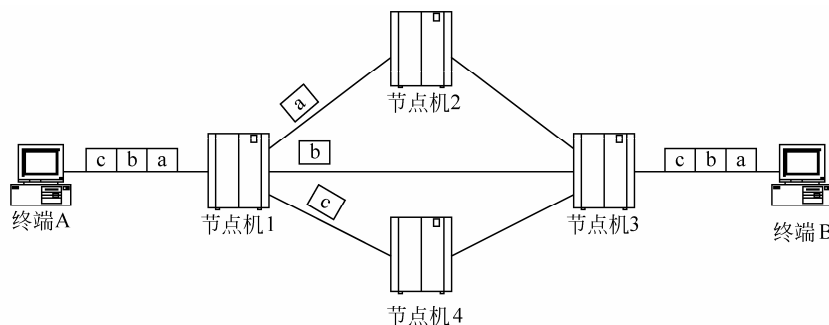


图 3-3-2 数据报方式示意图

数据报方式不需要经历呼叫建立和呼叫清除阶段,对短报文通信传输效率比较高,这一点类似数据的报文交换方式。这种方式的特点是数据分组传输时延较大,但对网络故障的适应性强,一旦某个经由的分组交换机出现故障,可以另外选择传输路径。

虚电路方式是指两个用户终端设备在开始互相传输数据之前必须通过网络建立一条逻辑上的连接(称为虚电路)。在这种方式中,数据的通信同样需要经历电路建立、数据传送、电路拆除 3 个阶段,和电路交换的不同之处在于经呼叫后,在两个数据站之间建立起来的是一条虚拟电路。分组在虚电路上传输时,在每个节点上同样要经历存储-转发的过程。

虚电路方法的示意图参见图 3-3-3。假设 A 有多个分组要送到 B 站，首先 A 发送一个“呼叫请求”分组到节点 1，节点机 1 决定将这一呼叫请求分组送到节点机 2，节点机 2 决定送到节点机 3，节点机 3 又将 A 站的要求通知 B 站。如果 B 站准备接收分组，它发出“呼叫接收”分组，沿着原路返回节点机 1，节点机 1 再通知 A 站，于是在 A 站和 B 站之间建立了一条逻辑连接即虚拟电路，以后的数据分组将沿着这条虚拟电路双向传输。当数据传输完毕之后，其中的一个站用一个“清除请求分组”指令来拆除这一连接。由于对分组的统计复用，在一条实际的链路上可以存在多条虚电路。

虚电路的路由选择仅仅发生在虚拟电路建立的时候。在以后的传送过程中，路由不再改变，这可以减少节点不必要的通信处理；每个分组头中不再需要有详细的目的地地址，只需要有逻辑信道号，就可以区分每个呼叫信息，这样可以减少每一分组的额外开销；由于所有分组遵循同一路由，这些分组将以原有的顺序到达目的地，终端不需要重新排序，因此分组的传输延时小。此外，还可以在用户间建立永久性虚连接，用户可以像使用专线一样方便。

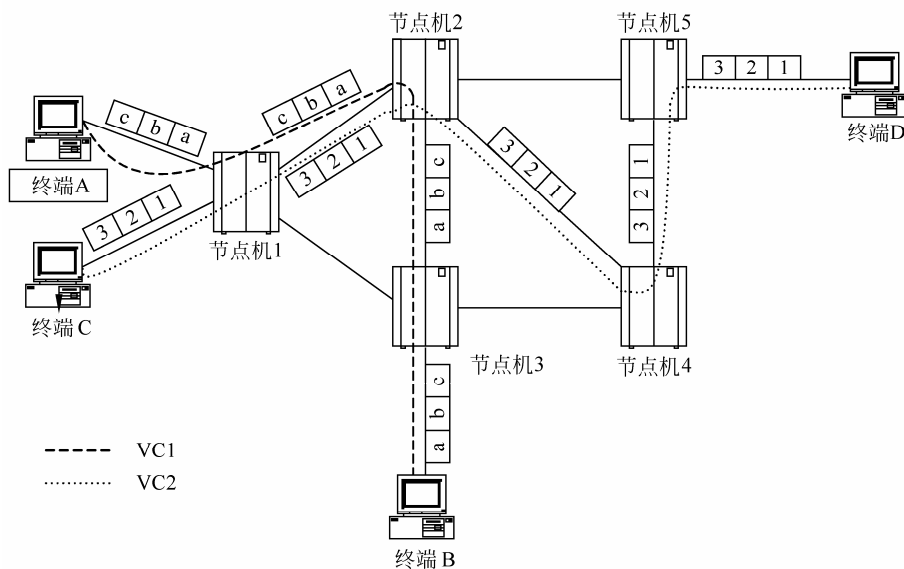


图 3-3-3 虚电路方式示意图

虚电路方式的特点是：一次通信具有呼叫建立、数据传输和呼叫释放 3 个阶段；数据分组中不需要包含终点地址，对于数据量较大的通信传输效率高。虚电路分组方式的通信过程类似于电路交换过程。

虚电路分为两种：交换虚电路（SVC）和永久虚电路（PVC）。交换虚电路是指在每次呼叫时用户通过发送呼叫请求分组来临时建立虚电路的方式。如果应用户预约，由网络运营者为之建立固定的虚电路，就不需要在呼叫时再临时建立虚电路，而可以直接进入数据传输阶段，则称之为 PVC。PVC 一般适用于业务量较大的集团用户。

② 统计时分复用

为了提高信道的利用率，在数据传输中经常采用多路复用技术。在数据传输中，常用的复用技术有频分复用技术和时分复用技术。时分复用可分为同步时分复用和统计时分复用，分组交换中采用了统计时分复用技术。

在同步时分复用中，每一帧中的时隙固定地分配给某一终端，但对于某一终端来讲，大部分时间内可能并没有数据传送，这使得一帧中的很多时隙被浪费了。提高信道利用率的方法是采用统计时分复用，也称为异步时分复用或智能时分复用。在统计时分复用中，把时隙动态地分配给各个终端，即当终端有数据要传送时，才会分配到时隙。

分组交换中，执行统计复用功能的是通过具有存储能力和处理能力的专用计算机——接口信息处理机（IMP）来实现的。IMP 通过对数据流进行缓冲存储和对信息流的控制功能，以解决各用户争用线路资源时产生的冲突。当用户有数据传送时，IMP 给用户分配线路资源，一旦停发数据，则线路资源另做他用。图 3-3-4 所示为 3 个终端采用统计时分复用方式共享线路资源的情况。

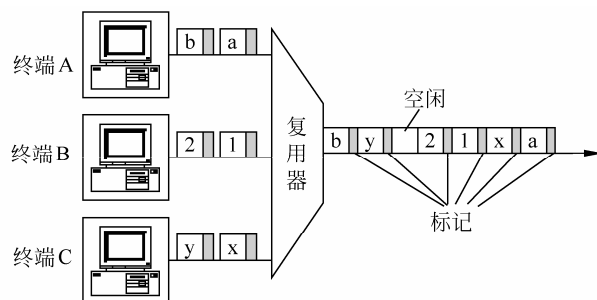


图 3-3-4 统计时分复用

如图 3-3-4 所示，来自终端的各分组按到达的顺序在复用器内排队，形成队列。复用器按照先进先出（FIFO）的原则，从队列中逐个取出分组，并向线路上发送。当存储器空时，线路资源也暂时空闲，当队列中又有了新的分组时，进行发送。图 3-3-4 中，起初 A 用户有 a 分组要传送，B 用户有 1、2 分组要传送，c 用户有 x 分组要传送，它们按到达顺序排队：a、x、1、2，因此在线路上的传送顺序为 a、x、1、2。终端均暂时无数据传送，则线路空闲。后来，终端 c 有 y 分组要送，终端 A 有 b 分组要送，则线路上顺序传送 y 分组和 b 分组。这样，在高速传输线上，形成了各用户分组的交织传输。这些用户数据不是像同步时分复用那样靠位置来区分，而是靠各个用户数据分组的“标记”来区分。

统计时分复用的优点是可以获得较高的信道利用率。由于每个终端的数据使用一个自己独特的“标记”，可以把传送的信道按照需要动态地分配给每个终端用户，从而提高了传送信道的利用率。这样，每个用户的传输速率可以大于平均速率，最高时可以达到线路的总的传输能力。如线路总的速率为 9.6kb/s，3 个用户信息在该线路上进行统计时分复用，

平均速率为 3.2kb/s，而一个用户的传输速率最高时可以达到 9.6kb/s。

统计时分复用的缺点是会产生附加的随机延时和丢失数据的可能。这是由于用户传送数据的时间是随机的，若多个用户同时发送数据，则需要进行竞争排队，引起排队延时；若排队的数据很多，引起缓冲器溢出，会有部分数据丢失。

③ 逻辑信道

在统计时分复用方式下，通过对数据分组编号，可以把来自各个终端的数据分组在链路上完全区分开，如同把传送链路划分成若干子信道一样，这种子信道称为逻辑信道，逻辑信道为各个终端提供相互独立的数据传送虚拟通路。各个逻辑信道用不同的代号表示，即逻辑信道号。逻辑信道号本质上代表着传送链路的部分资源。当某个终端要求通信时，统计时分复用器就负责分配一个逻辑信道号给它。

逻辑信道号与各个终端的代号无关。对于同一个终端，每次呼叫被分配的逻辑信道号都可能不同。一个终端可以同时通过网络建立多个数据通路，统计时分复用器为每个通路分配一个逻辑信道号，并维护一个终端号与逻辑信道号的映射表，通过逻辑信道号可以识别出哪个终端发来数据。

逻辑信道号是在用户至交换机或交换机之间的网内中继线上可以被分配且代表了信道的一种编号资源。在每一条物理链路上，逻辑信道号的分配相互独立，也就是说，逻辑信道号并不在全网中有效，而是在每段物理链路上局部有效，即仅具有局部意义。

分组交换网内的分组交换设备负责出/入线上逻辑信道号的转换工作。

每个逻辑信道可被定义为总是处于几种工作状态的转移过程中，如“准备好”状态、“呼叫建立”状态、“数据传输”状态、“呼叫清除”状态等。

(2) 分组交换网的网络结构

分组交换网由分组交换机 PS、分组集中器 PCE、分组拆装设备 PAD、网络管理中心 NMC、分组终端和数据传输等基本设备及相关协议组成，如图 3-3-5 所示。

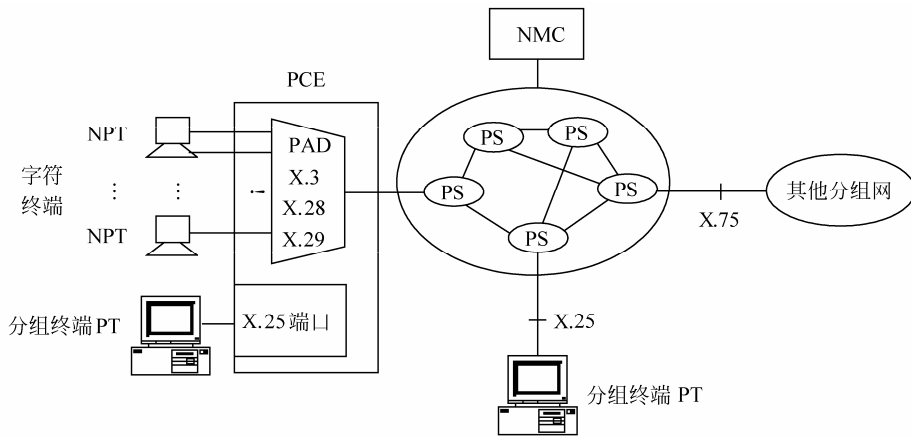


图 3-3-5 分组交换网的组成

① 分组交换机

分组交换机是分组交换网的枢纽设备。根据在网中所处地位的不同, 分组交换机可分为转接交换机和本地交换机两种。转接交换机的通信容量大、线路端口数多, 这些端口大都用于交换机之间的互联。因此, 这种交换机的路由选择能力强, 传输速率高。本地交换机通信容量小, 其绝大部分端口接至用户数据终端, 只有一小部分端口接至其他交换机。该种交换机具有局部交换的功能, 无路由选择功能, 传输速率低。

分组交换机的主要功能为:

- 为网络的基本业务, 即交换型虚电路 (SVC)、永久型虚电路 (PVC), 以及其他网内各种业务提供支持。
- 在各节点机之间进行路由选择, 并进行流量控制, 防止网络拥塞, 完成交换任务。
- 实现 X.25、X.75 等多种协议。
- 执行维护与运行管理、故障报告与诊断、计费统计等功能。

② 数据终端

数据终端也就是用户使用的通信终端, 包括计算机、打印机、电传机、传真机、可视图文终端和显示终端等。分组交换网中的终端可分为分组终端 (PT) 和非分组终端 (NPT)。分组终端具有分组处理能力, 发出的信息就是一个一个的分组, 可以直接进入分组交换网; 非分组终端不具有分组处理能力, 发出的是非分组信息, 需要经过转换才能进入分组交换网。

③ 分组拆装设备

分组拆装设备 (PAD) 是非分组终端接入分组交换网的接口设备。它对待发、待收的信息进行整合, 使之满足分组交换网传输及处理的需要。

PAD 主要有两个功能:

- 非分组终端字符的组装或分组: 非分组终端的字符通过 PAD 组装成分组, 发至交换机, 同时从交换机来的分组通过 PAD 拆卸成字符送至非分组终端。
- 数据集中: 在 PAD 中, 把各终端的字符数据流组成分组后, 在 PAD 至交换机的中速线路上交织复用, 以利于有效利用线路。

④ 分组集中器

分组集中器是公用分组网上的末端设备之一, 又称用户集中器, 大多是既有交换功能又有集中功能的设备。它是将多个低速的用户终端进行集中, 用 1 条或 2 条高速的中继线路与节点机相连, 以节省线路投资, 提高线路利用率。分组集中器适用于用户终端较少的城市或地区, 也可用于用户比较集中而线路比较紧缺的大楼或小区。分组终端和非分组终端 (NPT) 都可以接入 PCE, 分组终端通过 PCE 的 X.25 端口接入, 而对于非分组终端, 要通过 PCE 内的分组拆装设备 (PAD) 来接入。

⑤ 网络管理中心

网络管理中心 (NMC) 负责全网的管理、维护和监测, 以保证分组交换网正常运行。

NMC 通常由两个以上的小型计算机组成，一个主用一个备用，以保证网络管理的安全。NMC 的主要功能为：网络配置管理、用户信息管理、运行数据的收集与统计、路由选择管理、网络监控与故障处理、计费管理等。

⑥ 传输线路

传输线路包括从用户终端至分组交换机或 PAD 的用户线及分组交换机间的中继线或网间中继线。传输线路可分为有线信道和无线信道，也可以分为模拟信道和数字信道。

分组交换网的中继线可以是 PCM 数字信道，速率为 64kb/s、128kb/s、2Mb/s，甚至更高，也可以是 MODEM 转换的数字信道，速率为 48kb/s、64kb/s 等。用户线路可以是租用专线，也可以采用公用电话网与分组交换机相连的方式。

⑦ 相关协议

分组交换网的协议包括 X.25、X.75 等协议。其中，X.25 协议是数据终端设备（DTE）与数据电路终接设备（DCE）之间的接口协议，即 DTE 和分组交换网之间的接口规程；X.75 是分组交换网之间互联时的网间接口协议。对于分组交换网的内部协议，没有统一的国际标准，而是由各个厂家自行规定的。对于不支持 X.25 协议的 NPT，要进入分组网必须在它和分组网之间加入 PAD。关于 PAD 的协议有 X.3、X.28 和 X.29 等。

（3）流量控制与拥塞控制

在分组交换网中，用户发送数据的时间和数量具有随机性，而网络总是由有限的资源所组成。若对数据不加任何控制措施，就可能出现网内数据流严重不均，甚至导致网络拥塞。因此，必须采取现有的措施进行流量控制，防止网络出现拥塞，一旦出现拥塞，要及时地进行控制，使网络逐渐恢复到正常状态。

① 流量控制的作用

流量控制具有如下三个主要功能：

- 防止由于网络和用户过载而导致网络吞吐量的下降和传送时延的增加。

当网络负荷比较小时，各节点分组的队列都很短，节点有足够的缓冲器接收新到达的分组。当网络负荷增大到一定程度时，节点中的分组队列加长，造成时延迅速增加，并且有的缓存器已占满，节点将丢弃继续到达的分组，造成分组的重传增多，从而使吞吐量下降。

- 避免网络死锁。

当网络进入严重拥塞状态后，可能由于重发分组大量挤占节点队列，导致节点不能接收新到达的分组，从而使吞吐量下降为零，这种现象称为网络死锁。没有外力作用的情况下，网络将始终处于这种状态，此时分组的时延将无限增加。

- 网络及用户之间的速率匹配。

用于防止网络或用户侵害其余的用户。一个简单的例子是一条 56 kb/s 的数据链路访问低速的键盘或打印机，除非有流量控制，否则该数据链路将完全吞没键盘或打印机。同样，低速的节点处理与高速的线路之间也必须进行速率匹配，以避免拥塞。

② 流量控制方法

分组交换网的流量控制可以分层次进行,在不同层次上,需要有不同的流量控制方法。分组网中常用的流量控制方法有以下几种。

- 滑动窗口机制

该方法可用于 DTE 和邻接的源节点机之间。其基本原理是为每对通信设置一个发送窗口和接收窗口,主机发送分组的序号必须在发送窗口之内,否则就要等待,直到源节点机发来新的确认后才可发送。

- 缓冲区预约方式

该方法可用于源节点到目的节点之间的流量控制。源节点在发送数据信息之前,要为每个报文在目的节点预约缓冲区,只有目的节点有一个或多个分组缓冲区时,源节点才可发送。在预约的缓冲区用完后,要等接收节点再次分配缓冲区后,才继续发送数据。

- 许可证法

许可证法适用于 DTE 到网络源节点之间的流量控制。其基本原理是设置一定数量的“许可证”在网中随机地巡回游动,当终端向网络发送分组时,必须申请取得一张许可证,否则必须等待。

③ 拥塞控制方法

已经有大量用于分组交换网络拥塞控制的控制机制,常用的有如下几种:

- 从拥塞的节点向一些或所有的源节点发送一个控制分组。这种分组所具有的作用是停止或延缓源节点传输分组的速率,从而限制网络中的分组总数量。
- 依据路由选择信息。有些路由选择算法可以向其他节点提供链路的时延信息,它会影响路由选择的结果。这个信息也可以用来影响新分组产生的速率,以此进行拥塞控制。
- 利用端对端的探测分组。此类分组具有一个时间戳,可用于测量两个端点之间的时延,利用时延信息来控制拥塞。
- 允许节点在分组经过时在分组上添加拥塞信息,它有正向拥塞指示和反向拥塞指示两种方法。

(4) 中国公用分组交换数据网

中国公用分组交换数据网 (China Public Packet Switched Data Network, CHINAPAC) 是原邮电部建设和发展的最早的基础数据通信网络,于 1993 年 9 月正式开通。它以 ITU-T X.25 协议为基础,可满足不同速率、不同型号终端之间,终端与计算机之间,计算机之间以及局域网之间的通信。

CHINAPAC 由国家骨干网和各省(市、区)的省内网组成。目前骨干网之间覆盖所有省会城市,省内网覆盖到有业务要求的所有城市和发达乡镇。通过和电话网的互联,CHINAPAC 可以覆盖到电话网通达到的所有地区。

国家骨干网采用加拿大北方电信的 DPN-100 系列设备,由全国 31 个省、市、自治区

的 32 个交换中心组成（北京 2 个）。网管中心设在北京。建网初期采用不完全的网状网结构。网中的北京、天津、武汉、南京、西安、成都、沈阳等 8 个城市为汇接中心。北京为国际出入口局，上海为辅助出入口局，广州为港澳地区出入口局。汇接中心之间采用完全网状的拓扑结构，网内每个交换中心都具有两个或两个以上不同汇接方向的中继电路，以确保网络安全可靠。交换中心间根据业务量大小和可靠性的要求可以设置成高效路由。

省内外是国家骨干网的延伸，由设置在各省、区、市内的地区交换中心构成，交换中心的数量和设置地点需根据网络结构和业务组织管理的需要来确定。骨干网与各省、市地区的各交换中心采用星型结构连接，省内交换中心之间可以采用不完全网状结构连接。地区的每个交换机可具有两个或两个以上不同方向的中继电路。

CHINAPAC 为用户提供了两种入网方式：拨号方式和专线方式。

拨号方式提供 SVC 业务，客户只需要在现有电话线路上加上终端设备和调制解调器，以电话拨号方式（X.28 或 X.32）接入分组交换网。

专线方式提供 PVC 和 SVC 业务，可分为通过数据专线（如 DDN 等）或普通专线（数字专线或模拟专线）接入分组交换网。

5. 数字数据网（DDN）

数据通信业务的快速发展，相对固定的用户间的业务量不仅比较大，而且要求速度快、延时小、实时性强。以 X.25 协议为核心的分组交换数据网难以提供满意的服务。介于永久性连接和交换式连接之间的半永久连接方式的数字数据网（DDN）便应运而生了。

（1）DDN 简介

数字数据网（Digital Data Network, DDN）是基于电路交换的采用数字信道来传输数据信号的数据传输网。它把数据通信技术、数字通信技术、计算机技术、光纤通信技术、数字交叉连接技术等有机地结合在一起，形成了一个新的技术整体，应用范围从最初的单纯提供数据通信服务，逐步拓宽到支持多种业务网和增值网。

DDN 可以为用户提供专用的数字数据传输信道，为用户建立自己的专用数据网提供条件，或提供将用户接入公用数据交换网的接入信道，也可以为公用数据交换网提供交换节点间用的数据传输信道。它是提供语音、数据、图像信号的半永久性连接电路的传输网络。所谓半永久性连接，是指 DDN 所提供的信道是非交换型的，用户之间的通信通常是固定的，可以在网络允许的情况下由管理人员或用户自己对传输速率、传输数据的目的地与传输路由进行修改，但这种修改不是经常性的，所以称作半永久性交叉连接或固定交叉连接。

DDN 使要求高速、实时业务的用户需求得到了满足，它具有如下特点：

① 传输质量好。目前 DDN 大量采用光缆传输，数字信号的传输误码率可达 10^{-11} ，且无干扰叠加和积累，这在模拟信道上一般难以达到。

② 传输速率高，网络延时小。DDN 采用 PCM 数字信道，其传输速率在 2.4kb/s~2Mb/s 之间。

③ 协议简单，应用灵活。DDN 是任何规程都可以支持且不受约束的透明网络，对用

户的技术要求较少,可以支持数据、图像、话音等多种业务。

④ 网络可靠性高,利用率高。由于 DDN 采用了同步转移模式的数字时分复用技术,用户数据在固定的时隙以预先设定的通道带宽和速率顺序传输,免去了目的终端对数据的重组,提高了速率,减小了时延。

⑤ DDN 是同步数据传输网,不具备交换功能。DDN 采用数字交叉连接复用设备,对数字电路进行半固定交叉连接和子速率的复用时,不进行电路交换。DDN 采用数字方式传输数据,全网时钟系统必须保持同步,不同步则会造成数据误差。

⑥ 网络运行管理简便。DDN 的检错纠错功能由智能化程度较高的数据终端设备完成,因此网络运行过程中的管理、监督等内容得以简化。

(2) DDN 的网络结构

DDN 网络一般不包括交换功能,只采用简单的交叉连接与复用装置,由数字通道、DDN 节点、网络管理系统和本地传输系统组成,如图 3-3-6 所示。

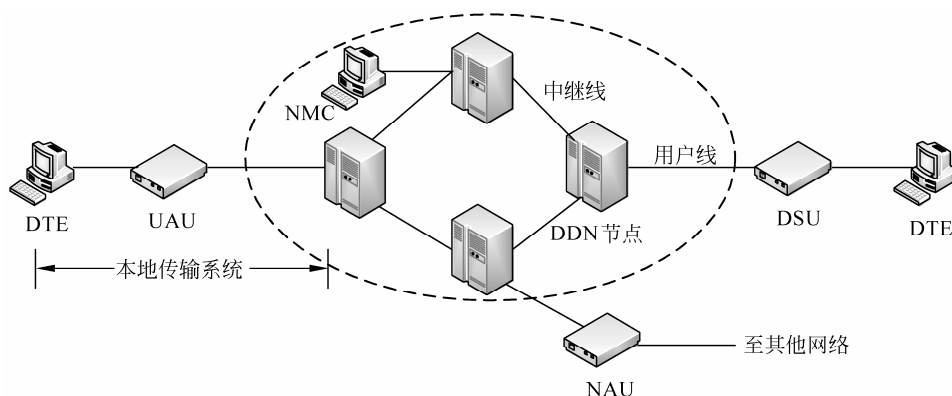


图 3-3-6 DDN 网络结构

① 数字通道

DDN 传输的是数字信号,由光纤或数字微波通信系统组成的传输网是 DDN 的建设基础。DDN 局间传输的数字信道通常是指数字传输系统中的 PDH 或 SDH 电路;DDN 的用户环路也是数字的,可向用户提供端到端的数字通道。

② DDN 节点

DDN 节点由时分复用器和数字交叉连接系统组成,主要完成接入、复用和交叉连接功能。

时分复用器分为两级:第一级将来自多条用户线的信号形成 64kb/s 通信数据流;第二级将 64kb/s 数据流按 32 路 PCM 系统格式进行时分复用。

数字交叉连接系统用于通信线路的交接、调度管理。它的主要设备是智能化的数字交叉连接设备(DXC)、带宽管理器以及供用户接入的设备。DXC 是一种具有交换功能的、

智能化的传输节点设备，其实就是一个半永久性连接的，由计算机控制输入和输出数字流进行交叉连接的复用器和配线架。

DXC 的设备由同步电路、交换矩阵（交叉连接）、微机处理组成。其中，同步电路为网络提供精确的定时信号，用于进行时隙校准，DDN 的全系统时钟均由一个统一的同步时钟系统来提供；交换矩阵负责完成半永久电路的交叉连接；微机处理用于管理内部和外部操作，即维持操作系统，处理输入的命令和内部中断，检测内部出错、告警并作出反应，执行时隙交接及监视系统是否正常。

在我国的 DDN 体制中，DDN 节点可分为 2M 节点、接入节点、用户节点 3 种。

- 2M 节点：DDN 的骨干节点，负责执行网络业务的转换功能。2M 节点主要提供 E1 接口，对于 $N \times 64\text{kb/s}$ 进行复用和交叉连接。
- 接入节点：主要为 DDN 各类业务提供接入功能，如提供 $N \times 64\text{kb/s}$ 、 2048kb/s 数字通道的接口；如 $N \times 64\text{kb/s}$ ($N=1\sim 31$) 的复用；小于 $N \times 64\text{kb/s}$ 的子速率复用和交叉连接；帧中继业务用户接入和本地帧中继功能等。
- 用户节点：主要为 DDN 用户入网提供接口，并进行必要的协议转换。用户节点包括小容量的时分复用设备，用于局域网互联的路由器等。用户节点可以设置在用户处。

在实际组网时，可根据具体情况对上述节点类型进行划分。例如：把 2M 兆节点和接入节点归并为一类节点，或者把接入节点和用户节点归并为一类节点。

③ 网络管理系统

网络管理系统一般由网络管理控制中心（NMC）及相应的网管软件组成。NMC 采用分级管理，各级网管中心之间能互换管理和控制信息，网管中心可以查看网络的运行情况、线路利用情况、统计报告、节点告警和故障报告等，并及时反映到网管中心，以便实现统一的网管功能。NMC 还可以方便地进行网络结构和业务的配置等。

④ 本地传输系统

本地传输系统是指终端用户至 DDN 本地节点之间的传输子系统，由用户设备、用户线和用户接入设备组成。

• 用户设备

用户设备包括用户终端和连接线。用户端设备可以是局域网，通过路由器连至对端，也可以是一般的异步终端或图像设备，以及传真机、电传机、电话机、数据终端、个人计算机、用户交换机、LAN 的桥接机、路由器及视像等设备；连接线主要有电话线、RS-232 电缆、RJ-25 芯插头及 LAN 使用的 10Base-T、10Base-5、10Base-2 等。

• 用户线

用户线一般为市话电缆或光缆。目前，大多数利用双绞线来提供双工传输，可以采用四线传输，也可以采用二线全双工传输。

- 用户接入设备

用户接入设备的作用是把用户设备送入的原始信号转换成适合在用户线上传输的信号形式,并在可能的情况下,将多个用户的信号放在一对用户线上传输,实现多路复用。用户接入可以是用户的网络接入单元(NAU),单个或成对出现,或是节点直接与终端相连接的接口;也可以是用户接入单元(UAU)或数据业务单元(DSU),如调制解调器或基带传输设备,以及时分复用、语音/数字复用等设备。DSU是UAU的一种。

(3) 中国公用数字数据网

中国公用数字数据网(CHINADDN)是利用数字传输通道(光纤,数字微波,卫星)和数字交叉复用节点组成的数字数据传输网,可以为用户提供各种速率的高质量数字专用电路和其他新业务,以满足用户多媒体通信和组建中高速计算机通信网的需要。

CHINADDN采用分级的网络结构,按网络的组建、运营、管理的地理区域,可分为一级干线网、二级干线网和本地网三级。从网络的功能层次看,可分成核心层、接入层和用户层三层。

① 一级干线网

一级干线网就是国家骨干网,由设置在各省、自治区和直辖市的节点组成,提供省间的长途DDN业务。国家骨干网节点设置在省会城市,根据网络组织和业务量的要求,国家骨干网节点可与省内多个城市或地区的节点互联。

在一级干线网上,根据国际电路的组织 and 业务要求考虑设置国际出入口节点。国际电路优先使用2048kb/s的数字电路。

在一级干线网上,选择适当位置的节点作为枢纽节点,枢纽节点具有2.048Mb/s数字通道的汇接功能和2.048Mb/s公共备用数字通道功能。枢纽节点的数量和设置地点由电信主管部门根据电路组织、网络规模、安全和业务等因素确定。网络各节点互联时,应遵照下列要求:

- 枢纽节点之间采用全网状连接。
- 非枢纽节点应至少保证两个方向与其他节点相连接,并至少与一个枢纽节点连接。
- 出入口节点之间、出入口节点到所有枢纽节点之间互联。
- 根据业务需要和电路情况,可在任意两个节点之间连接。

一级干线网上设置一个或几个网管控制中心(NMC),负责国家骨干网范围内电路的组织调度。

② 二级干线网

二级干线网从地理上说就是省内干线网,由设置在省内的节点组成,提供本省内长途和出入省的DDN业务。根据数字通路、DDN网络规模和业务需要,省内干线网上也可设置枢纽节点;省内枢纽节点的数量与设置地点根据DDN业务量来确定。

相邻二级干线网的节点之间可适当设置直达数字电路。如果需要,二级干线网节点也可以设置地区性国际直达数字电路。

各省内网上设有一个各自的省内网网络管理控制中心（NMC），负责本省范围内的电路组织调度。

③ 本地网

本地网是指城市范围内的网络，在省内的发达城市中可以组建本地网。本地网为用户提供本地和长途 DDN 业务。根据网络规模和业务量要求，本地网可由多层次的网络构成。本地网中的小容量节点可以直接设置在用户端。

省内未建本地网的地、县级城市，根据省内情况和业务需要，设置中小容量的接入节点或用户节点，可直接连接到一级干线网节点上，也可经二级干线网节点连接到一级干线网节点上。

6. 帧中继网

帧中继技术（Frame Relay, FR）是在分组交换技术的基础上发展起来的。当传统的模拟线路逐渐被数字传输线路所代替，用户终端也逐渐智能化时，使 X.25 分组交换网的纠错、重传等措施失去必要性，不再适应用户的要求，用户需要更高的数据速率、更低费用，能有效处理突发性数据传输和更低的额外开销。随着人们对高质量通信需求的增加，出现了快速分组交换技术。帧中继就是其中一种快速分组交换技术。

（1）帧中继技术的原理及特点

① 技术原理

帧中继是在用户/网络接口（UNI）之间提供用户信息流的双向传送，并保持顺序不变的一种数据承载业务。帧中继工作在 OSI 参考模型第二层，即在数据链路层上使用简化的方式传送和交换数据单元的一种方式。由于在链路层的数据单元一般称作帧，故称为帧方式。帧中继的设计思想非常简单，将 X.25 建议规定的网络节点间、网络节点和用户设备之间每段链路上的数据差错重传，拥塞控制机制推向网络边缘的终端来完成，网络仅仅完成差错检查机制，从而简化了节点的处理过程，缩短了处理时间，这对有效利用高速数字传输信道十分关键。

帧中继采用动态分配带宽和可变长的帧的技术，适用于处理突发性信息和可变长度帧的信息，具有诸多优点：

- 高效性。帧中继的高效性主要反映为：有效的带宽利用率，传输速率高，网络时延小。
- 经济性。帧中继技术可以有效地利用网络资源，可以经济地将网络空闲资源分配给用户使用。用户可以经济灵活地接入帧中继网，并在其他用户无突发性数据传送时共享资源。
- 可靠性。虽然帧中继节点仅有 OSI 一层和二层核心功能，无纠错和流量控制，但由于光纤传输线路质量好、终端智能化程度高，前者保证了网络传输不易出错，即使有少量错误，也有后者去进行端到端的恢复。
- 灵活性。帧中继的协议十分简单，利用现有数据网上的硬件设备稍加修改，同时进

行软件升级就可以实现帧中继的组网,而且操作简便,实现起来灵活方便。另一方面,帧中继网络能为多种业务类型提供共用的网络传送能力,且对高层协议保持透明,用户可方便接入,不必担心协议的不兼容性。

- 长远性。帧中继具有技术成熟、实现简单的优势,它不会因 ATM 的诞生而消失。相反帧中继能与 ATM 相辅相成,成为以 ATM 为交换技术的骨干网的用户接入层。

② 帧中继的特点

帧中继是简化了的 X.25,与 X.25 相比较帧中继具有以下特点:

- 数据传送阶段协议大为简化

X.25 协议包括 OSI 模型的最低三层,帧中继对 X.25 协议进行了简化,取消了第 2 层的流量与差错控制,只保留端到端的流量与差错控制,且这部分功能由高层协议来完成。由于帧中继取消了 X.25 的第 2 层处理,原来第 3 层的复用与交换功能都移到了第 2 层。

- 用户平面和控制平面的分离

X.25 没有将用户信息和控制信息相分离,一旦通信建立后,通信过程中所需的控制数据分组将和用户数据分组在相同的逻辑信道上传送,类似于电路交换中的随路信令。

帧中继的用户网络接口协议体系结构分为控制平面和用户平面,控制平面负责控制信息的处理和传送,这些信息用于逻辑连接的建立和拆除;用户平面负责端到端的用户数据传送。帧中继网络专门指定一条单独的逻辑通道用于控制信息的传送,类似于电路交换中的共路信令。

(1) 帧中继网的基本结构

典型的帧中继网络如图 3-3-7 所示,它由帧中继交换设施和帧中继接入设施组成。

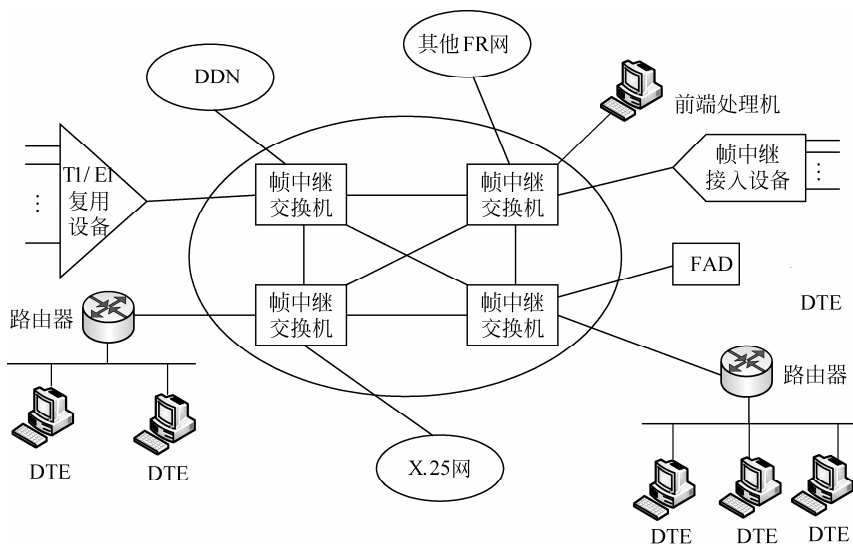


图 3-3-7 典型的帧中继网络

交换设施主要包括帧中继交换机和局间中继线。其主要功能为：在数据链路层实现虚电路和多路复用；实现纠、检错，出错后丢弃；将帧在节点存储转发。帧中继交换机主要有三类：改装型 X.25 分组交换机、帧中继交换机和具有帧中继接口的 ATM 交换机。帧中继网的局间中继传输利用数字传输信道，使用数字微波、光缆等传输媒质。

接入设施提供用户到帧中继网的接口，它支持各类用户的接入，包括在用户侧的 T1/E1 复用设备、路由器、前端处理机、X.25 分组网、DDN、帧中继拆装单元（FAD）、帧中继接入设备等。

（3）帧中继的网络管理

帧中继的网络管理可分为带宽管理、PVC 管理和拥塞管理等。

① 带宽管理

因为帧中继实现了带宽资源的动态分配，在某些用户不传送数据时，允许其他用户占用其带宽，所以必须对全网的带宽进行控制和管理。帧中继网络通过为用户分配带宽控制参数（如网络与用户约定的用户信息传送速率 CIR 等），对每条虚电路上传送的用户信息进行监视和控制，实施带宽管理，合理地利用带宽资源。

② PVC 管理

永久虚电路（PVC）管理指在接口间交换一些询问和状态信息帧，以使双方了解对方的 PVC 状态情况。PVC 管理包括用于用户网络接口（UNI）的 PVC 管理协议和用于网络间接口（NNI）的 PVC 管理协议。其主要内容有接口是否依然有效、各 PVC 当前的状态和 PVC 的增加或删除等。

③ 拥塞管理

由于帧中继网络节点不进行流量控制，当输入的数据业务量超过网络负荷时，网络会发生拥塞。造成的后果是大量用户信息得不到及时处理，甚至被丢失，而且网络的吞吐量下降，用户信息传输时延加长。因此帧中继网络要进行拥塞管理，具体措施如下：

- 拥塞控制策略。在网络发生轻微拥塞的情况下，为防止网络性能的进一步恶化，使网络恢复正常运行状态，而采取拥塞控制，包括终点控制和源点控制。
 - 终点控制策略：网络中节点机将前向传送帧的 FECN 比特置“1”，以传送拥塞通知，虚电路终点的用户终端应采取相应措施，以缓解拥塞状态。
 - 源点控制策略：网络中节点机将后向传送的帧的 BECN 比特置“1”进行传送，以通知其他节点机直至虚电路源点用户终端，使其降低信息传送速率，以缓解拥塞状态。
- 拥塞恢复策略。拥塞恢复策略是指在网络发生严重拥塞的情况下，为减少数据流量，以减轻拥塞，使网络恢复到正常状态的策略。网络内节点机除采用源点或终点控制策略发出拥塞通知外，还要将 DE 比特置“1”的帧丢弃。
- 终端拥塞管理。终端拥塞管理是指用户终端在接收到拥塞通知后，应降低其数据信息以提交速率。这样在减轻网络负荷的同时，也可以减少自己在传送的信息中因拥塞而造成的帧丢失，从而提高了信息的传输效率。

(4) 中国公用帧中继网

中国公用帧中继网（CHINAFRN）是我国适应数据通信要求，面向公众数据通信而建立的帧中继网。CHINAFRN 依据相关因素分为 3 层，即国家骨干网、省内外和本地网，如图 3-3-8 所示。

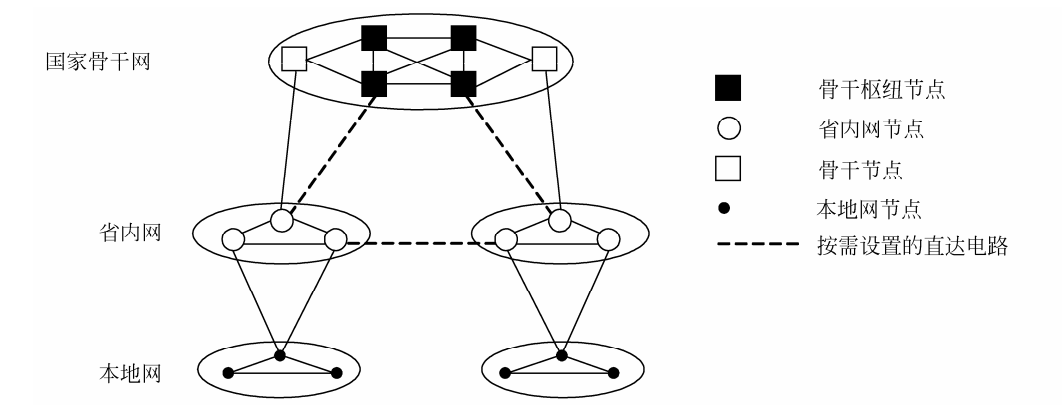


图 3-3-8 CHINAFRN 的网络结构

① 国家骨干网

国家骨干网由各省会城市、直辖市的节点组成，覆盖全国 31 个城市，其中北京、上海、沈阳、广州、武汉、成都、南京和西安 8 个节点为骨干网枢纽节点，负责汇接、转接骨干节点的业务和省内网、本地网的出口业务。骨干网枢纽节点之间采用完全网状结构，目前网内其他骨干节点之间采用不完全网状结构，每个骨干节点至少与两个骨干网枢纽节点相连。随着业务的不断发展，国家骨干网的结构将逐渐过渡为完全网状结构。全网在北京、上海建立国际出入口局，在广州建立港澳地区出入口局，负责国际业务和港澳业务的转接。

国家战略骨干网枢纽节点应具备以下主要功能：

- 汇接功能；
- 帧中继永久虚电路（PVC）业务功能；
- 网络间接口（NNI）功能；
- 动态分配带宽功能；
- 拥塞管理功能；
- 至少应具备 2~155Mb/s 接口功能；
- 便于向帧中继交换虚电路（SVC）业务过渡；
- 便于向 ATM 过渡。

② 省内网

省内网由设置在省内地市的节点组成，节点之间采用不完全网状连接。

省内网提供省内长途电路和出入省的电路。省内网节点负责汇接从属于它的本地网的业务，转接省内节点间的业务，同时可提供用户接入业务，其主要功能如下：

- 汇接功能；
- 帧中继 PVC 业务功能；
- 用户网络接口（UNI）功能；
- 动态分配带宽的功能；
- 拥塞管理功能；
- 提供多种用户接口的能力。

③ 本地网

在省内城市、地区、县等可根据需求组建本地网。本地网由本地的节点组成，采用不完全网状连接。本地网负责转接本地网节点间的业务，提供用户接入业务，其节点功能与省内网节点功能一样。

为了适应某些地区对外通信的特殊需要，在经济合理的情况下，节点之间可按业务需要设置直达路由。

7. ATM 网

异步传输模式（Asynchronous Transfer Mode, ATM）是 ITU-T 确定用作宽带综合业务数字网（B-ISDN）的复用、传输和交换的模式。ATM 交换综合了电路交换和分组交换的优点，可以实现高速、高吞吐量和高服务质量的信息交换，提供灵活的带宽分配，适应从很低速率到很高速率的宽带业务的交换要求，具有高效的网络运营效率和复用技术。

ITU-T 对于 ATM 的具体定义是：ATM 是一种传输模式，在这一模式中信息被组织成固定长度信元，来自某用户一段信息的各个信元并不需要周期性地出现，从这个意义上来说，这种传输模式是异步的。所谓“传输模式”是指网络中信息的传输、复用和交换过程。传输模式可分为同步传输模式（STM）和异步传输模式（ATM）两种。同步传输模式的主要特征是采用同步时分复用，各路信号都是按一定时间间隔周期性出现，可根据时间（或位置）识别每路信号。异步传输模式则采用统计时分复用，各路信号不是按照一定时间间隔周期性的出现，要根据标志识别每路信号。

（1）ATM 基本概念

ATM 是在分组交换技术上发展起来的快速分组交换。它综合吸取了分组交换高效和电路交换高速率的优点，能够实现各种业务快速高效地交换和传输。ATM 技术的主要特点如下。

① 以固定长度的信元为传输单位

ATM 采用信元作为信息传递的基本单位。每个信元的长度都是固定的 53B，比 X.25 网络中的分组长度要小得多，这样可以降低交换节点内部缓冲区的容量要求，减少信息在这些缓冲区中的排队时延，从而保证了实时业务短时延的要求。

② 采用了统计时分复用、按需动态分配带宽的技术

在 ATM 网络中信息的传送是以信元方式进行统计复用,在时间上没有固定的复用位置。由于是按需分配带宽,因而信道的利用率得到很大的提高,使得 ATM 既能支持恒定速率的连续性业务,又能支持突发性业务,可以同时支持低速、高速、变速和实时性业务。

③ 采用面向连接并预约传输资源的方式工作

电路交换通过预约传输资源来保证实时信息的传输。分组交换中仿照电路交换提出了虚电路工作模式,目的是为了减少分组数据传送过程中交换机为每个分组进行路由选择的开销,同时可以保证数据分组按照原始顺序进行正确传输。但是,分组交换取消了资源预定策略,虽然提高了网络的传输效率,但是却有可能使网络接收的业务流量超过其负荷能力,造成所有信息都无法快速传送到目的地。

在 ATM 方式中,采用了分组交换中的虚电路形式,同时在呼叫建立过程中向网络提出传输所希望使用的资源,网络根据当前的状态决定是否接受这个呼叫。其中资源的约定并不像电路交换那样给出确定的电路或 PCM 时隙,只是用来表示该呼叫未来通信过程中可能使用的通信速率。采用预约资源的方式,保证了网络上的信息可以在一定允许的差错率下传输。另外,考虑到业务具有波动的特点和交换中同时存在的连接数量,根据概率论中的大数定理,网络预分配的通信资源肯定小于信源传输时的峰值速率。可以说,ATM 方式既兼顾了网络运营效率,又能够满足接入网络的连接进行快速数据传送的需要。

④ 网络内部取消了差错控制和流量控制

传统分组交换协议是设计运行在误码率很高的模拟通信线路环境下,所以需要执行逐段链路的差错控制。同时,由于没有预约资源机制,任何一段链路上的数据量都有可能超过其传输能力,所以有必要执行逐段链路的流量控制。而 ATM 协议是运行在误码率很低的光纤传输网上,同时预约资源机制可以保证网络中的传输负载小于网络的传输能力,所以 ATM 取消了终端设备和边缘节点之间、网络内部各节点之间传输链路上的差错控制和流量控制过程。

⑤ ATM 信元头部功能降低

由于 ATM 信元长度较短,为了提高信息传送效率,并且光传输网络引起的出错概率较低,所以信元头部变得非常简单,只包含虚电路标识和头部校验序列。虚电路标识在呼叫建立阶段由网络分配产生,用来标识信元在网络传送中历经的路径,并且可用来区分不同终端的信息统计复用在同一条物理链路上时所占用的不同虚电路。

如果信元头部出现错误必然会导致信元误投,从而浪费网络的计算和传输资源,所以必须尽早发现信元头部错误。信元头部包含的校验序列就是为这一目的设置的,该序列只对信元头部进行纠错和检错,以防止或降低误选路由的可能。

另外,在传统分组交换中用作信息差错控制、分组流量控制以及其他功能的比特都被取消,在信元的头部只设置几个有限的用于维护的额外开销比特。

综上所述，ATM 方式充分地综合了电路交换和分组交换的优点，它既有电路交换“处理简单”的特点，支持实时业务、数据透明传输（网络不对数据作任何处理），并采用端到端的通信协议，同时也具有分组交换方式中支持可变比特率业务的特点，并且对传输链路进行统计复用，资源利用率高。由于 ATM 的这些特点，使得该项技术在宽带综合业务数字网（B-ISDN）中获得了广泛的应用。

（2）ATM 的逻辑连接

ATM 采用面向连接的快速分组交换。在用户信息开始传送之前，要先建立端到端的虚连接（Virtual Connection，VC），它与传统分组交换的虚电路相似，也是一种逻辑连接。虚连接连接的建立、维持和释放是 ATM 交换机的基本功能。两个端用户要进行通信，首先必须建立虚连接，然后才能在这个端到端连接的逻辑通路上以恒定的或可变的速率进行通信。通信完毕后再释放连接。

ATM 的虚连接分为两个级别，它们是：虚通道（Virtual Path，VP）和虚通路（Virtual Channel，VC）。相应的逻辑连接分别称为虚通道连接 VPC 和虚通路连接 VCC。一个端到端的连接一般由若干段串接而成，其中每一段称为链路。因此，相应的有 VP 链路和 VC 链路，它们分别用 VPI 和 VPI+VCI 标识。这里需要强调指出的是，VPI 和 VCI 不是端到端虚通道和虚通路的标识符，而是 VP 链路和 VC 链路的标识符；一个端到端逻辑连接各段逻辑链路的标识符一般是不相同的，换句话说，VPI 和 VCI 只具有局部意义。VC 链路、VP 链路与物理链路的关系如图 3-3-9 所示。一条物理链路包含多条 VP（链路），每一 VP（链路）又包含许多 VC（链路）。VPI 相同，VCI 不同，标识不同的 VC；VPI 不同，VCI 相同，也代表不同的 VC。所以要用 VPI+VCI 作为 VC（链路）的标识符。

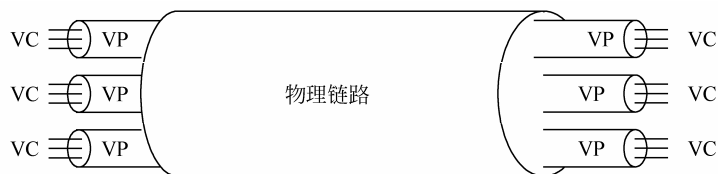


图 3-3-9 传输链路、VP 链路和 VC 链路的关系

虚连接有两种：一种称为永久虚连接（Permanent Virtual Connection，PVC），指网络两端点间固定的连接，可以通过管理功能来修改；另一种为交换虚连接（Switched Virtual Connection，SVC），通过信令系统建立，每次建立的都可能不一样。

（3）ATM 协议参考模型

ITU-T I.321 建议提出的 ATM 协议参考模型，用分开平面的概念来分离用户、控制和管理功能。因此，ATM 协议参考模型包括三个平面：用户平面、控制平面和管理平面，如图 3-3-10。

用户平面负责端到端用户信息的传递及相关的控制（如流量控制、差错控制等）功能。控制平面主要用于信令信息的传送与处理，负责寻址、路由选择和呼叫连接控制的相关功能。管理平面提供网络维护、运行和管理功能，也负责用户面和控制面间的协调。管理平面分为层管理和面管理。层管理实现各层网络资源与协议参数的管理，并处理各层中的运行、管理与维护（OAM）信息流；面管理提供网络全局的管理及实现各平面的协调功能。

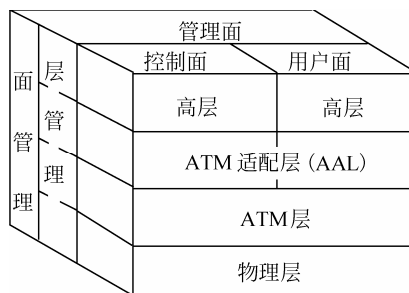


图 3-3-10 ATM 协议参考模型

用户面和控制面具有分层结构，各分为 4 层，从下到上为：物理层、ATM 层、ATM 适配层（ATM Adaptation Layer, AAL）和高层。物理层的基本功能是通过物理媒质正确、有效地传送信元；ATM 层主要负责信元的复用和交换；AAL 层的主要功能是实现高层与 ATM 层的适配，以使用统一的 ATM 技术支持各种各样的业务与应用。高层则因不同的业务和应用而异。例如，如果用 ATM 作为 Internet 的通信子网，那么高层将包括应用层、运输层和 IP 层。

（4）ATM 网络组成和接口

① ATM 网络组成

ATM 网络由节点和链路组成，而节点又分为端（节）点（Endpoint）和中继节点。

中继节点上设置 ATM 交换机。ATM 交换机就是一个快速分组交换机，其主要构件是交换网络、交换控制器、若干个高速输入和输出端口及必要的缓冲区。ATM 交换机是 ATM 宽带网络中的核心设备，它完成物理层和 ATM 层的功能。对于物理层，它的主要工作是对不同传送媒质电器特性的适配；对于 ATM 层，它的主要工作是完成 ATM 信元的交换，也就是 ATM 信头中 VPI/VCI 的变换。

ATM 端点就是在 ATM 网络中能够发送或接收信元的源站或目的站，它们可能是计算机或其他用户终端（如视频终端、数字电话终端等）。ATM 端点通过接入链路 with ATM 交换机相连。ATM 端点有两类：在纯 ATM 网络中，端点就是各种终端（如 PC、工作站、视频解码器、电缆或 xDSL 调制解调器等），它是产生和接收 ATM 信元的；在互连的网络中，端点就是互联设备（如路由器），也叫做虚终端，不是产生和接收信息的端点的，不过，它可以连接不同的网络，这些网络可以采用相同或不同的技术。

最简单的 ATM 网络可以只有一个 ATM 交换机，并通过一些点到点链路与各 ATM 端点相连。较小的 ATM 网络有少量的 ATM 交换机，一般都连接成网状网以获得较好的连通性。大型 ATM 网络拥有数量较多的 ATM 交换机，并按照分级的结构连成网络。

② ATM 网络结构

ATM 网可分为两大部分：公用 ATM 网和专用 ATM 网，如图 3-3-11 所示。

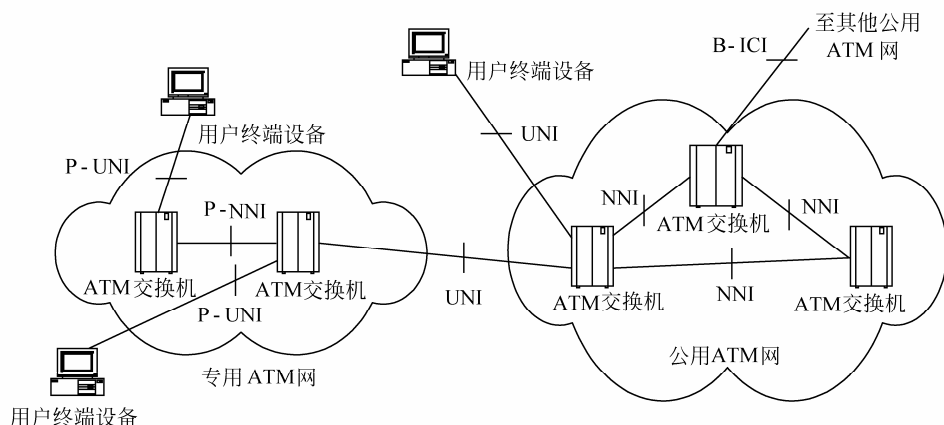


图 3-3-11 ATM 网络结构

公用 ATM 网是由电信管理部门经营和管理的 ATM 网，它通过公用用户网络接口连接各专用 ATM 网和 ATM 终端。作为骨干网，公用 ATM 网应能保证与现有各种网络的互通，应能支持包括普通电话在内的各种现有业务，另外，还必须有一整套维护、管理和计费等功能。

专用 ATM 网是指一个单位或部门范围内的 ATM 网。由于它的网络规模比公用网小，而且不需要记费等管理规程，因此，专用 ATM 网是首先进入实用的 ATM 网络，新的 ATM 设备和技术也往往先在 ATM 专用网中使用。目前专用网主要用于局域网互联或直接构成 ATM LAN，以便在局域网上提供高质量的多媒体业务和高速数据传送。

③ ATM 的主要接口

ATM 网络接口总体来说分为三类：用户网络接口（User Network Interface, UNI）、网络节点接口（Network Netnode Interface, NNI）和宽带互联接口（Broadband Inter-carrier Interface, B-ICI）。

• 用户网络接口

用户网络接口是用户设备与网络之间的接口，直接面向用户。UNI 接口定义了物理传输线路的接口标准，即用户可以通过怎样的物理线路和接口与 ATM 网相连，还定义了 ATM 层标准、UNI 信令、OAM 功能和管理功能等。按 UNI 接口所在的位置不同，又可分为公用网的 UNI 和专用网的 UNI (PUNI)。这两种 UNI 接口的定义基本上是相同的，只是 PUNI 由于不必像公网的接口那样过多地考虑严格的一致性，所以 PUNI 的接口形式更多、更灵活，发展也更快一些。

• 网络节点接口

网络节点接口一般为两个交换机之间的接口。与 UNI 一样，NNI 接口也定义了物理层、ATM 层等各层的规范，以及信令等功能，但由于 NNI 接口关系到连接在网络中的路由选

择问题,所以特别地对路由选择方法做了说明。同样,NNI接口也分为公网NNI和专用网中的NNI(PNNI)。公网NNI和PNNI的差别还是相当大的,例如公网NNI的信令为No.7信令系统的宽带ISDN用户部分B-ISUP,而PNNI则完全基于UNI接口,仍采用UNI的信令结构。

- B-ICI

B-ICI定义为两个公用ATM网之间的接口,为分别属于两个运营者的UNI接口提供了连接。它的定义基于NNI接口,其特点是支持不同网络间的多种业务传送,包括基于信元的PVC方式业务、PVC方式的帧中继业务、电路仿真业务以及SVC业务等。

在专用ATM网络中,主要有ATM专用交换机、ATM骨干交换机和ATM局域网交换机。交换机接口主要有PUNI和PNNI。专用ATM网络能处理各层协议以及ATM信令,完成VP/VC交换操作,交换容量通常在10Gb/s以上。

在公用ATM网络中,主要有ATM接入交换机和骨干交换机。接入交换机用于将各种业务(如帧中继、局域网、窄带ISDN用户交换机以及ATM信元业务等)接入到ATM网络中。通过AAL层功能将业务数据适配到ATM信元中,完成统计复用功能。公用网骨干交换机通常仅提供ATM标准接口,主要完成UNI、NNI和B-ICI接口的功能及信令。和专用网骨干交换机相比,公用网骨干交换机应有更强的包括带宽管理在内的功能,以适应公用网计费和管理的要求,且容量也要大得多,通常在80Gb/s以上。

- ① ATM物理层接口

虽然ATM源于低差错率的高速光纤链路,但是光纤不是用于ATM的唯一物理媒体。它可以采用现行网络的各种传输媒体,例如双绞线或者同轴电缆。

- SDH接口

SDH接口用于光纤骨干网,它以SDH传输帧为基本结构将信元流映射到SDH净荷内。SDH的基本帧为STM-1,多个STM-1帧可以多路复用为高速信号,STM-N信号就是以N倍STM-1速率传输的信号,它携带N倍STM-1帧信息容量。目前,基于SDH传输方式有两种接口用于ATM网,即STM-1和STM-4,它们的速率分别是155.52Mb/s和622.08Mb/s。

- PDH接口

PDH接口也是典型的ATM网络物理接口,和原有的传输系统兼容。它以PDH帧为基本结构将ATM信元映射到PDH帧的时隙中。我国常用的PDH接口有两种:E1和E3。E1的速率为2.048Mb/s,E3的速率为34.368Mb/s。它们的线路编码形式为HDB3,传输线是同轴电缆。

- 基于FDDI的4B/5B接口

ATM论坛为专用UNI定义了FDDI物理层的125Mbaud(兆波特)多模光纤接口。此接口的物理媒介子层采用4B/5B线路编码,速率为100Mb/s,线路编码形式为非归零(NRZ)编码。这种4B/5B编码接口没有帧加载于物理链路中,即4B/5B没有帧结构,因此在信元传输方式上,不是将一组信元装在帧结构中进行传输的,而是从起始信元开始逐个传输的,

因此称 4B/5B 编码的接口为基于信元的接口。

（5）流量控制与拥塞控制

由于 ATM 网络内传送的业务种类繁多，使得对业务流量的预测更加困难。另一方面，ATM 网内的信息速率很高，网络的拥塞和故障对业务质量的影响更为严重，甚至造成网络的瘫痪。因此对 ATM 网络的流量控制和拥塞控制的研究显得尤为重要。

处理 ATM 网络的拥塞问题应采用两种方法：一是采取措施防止网络拥塞，也就是采用流量控制技术；二是采取措施减少已拥塞时的拥塞程度，即减少拥塞时间以及防止拥塞扩散，直至拥塞的消失，也就是采用拥塞控制技术。

① 流量控制

ATM 流量控制包括基本的流量控制功能和附加的流量控制功能。

基本流量控制技术采用两种方法：呼叫接纳控制（Call Admission Control, CAC）和用法参数控制（UPC/NPC）。CAC 方式是对正在进行呼叫建立的连接进行资源查询，若网络满足 QoS，则接受呼叫并分配资源，否则拒绝该次呼叫连接。UPC/NPC 方法是对已建立连接的业务进行监视，当发现违约时，丢弃信元。

附加的流量控制功能有优先级控制（CLP Control）、业务流整形（Traffic Shaping, TS）、网络资源管理（Network Resource Management, NRM）、反馈控制（Feedback Control, FC）等及其组合，可以支持和补充 CAC 和 UPC/NPC 的操作。

• CAC

由于 ATM 网络中的业务比较复杂，所以对于 ATM 的业务量控制首先采取一种预防思想的连接允许控制，简称 CAC。对用户“车辆上路”的申请，CAC 机制检查“道路”的资源，判断“道路”是否可以满足这一新的用户申请的服务质量，而不使其他用户受到影响，对于不可接受的申请就拒绝这一请求，以免已有用户受到干扰。

连接接纳控制（CAC）位于交换机内部，它是在呼叫建立阶段，网络决定是否接纳这一呼叫而采取的一系列行动。它的任务是调查资源，并根据这些资源和源流量参数及要求的服务质量等级进行计算，决定是否接纳这一呼叫。

根据用户申请中提出的要求，把这些参数都输入到 CAC 算法当中，CAC 算法综合考虑这些参数要求。连接允许控制建立在资源分配的基础上。对于一个呼叫，CAC 算法综合考虑网络中的中继线带宽资源、队列的存储资源及交换机的处理资源等。由于实现 CAC 全部的初衷有一定的难度，所以现在的厂商往往仅做带宽资源的计算，而且仅考虑简单的几个参数。

• UPC/NPC 功能

并不是每个人都会遵守交通规则，对于违章事件需要由警察来监督，一旦发现违章者，警察要对违章者进行教育批评和处罚。ATM 网络中也是一样，用户和网络达成协议后并不是每个用户都会时刻遵守，会有用户违反协议。对此在 ATM 中建立了一种监督处罚机制：在网络入口处由网络实时监视流入的信元流是否违反了协议，违反时立即丢弃违约的

信元，或者由网络对违约信元加上标记再向网内转发。网内根据情况，当网络发生拥塞时将标记的信元丢弃。这种机制称作用户/网络参数控制（UPC/NPC）。在用户网络接口（UNI）处称作 UPC，在网络节点接口（NNI）处称作 NPC。UPC 机制对于 VP 和 VC 的算法是相同的。由于 VC 的数量远远大于 VP 的数量，所以有时只选择对 VP 进行 UPC 控制，这种选择是由用户控制的。

- 业务流整形

业务流整形的目的是改善（或平滑）VPC 或 VCC 连接上信元流的业务特性，以降低信元峰值速率，限制突发信元流的持续时间。经过整形后的业务流消除了时延抖动，从而可更好地满足服务要求。对于 ATM 端设备，业务流整形是为了实现指定 VPC 和 VCC 连接上信元流特性。对于专用 ATM 交换设备，则是为了改善信元流的特性。业务流整形不仅可以使线路利用率更加平稳，各类业务更加公平地传输，而且还可提高业务（尤其是实时业务）质量。

- 优先级控制

ATM 信元头部有一信元丢失优先级（CLP）字段，是指在网络发生拥塞时该信元被丢弃的优先级。0 为高优先级，1 为低优先级。对于高优先级信元，网络应分配足够的资源，保证其可靠地按时到达；对于低优先级信元，如果网络发生拥塞，必要时可以丢弃。

如果网络侧选用优先级控制功能，那么在 CLP=0 业务流上由 UPC/NPC 控制所识别出的不一致的 CLP=0 的信元被转换成 CLP=1 的信元，并与原 CLP=1 的业务流合并。对已合并的 CLP=1 的业务流，由 UPC/NPC 将不一致的信元丢掉。

- ② 拥塞控制

拥塞是一种不正常的状态，在这种状态下，用户提供给网络的净荷接近或超过了网络的设计极限，从而不能保证流量合同中规定的业务质量（QoS）。这种现象主要是因为网络资源受限或突然出现故障所致。造成 ATM 拥塞的网络资源一般包括交换机输入输出接口、缓冲器、传输链路、ATM 适配层处理器和呼叫接纳控制器（CAC）。发生拥塞的资源也称为瓶颈或拥塞点。拥塞的产生会使网络性能下降，甚至导致网络瘫痪。尤其是在高速宽带网中，对拥塞的反应要求更加迅速，力争将拥塞控制在入口处。

- 拥塞控制的分类

根据拥塞程度不同，可以将拥塞控制方法分为拥塞管理、拥塞回避和拥塞恢复三个层次。

拥塞管理工作在非拥塞区域，其目的是确保网络净荷不要进入拥塞区域。这种机制包括资源分配，丢弃型用户参数控制（UPC），完全预约或绝对保证的呼叫接纳允许控制（CAC）以及网络工程。

拥塞回避是一组实时的控制机制，它可在网络过载期间避免拥塞和从拥塞中恢复。例如某些节点或链路出故障时，就需要这种机制。拥塞回避程序通常工作在非拥塞区域和轻度拥塞区域之间，或整个轻度拥塞区域。拥塞回避机制包括前向拥塞通知（ECN）、UPC、

过预约 CAC、阻塞式 CAC、基于窗速率信誉的流量控制。

拥塞恢复程序可以避免降低网络已向用户承诺的业务质量。当网络因拥塞开始经受严重的丢失或急剧增加时延时，应启动该拥塞恢复程序。拥塞恢复包括选择性信元废弃、UPC 参数的动态设置、由严重丢失驱动的反饋或断开连接等。

- 拥塞控制措施

当网络发生拥塞时，通常采取以下 3 种措施。

- 选择性信元丢弃。当网络发生拥塞时，即使业务流遵守约定，也要丢弃信元，防止网络拥塞程度升级和扩散，以便网络恢复正常。但信元丢弃并不是对所有信元，而是根据信元丢弃优先级（CLP）有选择的丢弃。网络资源一旦出现危机，网络首先丢弃低优先级（CLP=1）信元，如还无法缓解拥塞，再丢弃高优先级（CLP=0）信元。
- 显示拥塞指示。显示拥塞指示分为前向和后向两种。当网络节点发现处于或即将处于拥塞时，就会在信头设置拥塞指示位，并向目的终端或信源发送拥塞指示。目的终端监视拥塞指示，向信源回送拥塞指示信元。信源收到拥塞指示后，利用高层功能降低信元接收或发送速率，以达到消除拥塞的目的。
- UPC/NPC 故障时的措施。当网络发生拥塞时，对 UPC/NPC 发生故障的链路进行隔离，限制链路上的信元流进入网络。

8. Internet 网

Internet 又称国际互联网，是当今世界上规模最大、用户最多、影响最广泛的计算机互联网络。

（1）Internet 概述

Internet 不隶属于某一个国家或集团有具体的网络结构，而是由遍布世界的广域网、局域网、公用网、专用网，校园网、企业网、以太网、令牌环网、有线网、无线网等形形色色的计算机网络通过运行 TCP/IP 协议栈，经网关和路由器互连所构成的全球范围的计算机互联网络。从网络通信的观点来看，它是一个以 TCP/IP 协议把各个国家、各个部门、各个机构的内部网络连接起来的数据通信网；从信息资源的角度来看，它是一个集各个部门、各个领域内各种信息资源为一体的信息资源网；从技术实现的角度来看，它是一个“网络的网络”（网际网），实际上是由许多网络（包括局域网、城域网和广域网）互联而构成的。现在 Internet 已经是全球最大、最流行的计算机资源网，覆盖了世界上近 200 个国家和地区，为上千万的网络用户提供涉及各个领域的信息资源共享。

Internet 的组成包括硬件、软件两大部分。其中硬件包括：终端设备、路由器和通信线路，软件是指能够提供的信息资源。

① 主机：主机是 Internet 中不可缺少的组成部分，是信息资源和服务的载体。根据在 Internet 中所起的作用及地位，主机可分为两类，即服务器和客户机。

② 路由器：路由器是 Internet 中最为重要的设备，它实现不同网络之间的互联，是网

络之间连接的桥梁。当数据从一个网络传输到路由器时，路由器根据数据所要到达的目的地，为其选择一条最佳路径，即指明数据应该沿着哪个方向传输。数据从源主机出发通常需要经过多个路由器才能到达目的主机，所经过的路由器负责将数据从一个网络送到另一个网络，数据经过多个路由器的传递，最终被送到目的网络。

③ 通信线路：通信线路是 Internet 中数据包传送的“公路”，各种各样的通信线路将 Internet 中的路由器、主机等连接起来。Internet 中的通信线路归纳起来主要有两类：有线线路（如光缆、铜缆、双绞线）和无线线路（如卫星、微波、无线电等）。

④ 信息资源：用户使用 Internet 的目的就是共享网络能够提供的信息资源，在 Internet 中的信息资源的种类非常丰富，主要包括文本、声音、图像和视频等多种信息类型。早期的信息资源主要以文本信息为主，随着网络技术的发展，通信线路的改造，需要大的传输带宽的语音、图像和视频业务正在逐步增多。

(2) Internet 网络标准——TCP/IP

TCP/IP 是当今计算机网络最成熟、应用最广泛的互联技术，它拥有一套完整而系统的协议标准。虽然 TCP/IP 不是国际标准，但它是为全世界广大用户和厂商接受的事实标准。

① TCP/IP 分层模型

TCP/IP 与开放系统互连 OSI 模型一样，也采用分层体系结构，但是它与 OSI 模型是不同的，OSI 模型来自于标准化组织，而 TCP/IP 则不是人为制定的标准，而是产生于 Internet 网的研究和应用实践中。TCP/IP 完全撇开了网络的物理性，“网络”是一个高度抽象的概念，即将任何一个能传输数据分组的通信系统都看做网络。这种概念为协议的设计提供了极大的方便，大大简化了网络互联技术的实现，为 TCP/IP 赋予了极大的灵活性和适应性。

TCP/IP 共分四层。与 OSI 七层模型相比，TCP/IP 没有表示层和会话层，这两层的功能由最高层——应用层提供。同时，TCP/IP 分层协议模型在各层名称定义及功能定义等方面与 OSI 模型也存在着差异，如图 3-3-12 所示。

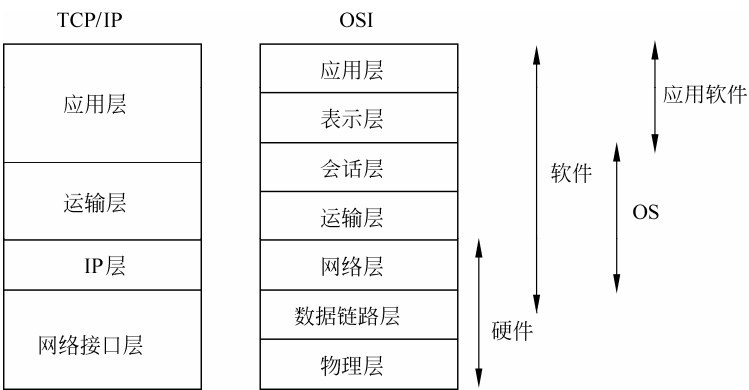


图 3-3-12 TCP/IP 与 OSI 协议分层结构

TCP/IP 的主要特点如下：

- 可靠性。TCP/IP 采用重新确认的方法保证数据的可靠传输，并采用“窗口”流量控制机制得到进一步保证。
- 安全性。为建立 TCP 连接，在连接的每一端都必须与该连接的安全性控制达成一致。IP 协议在它的控制分组头中有若干字段允许有选择地对传输的信息实施保护。
- 灵活性。TCP/IP 要求下层支持该协议，而对上层应用协议不做特殊要求。因此，TCP/IP 的使用不受传输媒体和网络应用软件的限制。

② TCP/IP 模型各层功能

• 应用层

TCP/IP 应用层为用户提供访问 Internet 的一组应用高层协议，即一组应用程序，例如 FTP、Telnet 等。应用层的作用是对数据进行格式化，并完成应用所要求的服务。数据格式化的目的是便于传输与接收。

• 传输层

TCP/IP 传输层的作用是提供应用程序间（端到端）的通信服务。该层提供了两个协议：传输控制协议（TCP）负责提供高可靠的数据传送服务，主要用于一次传送大量报文，例如文件传送等；用户数据报协议（UDP）负责提供高效率的服务，用于一次传送少量的报文，例如数据查询等。

• IP 层

TCP/IP 网络层的核心是 IP 协议，同时还提供多种其他协议。IP 协议提供主机间的数据传送能力，其他协议提供 IP 协议的辅助功能，协助 IP 协议更好地完成数据报文的传送。

IP 层的主要功能有三点：

- 处理来自运输层的分组发送请求。收到请求后，将分组装入数据报，填充报头，选择路由，然后将数据报发往适当的网络接口。
- 处理输入数据报。首先检查输入的合法性，然后进行路由选择。假如该数据报已到达目的地（本机），则去掉报头，将剩下的部分（即运输层分组）交给适当的传输协议；假如该数据报未到达目的地，则转发该数据报。
- 处理差错与控制报文。处理路由、流量控制、拥塞控制等问题。

• 网络接口层

网络接口层是 TCP/IP 协议软件的最低一层，主要功能是负责接收 IP 分组，并且通过特定的网络进行传输，或者从网络上接收物理帧，抽出 IP 数据报，上交给 IP 层。

③ TCP/IP 协议簇

TCP/IP 以其两个主要协议，传输控制协议（TCP）和网际协议（IP）而得名，实际上是一组协议，包括多个具有不同功能且互为关联的协议。TCP/IP 是多个独立定义的协议集合，因此也被称为 TCP/IP 协议簇，如图 3-3-13 所示。

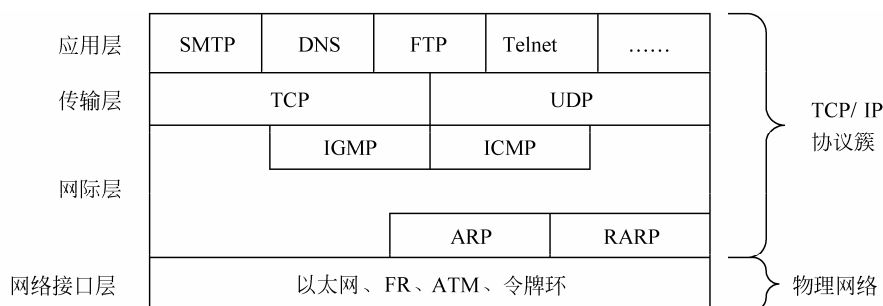


图 3-3-13 TCP/IP 协议簇

- 网络接口层协议

网络接口层协议主要负责向网络媒介发送 TCP/IP 数据包并从网络媒介接收 TCP/IP 数据包。事实上, TCP/IP 没有真正定义这一部分, 只是指出了主机必须使用某种协议与网络连接, 以便能在其上传递 IP 分组。TCP/IP 支持的网络接口类型包括: 标准以太网、令牌环、ATM、FR、点对点协议 (PPP)、串行线路网际协议 (SLIP) 等。

- 网际层协议

网际层中协议非常多, 包括用于数据传输和路由选择的各种协议, 例如边界网关协议 (Border Gateway Protocol, BGP)、外部网关协议 (Exterior Gateway Protocol, EGP)、开放式最短路径优先 (Open Shortest Path First, OSPF)、路由信息协议 (Routing Information Protocol, RIP) 等, 以及组播协议和多协议标签交换 (Multi-Protocol Label Switching, MPLS), 而 IP 只是 TCP/IP 协议簇中的一个协议, 是网际层上的核心协议。

网际协议 (Internet Protocol, IP) 是一种无连接的协议, 它负责把传输层发送来的消息封装成 IP 数据包, 通过路由选择算法确定一条最佳路径, 并完成数据转发、最终将数据发往网络中的目标端。IP 协议规定了一个统一的 IP 数据包格式, 以消除各通信子网的差异, 这样即使采用不同物理技术的网络也可在网络互联层上达到统一。

与 IP 配套使用的还有三个协议: 地址解析协议 (Address Resolution Protocol, ARP)、反向地址解析协议 (Reverse Address Resolution Protocol, RARP)、网际控制报文协议 (Internet Control Message Protocol, ICMP)。

ICMP 为 IP 提供差错报告。由于 IP 是无连接的, 且不进行差错检查, 当网络发生错误时 IP 不能检测错误。ICMP 的责任是向发送 IP 数据包的主机汇报错误。

ARP 用于获取主机或节点的 MAC 地址 (物理地址) 并创建一个本地数据库以将 MAC 地址映射到主机 IP 地址上。IP 地址是在网络层标识主机的一种逻辑地址, 而数据在物理网络上传输时需要使用物理地址, 这样就存在把逻辑地址变换成物理地址的地址转换问题。ARP 解决的是如何将 IP 地址映射到 MAC 地址上, RARP 的作用则是将 MAC 地址转换成 IP 地址。

Internet 组管理协议（Internet Group Management Protocol, IGMP）是用于管理因特网多播组成员的一种通信协议。它运行于主机和多播路由器之间，使一个物理网络上的所有多播路由器知道主机当前所在的多播组，以便多播路由器能够正确转发多播数据报。

- 传输层协议

传输控制协议（Transmission Control Protocol, TCP）是整个 TCP/IP 协议簇中最重要的协议之一。它在 IP 提供的不可靠数据服务的基础上，为应用程序提供了一个可靠的、面向连接的、全双工的数据传输服务。TCP 采用“带重传的肯定确认”技术来实现传输的可靠性。TCP 还可以识别重复的信息，丢弃不需要的多余信息，使网络环境得到优化。如果发送方传送数据的速率远远快于接收方接收数据的速率，TCP 可以采用数据流量控制机制减慢数据的传送率，协调发送方和接收方的数据响应速率。

用户数据报协议（User Datagram Protocol, UDP）是一种无连接传输协议，它为网内或互联网上的两个用户提供高效率的数据传输服务。UDP 无法保证传输的重复和差错，只能提供不可靠的服务，但是它的开销少，适用于一次通信只需要传输少量报文的情况。

在 Internet 中，一个节点可以同时运行几个采用 TCP/IP 协议的应用进程，这时需要将该节点上的若干特定应用进程相互分开。为此，TCP、UDP 提出端口（Port）的概念，用于标识通信进程。这里，端口相当于 OSI 的传输层服务访问点（TSAP），是应用进程访问传输服务的入口。这样，在 Internet 中从一个节点向另一个节点发送消息，需要 3 种不同的地址：硬件地址（MAC 地址），用于唯一地表示网络上的一个节点；IP 地址，用于指定节点所连的网络；端口地址，用于唯一地标识产生数据消息的特定应用协议或应用进程。

- 应用层协议

在 TCP/IP 中，应用层的协议相当的多，最常用的就是 DHCP、DNS、FTP、TFTP、HTTP、SMTP、POP3、Telnet 等协议。

动态主机配置协议（Dynamic Host Configuration Protocol, DHCP）用来分配 IP 地址，并提供启动计算机的其他信息。DHCP 采用动态指定 IP 地址和配置参数的机制，主要用于大型网络环境和配置比较困难的情况。

域名系统（Domain Name System, DNS）提供网络设备名字到 IP 地址的转换。DNS 是一个分布式数据库，有不同的组织分层维护。每个 IP 网络的运营公司都有许多主 DNS 服务器，它可将客户机指向更具体的服务器。

文件传输协议（File Transfer Protocol, FTP）是 Internet 最早、最重要的网络服务之一，它的主要作用是在不同计算机系统间传送文件，而与这两台计算机所处的位置、连接的方式以及使用的操作系统无关。

简单文件传输协议（Trivial File Transfer Protocol, TFTP）是用来在客户机与服务器之间进行简单文件传输的协议，提供不复杂、开销不大的文件传输服务。TFTP 协议针对无需复杂交互的传输应用而设计，比 FTP 协议要简单得多。

超文本传输协议（Hyper Text Transfer Protocol, HTTP）是万维网（World Wide

Web, WWW)可靠地传送文本、声音、图像等各种多媒体文件所使用的协议,用于从 WWW 服务器传输超文本到本地浏览器。

简单邮件传输协议 (Simple Mail Transfer Protocol, SMTP)负责 Internet 上邮件的传送。SMTP 仅处理邮件从服务器到服务器之间的传送,不负责处理将邮件送至电子邮件的最终客户。

邮局协议 3 (Post Office Protocol Version 3, POP3)用于电子邮件的接收。该协议允许用户把邮件从服务器存储到本地计算机上,同时删除邮件或把邮件保存到服务器上。

远程登录协议 (Telecommunications Network, TELNET)是 Internet 远程登录服务的标准协议。使用 TELNET 协议可以在本地用户的计算机与远程主机之间建立一条 TCP 连接,用户输入的每个字符都会传送到远程主机,远程主机输出的内容也会传回用户计算机并显示在屏幕上。实际上,本地用户的计算机变成了远程主机系统的一个虚拟终端。

简单网络管理协议 (Simple Network Management Protocol, SNMP)提供了监视和控制网络设备以及管理诸如配置、统计、性能和安全的手段。

(3) Internet 的地址及域名

在计算机技术中,地址是一种标识符,用于标识系统中的某个对象,不同的物理网络技术有不同的编址方式。对于地址,首先的要求是唯一性,即在同一系统中一个地址只能对应一台主机(一台主机则不一定对应一个地址)。

① 硬件地址

在局域网中,硬件地址又称为物理地址或 MAC 地址,是一种 48b 的全球地址。MAC 地址固化在计算机网卡的 ROM 中,通常用十六进制数来表示。

② IP 地址

IP 地址是给每个连接在 Internet 上的主机(或路由器)分配一个在全世界范围是唯一的 32b 的标识符。IP 地址现在由因特网名字与号码指派公司 (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers, ICANN) 进行分配。我国用户可向亚太网络信息中心 (Asia Pacific Network Information Center, APNIC) 申请 IP 地址。

IP 地址是 IP 网络中数据传输的依据,它标识了 IP 网络中的主机与网络的连接。如果一台主机有多个网络接口,则要为其分配多个 IP 地址。同一主机上多个接口的 IP 地址没有必然的联系,所以,IP 地址并不是标识一台机器,而是标识一台主机与网络的连接。一台主机可以有多个 IP 地址。

IP 地址由 32b,即 4 个字节构成。例如一个采用二进制形式的 IP 地址是“00001010000000000000000000000001”,这么长的地址人们处理起来太费劲。为了方便人们的使用,IP 地址经常被写成十进制的形式,将每 8b 的二进制数转换为十进制数,中间使用符号“.”分开不同的字节。于是,上面的 IP 地址可以表示为“10.0.0.1”,IP 地址的这种表示法叫做“点分十进制表示法”。

IP 地址由两部分组成:一部分为网络地址,另一部分为主机地址。由于世界上各种网

络的差异很大，有的网络有很多主机，而有的网络上的主机则很少，因此将 IP 地址分为 A、B、C、D、E5 类（如图 3-3-14 所示），可以很好地满足不同用户的要求。

A类	0	网络地址（7 b）							主机地址（24b）																
B类	1	0	网络地址（14b）														网络地址（16b）								
C类	1	1	0	网络地址（21b）													主机地址（8b）								
D类	1	1	1	0	多播地址（28b）																				
E类	1	1	1	1	0	保留地址（27b）																			

图 3-3-14 IP 地址类型

- A 类地址：地址的最高位为“0”，随后 7 位为网络地址，表示的 IP 地址范围为 0.0.0.0~127.255.255.255，10 和 127 为特殊地址，127 为本机测试保留，10 作为私有地址保留，每一个 A 类地址可容纳近 1600 万个主机。
- B 类地址：地址的最高两位为“10”，随后的 14 位为网络地址，共有 16384 个不同的 B 类网络，范围为 128.0.0.0~191.255.255.255。每一个 B 类网络可容纳 65 536 台主机。
- C 类地址：地址的前 3 位为“110”，随后的 21 位为网络地址，共有 8192 个 C 类网络，范围为 192.0.0.0~223.255.255.255。每一个 C 类网络可以容纳 256 台主机。
- D 类地址：地址的前 4 位为“1111”，用于组播，范围为 224.0.0.0~238.255.255.255。
- E 类地址：保留，范围为 240.0.0.0~247.255.255.255。

在使用 IP 地址的时候，还要知道以下地址是保留作为特殊用途的，一般不使用。全 0 的网络号码表示“本网络”或者“我不知道号码的这个网络”；全 1 的网络号码，全 0 的主机号，表示该 IP 地址就是网络的地址；全 1 的主机号表示广播地址，即对该网络上所有的主机进行广播；全 0 的 IP 地址，网络号以 127 开头的地址，这样的网络号码用作本地软件进行回路测试。

③ 子网编址

20 世纪 80 年代，随着局域网的流行，如果按传统分类编址方式为每个物理网络分配一个独特的前缀，那么会迅速耗尽地址空间，因此人们开发了一种地址扩展来保存网络前缀，这种方法称为子网编址（Subnet Addressing），它允许多个物理地址共享一个前缀。

子网划分用来把一个单一的 IP 网络地址划分成多个更小的子网（Subnet）。这种技术可使一个较大的分类 IP 地址能够被进一步划分。子网划分基于以下原理。

- 在客观实际中，大多数网络中的主机数在几十台至几百台，即使采用 B 类地址也

是绰绰有余。而 A 类地址中允许每个网络中的主机数高达 ($2^{24}-2$) 台, 一般只能用于为数很少的特大型网络。为了充分利用 Internet 的宝贵地址资源, 采用将主机地址进一步细分为子网地址和主机地址, 即主机属于子网, 以便有效地提高 Internet 地址资源的利用率。

- 采用子网划分和基于子网的路由选择技术, 能够有效降低路由选择的复杂性, 提高选路的灵活性和可靠性。

子网划分的方法为把 IP 地址划分为网络地址+子网地址+主机地址, 即网络地址部分不变, 原主机地址划分为子网地址和主机地址。

采用子网编址技术, 便于分级管理和维护, 因而可使 Internet 具有最大的可靠性、灵活性和适应性。

划分了子网以后, 为了区分子网号字段和主机号字段, 提出了采用子网掩码的概念。子网掩码由一连串的“1”和一连串的“0”组成。“1”对应于网络号和子网号字段, 而“0”对应于主机号字段。只要将子网掩码和 IP 地址进行逐比特的“与”运算, 就立即得出网络地址来。因此, 根据 IP 地址即可判断它是 A 类、B 类或 C 类地址中的哪一类, 而子网掩码则指出子网号和主机号的分界线。

④ 域名

Internet 采用了 IP 地址来统一编址, 实现全网通信, 然而 IP 地址全是数字代码, 对用户而言, 既不直观又不方便。为了使用方便, 因特网在 IP 地址基础上, 提供了一种面向用户的主机名字制, 即域名系统 (Domain Name System, DNS)。主机名相对于 IP 地址, 是一种更为高级的地址形式。

- 域名系统的命名机制

因特网中最初采用无层次命名机制。1984 年后, 采取了层次结构的命名机制——域名系统。域名系统是一个分布式的主机信息数据库, 结构类似于计算机中的文件系统。整个数据库是一个倒立的树型结构, 顶部是根, 根名为空标记“”, 但在文本格式中写成“.”, 如图 3-3-15 所示。

树中的每一个结点代表整个数据库的一个部分, 也就是域名系统的域。所谓“域”是指由地理位置或业务类型而联系在一起的一组计算机构成的一种集合, 一个域内可以容纳多台主机。域可以进一步划分成子域。每个域都有一个域名, 定义它在数据库中的位置。在域名系统中, 所有主机由域名 (Domain Name) 来标识, 而域名由字符和 (或) 数字组成, 用于替代主机数字化的 IP 地址。域名全称是从该域名向上直到根的所有标记组成的串, 标记之间由“.”分隔。

在域名系统中, 每个域可以由不同的组织进行管理, 每个组织可以将其管理的域再分成若干个子域, 并把这些子域给其他组织管理。例如因特网的网络信息中心 NIC 负责管理

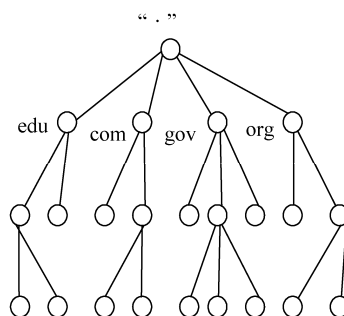


图 3-3-15 域名系统结构示意图

edu 域，但是它将子域 Berkeley-edu 授权给 Berkeley 大学管理。

网络上的每台主机都有域名，指向和主机相关的信息，例如 IP 地址、E-mail 路由等。在域名系统中，主机名字的结构层次一般有三层或四层。第一层名字称为域名，它有两种模式，组织模式（按组织划分）和地理模式（按地理位置划分）。第二层为组名，第三层为本地名，第四层为用户名。因此一个典型的主机名字如下：

本地名 · 组名 · 域名

或者

用户名 · 本地名 · 组名 · 域名

Internet 为保证其域名系统的通用性，规定了一组正式的通用标准符号，作为第一级域的域名。如：.com 表示商业组织；.edu 表示教育机构；.gov 表示政府部门；.info 表示提供信息服务的实体；.int 表示国际组织；.mil 表示军事部门；.net 表示网络运行和服务中心；.org 表示非商业组织。

上述域名是按组织模式划分，此外还可以按地理模式进行划分。组织模式就是按管理组织的层次结构划分域的方式，地理模式是按国别地理区域划分域的方式，例如：cn 表示中国；.uk 表示英国；.us 表示美国；.fr 表示法国；.ca 表示加拿大等。

- 域名解析

用人们熟悉的自然语言去标识一台主机的域名，自然要比用数字型的 IP 地址更容易记忆。但是主机域名不能直接用于 TCP/IP 协议的路由选择之中。当用户使用主机域名进行通信时，必须首先将其映射成 IP 地址。因为 Internet 通信软件在发送和接收数据时都必须使用 IP 地址，这种将主机域名映射为 IP 地址的过程叫作域名解析。DNS 能够透明地完成此项工作。

DNS 是一个联机分布式数据库系统，采用客户机/服务器模型。进行域名查询的机器运行客户软件，称为域名解析器。在专门设立的计算机上运行域名服务程序，称为域名服务器，它负责管理、存放当前域的主机名和 IP 地址的数据库文件，以及下一级子域的域名服务器信息。同域结构对应，域名服务器从逻辑上也呈树状分布。每个域都有自己的域名服务器。最高层为根域名服务器，它通常包含了第一级域名服务器的信息。

每当一个用户应用程序需要转换对方的域名为 IP 地址时，它就成为域名系统的一个客户。客户首先向本地域名服务器发送请求，本地域名服务器如果找到相应的地址，就发送一个应答信息，并将 IP 地址交给客户，应用程序便可以开始正式的通信过程。如果本地域名服务器不能回答这个请求，还可以通过继续访问其他的域名服务器找到并解析出该地址。

（4）IPv6

目前 Internet 使用的是 IP 协议第 4 版本，即 IPv4。IPv4 的地址长度是 32 位，理论上可以支持多达 1600 万个网络，容纳四十多亿台主机。但由于 IPv4 对地址进行了分类，分成 A、B、C 等类地址，实际可用的网络数和主机数远小于上述数目。随着 IP 业务的爆炸式增长，因特网上的 IP 地址已经不能满足实际的需要，此外现有 IP 网络协议还存在安全问题，因此迫切需要有新的 IP 协议来代替现有的 IP 协议。

IPv6 是为了解决现行 Internet 出现的问题而诞生的,从根本上解决了 IPv4 网络潜伏着地址枯竭和路由表急剧膨胀的两大危机。IPv6 继承了 IPv4 的优点,并根据 IPv4 多年来运行的经验进行了大幅度的修改和功能扩充,比 IPv4 的处理性能更加强大、高效。

① IPv6 的特点

对比 IPv4, IPv6 具有以下较为显著的优势。

- 极大的地址空间。IPv6 将地址长度由原来的 32 b 扩充到 128 b,使地址空间扩大了 2^{96} 倍,彻底解决 IPv4 地址不足的问题;支持分层地址结构,更易于寻址;扩展支持组播和任意播地址,使得数据报可以发送给任何一个或一组节点。
- 灵活的报头格式。IPv6 数据报报头格式比较 IPv4 做了很大的简化,有效地减少路由器或交换机对报头的处理开销。同时加强了对扩展报头和选项部分的支持,并定义了许多可选的扩展字段,可以提供比 IPv4 更多的功能,使转发更为有效,并对将来网络加载新的应用提供了充分的支持。
- 即插即用的联网方式。IPv6 具有自动将 IP 地址分配给用户的功能,只要设备一连接到网络上便可自动设定地址。
- 实现 IP 层网络安全。IPv6 要求强制实施 Internet 安全协议 IPSec,并已将其标准化。IPSec 支持验证头协议、封装安全性载荷协议和密钥交换 IKE 协议。这 3 种协议将是未来 Internet 的安全标准。
- 支持资源分配

IPv6 在报头中增加了流标识字段,使得源端可以请求对分组进行特殊的处理。这种机制可以支持实时音频和视频等多媒体类型的通信。

② IPv6 地址

在 IPv6 中,每个地址占 128 位,是 IPv4 地址长度的 4 倍。大的地址空间使 IPv6 能适应各种地址分配策略。

IPv6 地址采用“冒号十六进制”(Colon Hexadecimal Notation)表示法,它将 128 位的地址分为 8 个段,每段 16 位,每段的 16 位用 4 个十六进制数字表示,段与段的十六进制数用冒号分隔开来,例如 3ffe:0000:0000:0000:a2b3:0000:0000:dc69。

IPv6 共定义了三种地址类型,分别占用不同的地址空间。

- 单播地址 (Unicast Address): 这种类型的地址是单个接口的地址。发送到一个单播地址的信息包只会送到地址为这个地址的接口。
- 多播地址 (Multicast Address): 这种类型的地址是一组接口的地址,发送到一个多播地址的信息包会发送到属于这个组的全部接口。
- 任播地址 (Anycast Address): 这种类型的地址是一组接口的地址,发送到一个任播地址的信息包只会发送到这组地址中的一个(根据路由距离的远近来选择)。

③ IPv6 数据报

IPv6 数据报的格式如图 3-3-16 所示。最前面是基本报头，其后有可选的 0 个或多个扩展报头，后面是数据区。



图 3-3-16 IPv6 数据报的一般形式

IPv6 基本报头的长度为 40B，其中不少字段和 IPv4 报头中的字段意义相同。IPv6 扩展报头与 IPv4 的选项相似，通过使用某些可选的扩展报头指明源站希望对数据报进行的某些特殊处理。

与互联网发展进程中涌现出的其他技术概念相比，IPv6 遇到的争议可以说是最少的，人们早已形成共识，那就是 IPv6 最终取代 IPv4 是大势所趋。但是，因为因特网上的系统非常多，所以从 IPv4 过渡到 IPv6 不可能在一个指定的日期内完成。要使一个因特网的系统从 IPv4 过渡到 IPv6，需要经历很长一段时间，也就是说，在相当长的时期内，IPv4 系统和 IPv6 系统需要共存于因特网中。

3.3.2 考试要点

- (1) 了解数据通信的概念和特点。
- (2) 掌握数据通信网的服务质量指标和服务性能保障机制。
- (3) 了解数据通信网常见的分类方法。
- (4) 理解分组交换的基本原理和技术特点。
- (5) 了解数据报和虚电路的概念及特点。
- (6) 熟悉分组交换网的结构。
- (7) 了解分组交换网中流量控制和拥塞控制的方法。
- (8) 了解 CHINAPAC 的结构。
- (9) 理解 DDN 的特点。
- (10) 熟悉 DDN 的网络结构。
- (11) 了解 CHINADDN 的结构。
- (12) 理解帧中继的特点。
- (13) 了解帧中继网络管理的内容。
- (14) 了解 CHINAFRN 的结构。
- (15) 掌握 ATM 的基本概念和主要特点。
- (16) 了解 ATM 虚连接的类型。
- (17) 理解 ATM 的协议参考模型。

- (18) 了解 ATM 的网络结构, 熟悉 ATM 的主要接口。
- (19) 了解 ATM 流量控制和拥塞控制的方法。
- (20) 了解 Internet 的概念和组成。
- (21) 理解 TCP/IP 分层模型和各层功能。
- (22) 熟悉 TCP/IP 协议簇的主要协议。
- (23) 了解 Internet 中使用的地址。
- (24) 熟悉 IP 地址的概念及分类。
- (25) 理解划分子网的原因以及子网编址的方法。
- (26) 理解域名的概念和域名解析的功能。
- (27) 了解 IPv6 的特点。
- (28) 熟悉 IPv6 地址的结构和类型。

3.3.3 习题集精粹及答案

一、判断题

1. 帧中继网中的交换节点只具有物理层和数据链路层的功能。

【参考答案】×

【分析】帧中继网内的交换节点不需要执行第 2 层的纠错、重发和流量控制, 因此只具有物理层和部分数据链路层的功能。

2. 数据通信中, 分组终端是不具有 X.25 接口的设备总称。

【参考答案】×

【分析】分组终端是具有 X.25 接口的设备总称, 非分组终端是不具有 X.25 接口的设备总称。

3. X.25 网络比帧中继网络更适合于实现局域网的互连通信。

【参考答案】×

【分析】帧中继简化了 X.25 通信协议, 时延小、传输效率高、数据吞吐量大。同时, 帧中继的最大帧长度允许为 1600B, 比 X.25 网的缺省分组长度 128B 长, 特别适合于封装局域网的数据单元, 减少了分段与重组的处理开销。

4. ATM 和 PSTN 中信息传送的最小单位都采用固定长度模式。

【参考答案】√

【分析】PSTN 中信息传送的最小单位是时隙, 它的长度固定为 8b; ATM 中信息传送的最小单位是信元, 它的长度固定为 53B。

5. 虚电路的缺点是当网络中线路或者设备发生故障时, 可能导致虚电路中断, 必须重新建立连接。

【参考答案】√

【分析】虚电路是一种面向连接的数据传输方式, 当虚电路所经过的线路或者设备发

生故障，将导致用户之间的连接中断，通信无法继续进行。

6. 在无连接的分组网络中，数据传输前，不需要在源端和目的端之间先建立通信连接，就可以直接通信。

【参考答案】√

【分析】无连接的分组网络采用的是数据报方式，不需要建立通信连接即可直接传输数据。

二、单项选择题

1. () 是分组型终端和分组交换网之间的接口规程。

- A. X.28 协议 B. X.29 协议 C. X.25 协议 D. X.75 协议

【参考答案】C。

【分析】X.28 协议是非分组型终端和 PAD 之间的接口规程；X.29 协议是 PAD 和分组型终端之间或 PAD 之间的接口规程。X.75 协议是分组交换网之间互连时的网间接口规程。

2. 流量控制是数据通信网采用的服务性能保障机制之一，() 是经常采用的流量控制方法。

- A. 自适应路由选择 B. 滑动窗口机制
C. 重发机制 D. 前向纠错 (FEC)

【参考答案】B。

【分析】数据通信网中经常采用的流量控制方法包括滑动窗口机制、在 Internet 中使用的可变信用量方法、在 ATM 中使用的漏桶算法等。自适应路由选择是实现路由选择的方法。重发机制和前向纠错都是用于进行差错控制的方法。

3. () 可提供较高质量的话音业务，并实现了端到端的数字连接。

- A. PSTN B. 分组交换网 C. 帧中继网 D. ISDN

【参考答案】D。

【分析】上述四类网络中，PSTN 和 ISDN 采用电路交换方式，可提供较高质量的话音业务。分组网和帧中继网采用分组交换方式，主要用于支持数据业务，不适合于传输话音信息。PSTN 在用户-网络接口采用模拟传输，而 ISDN 实现了端到端的数字连接。

4. 在帧中继网络中，信息是以 () 为单位进行传输和交换的。

- A. 时隙 B. 分组 C. 帧 D. 信元

【参考答案】C。

【分析】时隙、分组、信元分别是电路交换网、分组交换网和 ATM 网中信息传输和交换的基本单位。

5. 若一个 IP 地址由 3 个 B 的网络地址和 1 个 B 的主机地址组成，则该地址属于 () 类地址。

- A. A B. B C. C D. D

【参考答案】C。

【分析】在分类的 IP 地址中, A、B、C 三类地址都采用“网络地址+主机地址”的形式, 其中 A 类地址由 1 个 B 的网络地址和 3 个 B 的主机地址组成, B 类地址由 2 个 B 的网络地址和 2 个 B 的主机地址组成, C 类地址由 3 个 B 的网络地址和 1 个 B 的主机地址组成。

6. TCP/IP 模型的网络接口层对应着 OSI 参考模型的层次为 ()。

- A. 物理层 B. 数据链路层 C. 网络层 D. 物理层和数据链路层

【参考答案】D。

【分析】参见图 3-3-12。

7. 在 Internet 中, () 协议是传输层面向连接的协议, 提供可靠的信息传输能力。

- A. ICMP B. UDP C. TCP D. IP

【参考答案】C。

【分析】网际控制报文协议 (ICMP) 和网际协议 (IP) 是 TCP/IP 模型中网络层的协议。传输层协议包括传输控制协议 (TCP) 和用户数据报协议 (UDP), 前者是面向连接的协议, 可以提供可靠的信息传输能力, 后者是无连接的协议, 只能提供不可靠的服务。

8. IPv6 协议的地址长度为 () 字节。

- A. 32 B. 4 C. 128 D. 16

【参考答案】D。

【分析】IPv4 地址的长度为 32b, 即 4B; IPv6 地址的长度是 128b, 即 16B。

三、多项选择题

1. 以下指标中, () 是数据通信网的服务质量指标。

- A. 吞吐量 B. 呼损 C. 丢失率 D. 服务可用性

【参考答案】ACD。

【分析】数据通信网的服务质量指标包括服务可用性、最大传输速率、吞吐量、利用率、时延、抖动、差错率、丢失率等, 而呼损是电话通信网的服务质量指标。

2. 在 Internet 中, () 协议是应用层的协议。

- A. SNMP B. SMTP C. IGMP D. TFTP

【参考答案】ABD。

【分析】在 Internet 中, 简单网络管理协议 (SNMP)、简单邮件传输协议 (SMTP)、简单文件传输协议 (TFTP) 均属于应用层协议, 而 Internet 组管理协议 (IGMP) 是网络层的协议。

3. 以下关于 DDN 网络的描述中, 正确的是 ()。

- A. DDN 采用同步时分复用技术
B. DDN 采用分组交换技术
C. DDN 是可支持任何规程、不受约束的全透明传输网
D. DDN 将检错、纠错等功能放到智能网化程度较高的终端来完成

【参考答案】ACD。

【分析】参见本节 5。DDN 采用数字交叉连接复用设备，对数字电路进行半固定交叉连接和子速率的复用，不具备交换功能。

4. 帧中继在网络发生轻微拥塞情况下，为防止网络性能进一步恶化，使网络恢复正常运行状态，而采取拥塞控制，包括（ ）控制策略。

- A. 全局 B. 局部 C. 终点 D. 源点

【参考答案】CD。

【分析】参见本节 6。

5. 在 ATM 协议参考模型中，采用分层结构的是（ ）。

- A. 面管理 B. 控制平面 C. 用户平面 D. 层管理

【参考答案】BC。

【分析】ATM 协议参考模型由控制平面、用户平面和管理平面组成，而管理平面又分为层管理和面管理两部分。控制平面、用户平面和层管理均采用四层结构，面管理不分层。

四、简答题

1. 数据通信网是如何构成的？目前有哪些类型的数据通信网？

【参考答案】数据通信网由硬件和软件两部分组成。硬件部分包括传输设备、交换设备和终端设备，软件部分是为了支持上述硬件而配置的网络协议等。

目前的数据通信网包括：分组交换网（X.25 网）、数字数据网（DDN）、帧中继网、ATM 网和 IP 网（Internet）。

2. 简述分组交换网组成和各部分的功能。

【参考答案】分组交换网由分组交换机 PS、分组集中器 PCE、分组拆装设备 PAD、网络管理中心 NMC、分组终端和数据传输等基本设备以及相关协议组成。

分组交换机的主要功能为：①为网络的基本业务，即交换型虚电路（SVC）、永久型虚电路（PVC），以及其他网内各种业务提供支持。②在各节点机之间进行路由选择，并进行流量控制，防止网络拥塞，完成交换任务。③实现 X.25、X.75 等多种协议。④执行维护与运行管理、故障报告与诊断、计费统计等功能。

数据终端就是用户使用的通信终端。

分组拆装设备（PAD）是非分组终端接入分组交换网的接口设备。它对待发、待收的信息进行整合，使之满足分组交换网传输及处理的需要。

分组集中器是公用分组网上的末端设备之一，既有交换功能又有集中功能。

网络管理中心（NMC）负责全网的管理、维护和监测，以保证分组交换网正常运行。

3. DDN 的特点有哪些？DDN 网络主要由哪几部分组成？

【参考答案】DDN 的特点有：①传输质量好。②传输速率高，网络延时小。③协议简单，应用灵活。④网络可靠性高，利用率高。⑤ DDN 是同步数据传输网，不具备交换功能。⑥网络运行管理简便。

DDN 网络由数字通道、DDN 节点、网络管理系统和本地传输系统组成。

4. CHINAFRN 网络是如何构成的？

【参考答案】CHINAFRN 依据相关因素分为 3 层，即国家骨干网、省内外和本地网。国家骨干网由各省会城市、直辖市的节点组成，负责汇接、转接骨干节点的业务和省内网、本地网的出口业务；省内网由设置在省内地市的节点组成，提供省内长途电路和出入省的电路；本地网由本地的节点组成，负责转接本地网节点间的业务，提供用户接入业务。

5. 什么是 ATM？它具有哪些技术特征？

【参考答案】ATM 是一种传输模式，在这一模式中信息被组织成固定长度信元，来自某用户一段信息的各个信元并不需要周期性的出现，从这个意义上来说，这种传输模式是异步的。

ATM 的技术特征包括：①以固定长度的信元为传输单位。②采用了统计时分复用、按需动态分配带宽的技术。③采用面向连接并预约传输资源的方式工作。④网络内部取消了差错控制和流量控制。⑤ATM 信元头部功能降低。

6. 比较 TCP/IP 参考模型中的 TCP 传输和 UDP 传输方式的区别。

【参考文献】TCP 是一种面向连接的传输协议，它采用“带重传的肯定确认”技术来实现传输的可靠性。TCP 可以识别重复的信息，丢弃不需要的多余信息，可以采用数据流量控制机制协调发送方和接收方的数据响应速率。

UDP 是一种无连接的传输协议，它无法保证传输的重复和差错，只能提供不可靠的服务，但是它的开销少，适用于一次通信只需要传输少量报文的情况。

7. IPv6 的特点是什么？

【参考答案】IPv6 的特点有：极大的地址空间；灵活的报头格式；即插即用的联网方式；实现 IP 层网络安全；支持资源分配。

3.4 综合业务数字网

3.4.1 基础知识

1. ISDN 的基本概念

1984 年，CCITT 通过了综合业务数字网的 I 系列建议书，其中将 ISDN 定义为：ISDN 是以电话综合数字网（IDN）为基础发展而成的通信网，能够提供端到端的数字连接，支持包括语音和非语音在内的多种电信业务，用户可以通过有限的一组标准多用途用户-网络接口接入这个网络，并按统一的规程进行通信。

由于受当时技术的限制，早期 ISDN 网络所考虑的业务速率最高为 2Mb/s。进入 20 世纪 90 年代后，定义了速率高于 2Mbs、可以用来传送宽带多媒体业务的宽带综合业务数字网（B-ISDN），而将之前定义的 ISDN 称为窄带综合业务数字网（N-ISDN），通常简称为

ISDN。

相对传统的 IDN 网络，ISDN 具有以下三个基本特点：

（1）端到端的数字连接

IDN 将数字传输和数字交换技术综合起来，实现了网络内部的数字化，但在用户入网接口上仍然采用模拟传输。ISDN 在 IDN 的基础上，实现了用户端到交换机之间的数字化传输，从而在包括用户线在内的整个 ISDN 网络中提供了端到端的数字化连接，以数字化形式统一处理各种业务。

（2）综合的业务

ISDN 能够通过一对双绞线为用户提供多种业务，包括电话、数据、传真、图像等，所以又称为“一线通”。从理论上说，任何形式的原始信号，只要能转换成数字信号，都可以通过 ISDN 进行传输和交换，但实际中会受到传输带宽的限制。对于数据传输速率不超过 $N \times 64\text{kb/s}$ ($N=1 \sim 30$) 的业务，可以采用 N-ISDN；对于需要更高数据传输速率的业务，则采用 B-ISDN。

（3）标准的多用途用户-网络接口

ISDN 能够实现综合业务功能的关键在于提供了标准的多用途用户-网络接口（即入网接口）。所谓“多用途”，是指入网接口对各类业务都是通用的，不同的终端可以经过同一个接口接入网络。为了保证 ISDN 用户-网络接口的通用性，ITU-T 统一规定了用户终端设备与网络连接的条件，以及实现连接的用户-网络接口设备和接口标准，从而使不同业务类型、不同厂家生产的 ISDN 终端设备都能按照这些标准连接。就像现在家里墙上的电源插座一样，插座是标准的，所有各种电器都可以插上使用。

2. ISDN 的网络结构及功能

ISDN 的基本结构如图 3-4-1 所示。图中，用户终端设备（TE）通过标准的用户-网络接口接入 ISDN 网络，在该接口上存在分开的信息通道和信令通道。ISDN 网络具有低层（OSI 模型 1~3 层）和高层（OSI 模型 4~7 层）两方面的能力。一般情况下，通信中的高层功能是由终端设备提供的，但是为了支持某些特殊的业务，ISDN 网络也可以提供高层功能。低层功能则由 ISDN 网络提供。

ISDN 网络具有多种功能，包括电路交换、分组交换、无交换连接和公共信道信令功能等。

（1）电路交换功能：指 ISDN 网为用户提供 64kb/s 或大于 64kb/s 的电路交换连接，用户信息以 64kb/s 的速率在网络中进行交换。

（2）分组交换功能：将用户信息分成数据分组在网络内传送。分组交换功能可由 ISDN 自身提供，也可以通过 ISDN 与专门的分组交换公用数据网的网间互联来提供。

（3）无交换连接功能：指不利用 ISDN 网内的交换功能，直接在终端间建立固定或半固定的通信线路的功能，也称为专线功能。

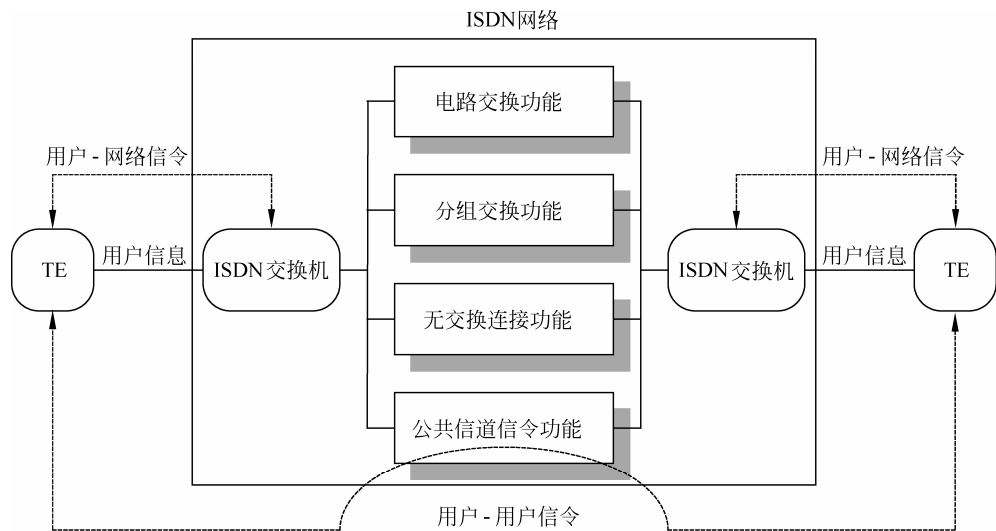


图 3-4-1 ISDN 的网络结构

（4）公共信道信令功能：ISDN 具有三种不同的信令，分别是用户-网络信令、网络内部信令和用户-用户信令。这三种信令的工作范围不同，用户-网络信令是用户终端设备和网络之间的控制信号；网络内部信令是交换机之间的控制信号；用户-用户信令则透明地穿过网络，在用户之间传送，是用户终端设备之间的控制信号。ISDN 的信令统一采用公共信道信令方式，网络内部信令采用 ITU-T 建议的 No.7 信令系统，该信令信号是在与用户信息分开的单独的 64kb/s 数字链路上传送的；用户-网络信令也是在与用户信息分开的 D 信道上传送的。

3. ISDN 用户-网络接口

（1）ISDN 用户-网络接口的参考配置

用户-网络接口是用户设备与通信网之间的接口。为了对 ISDN 的用户-网络接口进行标准化，CCITT 在 I.411 建议中采用功能群和参考点的概念规定 ISDN 用户-网络接口的参考配置，如图 3-4-2 所示。

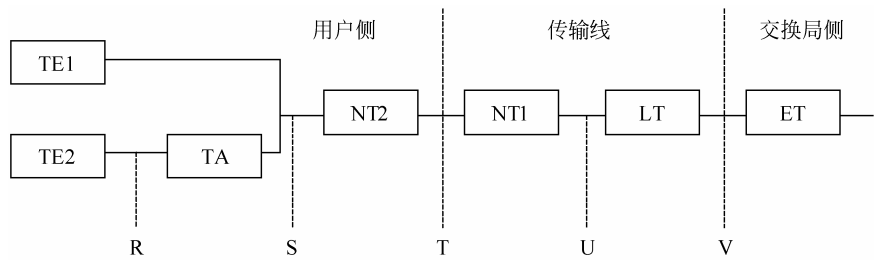


图 3-4-2 ISDN 用户-网络接口的参考配置

参考配置是一种概念性的配置，仅用于规定用户接入 ISDN 的各种可能的安排。其中，功能群表示在 ISDN 用户入口安排中可能需要的一组功能。这些功能可在一个设备中实现，也可在几个设备中完成。参考点（图 3-4-2 中的 R、S、T、U、V）是区分功能群分界的概念性点，它可以是两个设备之间的物理接口，也可以仅仅是一个虚设的点。

根据图 3-4-2 所示的参考配置，用户接入 ISDN 的功能划分成以下几个功能群：

① 类终端设备（TE1）

TE1 是 ISDN 标准终端设备，符合 ISDN 接口标准，例如数字话机和 4 类传真机。

② 2 类终端设备（TE2）

TE2 是非 ISDN 标准终端设备，不遵循 ISDN 接口标准，例如 X.25 数据终端、模拟话机等。

③ 终端适配器（TA）

TA 完成速率适配、协议转换等功能，使 TE2 能够接入 ISDN 的标准接口。

④ 网络终端 1（NT1）

NT1 是 ISDN 网在用户处的物理和电气终端装置，拥有 OSI 第 1 层的功能。NT1 负责把用户终端设备连接到用户线，为用户信息和信令信息提供透明的传输通道。

⑤ 网络终端 2（NT2）

NT2 为智能的网络终端，完成用户-网络接口处 1~3 层的全部功能，具有交换和集中的能力，例如用户小交换机、局域网等。

⑥ 线路终端设备（LT）

LT 是用户线与交换局端的接口设备，实现交换设备和线路传输端的接口功能。

⑦ 交换终端（ET）

ET 指位于交换局侧的程控交换机。

（2）信道类型和接口结构

ISDN 用户-网络接口中有两个重要因素，即信道类型和接口结构。

① 信道类型

信道是提供业务用的、具有标准传输速率的传输通道。信道有两种主要类型：一种类型是用户信息信道，为用户传送各种信息流；另一种是信令信道，它是为了进行呼叫控制而传送的信令信息。在用户-网络接口处，向用户提供的信道有如下类型：

- B 信道：速率为 64kb/s，用来传送用户信息。
- D 信道：速率为 16kb/s 或 64kb/s，用于传送公共信道信令或分组数据和低速的遥控、遥测数据。
- H 信道：用于传送高速的用户信息，例如高速传真、图像、高速数据、高质量音响及分组交换信息等。H 信道有 3 种速率标准，其中 H0 信道速率为 384kb/s，H11 信道速率为 1536kb/s，H12 信道速率为 1920kb/s。

② 接口结构

通过适当地将上述三种信道进行组合应用,可以构成不同的接口结构,它们各自具有在某一特定应用范围内的一些特性。标准化的 ISDN 用户-网络接口结构有两类,一类是基本速率接口,一类是基群速率接口。

- 基本速率接口 (BRI)

BRI 由两个 B 信道和一个 D 信道构成 (即 2B+D), D 信道的速率为 16kb/s, 用户可以利用的最高信息传输速率是 144kb/s。BRI 是 ISDN 最常用和最基本的用户-网络接口,其目的是为了满足不同个人用户的接入需要,允许同时使用话音 (占用一条 B 信道)、高速数据、传真或图像 (占用另一条 B 信道) 业务。用户可以通过一个多功能终端接入,也可以由多个终端共用该接口。

- 基群速率接口 (PRI)

PRI 也叫一次群速率接口,主要面向设有 PBX 或 LAN 等业务量需求较大的用户。PRI 包括 B 信道构成的 23B+D、30B+D 和 H 信道构成的 4H0、3H0+D、5H0+D、H11+D、H12+D 等接口。目前国际上主要采用 23B+D 和 30B+D 两种形式 (这里 D 信道的速率是 64kb/s。), 传输速率分别为 1.544Mb/s 和 2.048Mb/s, 与 PCM 的基群相同。

4. ISDN 的业务种类

ISDN 业务是指由 ISDN 网络和连接在 ISDN 上的终端向用户所提供的通信能力。ISDN 业务分为提供基本传输功能的承载业务、包括终端功能的用户终端业务、在承载业务和用户终端业务基础上提供附加业务性能的补充业务。

(1) 承载业务

承载业务是由 ISDN 网络提供的单纯的信息传送业务,目标是将信息从一个用户-网络接口透明地传送到另一个用户网络接口。承载业务只体现网络的通信能力,与终端类型无关。

按照网络所采用交换方式的不同,将承载业务分为电路交换承载业务,分组交换承载业务和帧方式承载业务三种。

(2) 用户终端业务

用户终端业务是指所有面向用户的应用业务,要求终端和网络两者的能力结合起来才能完成。用户终端业务在承载业务所提供的 1~3 层功能的基础上,定义不同的 4~7 层服务来满足各种用户的应用要求。

用户终端业务类型很多,主要有数字电话、可视电话、四类传真、数据通信、会议电视等。

(3) 补充业务

补充业务也叫附加业务或增值业务,必须随承载业务或用户终端业务一起提供,不能单独存在。补充业务包括直接拨入、多用户号码、子地址、呼叫前转等。

5. ISDN 协议参考模型

通信协议是为了保证在两个通信设备之间进行通信而规定的信息表示形式以及必要的控制规程。ISDN 协议建立在 OSI 分层通信模型基础上，对通过 ISDN 的用户信息和控制信息的信息流加以规范。

（1）ISDN 协议的结构模型

ITU-T 为 ISDN 设计了一个立体的结构模型，如图 3-4-3 所示。这个模型表示一个 ISDN 网络节点或终端所包含的全部协议，由控制平面 C、用户平面 U 和管理平面 M 组成。控制平面负责呼叫和连接的控制功能，涉及的主要是信令功能，采用分层结构；用户平面负责用户信息的传送，也采用分层结构；管理平面不分层，用于协调 C 平面和 U 平面之间的动作，同时执行终端或 ISDN 节点内部的运行、监视和维护功能。

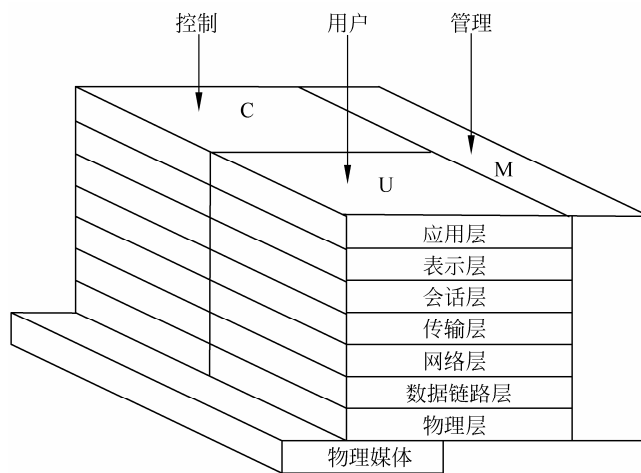


图 3-4-3 ISDN 的结构模型

在该结构模型中，点对点通信需要各平面配合完成。下面以电路交换方式为例进行说明。当主叫终端需要开始传输数据，它的 U 平面传输层请求在网络中建立一个电路连接，这个请求通过 M 平面管理实体的协调转送到 C 平面。C 平面的低三层将这个请求解释后送到网络，在网络节点中执行一系列的连接控制动作，使网络建立主被叫终端之间的电路连接。当主叫终端的 C 平面得到电路连接的证实后，再通过管理实体通知 U 平面，此时 U 平面上的协议即可将数据送到 B 信道上，开始数据传输。

（2）用户-网络接口协议

ISDN 用户-网络接口协议结构如图 3-4-4 所示，其中 B 信道的协议对应 U 平面的控制，D 信道则由 C 平面上的协议控制。作为一个网络，ISDN 不涉及 OSI 协议的 4~7 层，因为这些高层协议是用户用来交换信息的，网络访问只涉及 1~3 层。

应用层	端到端 用户信令					
表示层						
会话层						
传输层						
网络层	Q.931 呼叫控制协议		X.25 分组层	其他		X.25 分组层
数据链路层	LAPD				帧中继	LAPB
物理层	I.430 基本速率接口, I.431 基群速率接口					
	控制信令	分组交换	遥测	电路交换	租用电路	分组交换
	D信道			B信道		

图 3-4-4 ISDN 用户-网络接口协议结构

第一层由 I.430 和 I.431 协议定义, 分别规定基本速率和基群速率的物理层接口, 因为 B 信道和 D 信道在同一物理接口上进行时分多路复用, 所以这两种信道使用相同的物理层协议, 但是 B 信道和 D 信道的 2~3 层协议是不一样的。

在 D 信道上, 第二层使用了专门为它定义的标准——D 信道链路接入规程 (LAPD), 这个标准是基于 HDLC 的。第三层的协议与 D 信道上传送的信息类型有关, 包括呼叫控制协议 Q.931 和 X.25 分组层协议。呼叫控制协议用于建立、维持和终止 B 信道的连接。X.25 分组层协议用于在 D 信道上建立虚电路, 使用户可以通过 D 信道交换分组数据。

B 信道能够用于电路交换、租用电路和分组交换。电路交换利用 D 信道的呼叫控制协议, 在 B 信道上建立传输电路, 从而为用户间构建起一条双向的透明的通路。租用电路的情况类似于电路交换, 只是它不需要通过交换来建立连接, 而是利用半永久电路将两个用户连接起来。无论是电路交换连接还是租用电路, 数据传输通道对终端系统是透明的, 在这条通路上, 通信双方可以自由选择 B 信道上使用的通信协议 (指物理层以上的协议), 因此从 ISDN 的角度看, 用电路交换和租用电路的 B 信道, 没有定义 2~7 层的协议。对于分组交换, 通过 D 信道的呼叫控制协议, 将在 B 信道上建立一条用户和分组交换网节点之间的电路交换连接, 作为用户设备接入 X.25 分组网络的接入线路。一旦连接建立, 用户就能使用 X.25 的 2~3 层协议和其他用户建立虚电路, 并在虚电路上交换分组数据。

B 信道上还可以采用帧中继技术。用户首先利用呼叫控制协议, 在 B 信道上建立一条用户和帧中继交换网络节点之间的电路交换连接, 一旦连接建立, 用户将使用 LAPF 协议和其他用户相互交换数据。

(3) ISDN 网络协议

在 ISDN 网络内部, 交换机之间采用 No.7 信令系统中的 ISDN 用户部分 (ISUP) 控制呼入与呼出。No.7 信令方式是一种国际性、标准化的通用公共信道信令系统。它采用开放的架构, 通过在一个公共的基础之上叠加不同的用户部分, 能够满足多种通信业务的需求。ISUP 是 No.7 信令系统中几个平行的用户部分中的一个, 它的功能是建立、监视和拆除 ISDN 网中各交换机之间 64kb/s 的电路连接, 并对电路类型的更换、补充业务的实现提供信令

支持。

6. ISDN 技术比较及发展前景

(1) ISDN 与其他网络的比较

- 与 PSTN 相比, ISDN 网络可以提供更加丰富的业务, 并且速度远高于 PSTN。同时, ISDN 在用户-网络接口处使用单独的 D 信道传输信令, 用户可以获得比 PSTN 更多的控制手段。
- 与 DDN 相比, ISDN 采用灵活的拨号方式, 可以用更低廉的费用获得与 DDN 同样的带宽, 而且能够同时进行数据传输和电话交流。

(2) ISDN 发展前景

目前, N-ISDN 已经实用化, 虽然具有相当的经济意义和实用价值, 但是, 并没有达到人们预期的效果, 人们对 N-ISDN 的反应不像原先估计的那样热烈。究其原因, 主要考虑 N-ISDN 存在以下局限性:

- 传送速率低。由于采用传统的铜线, N-ISDN 在用户-网络接口处的速率不超过 1.5~2Mb/s, 很难利用它进行图像通信和传送高速数据。
- 业务综合能力差。N-ISDN 是在数字电话网的基础上演变而成的, 主要业务仍然是 64kb/s 的电路交换业务。虽然也综合了分组交换业务, 但是这种综合仅在用户-网络接口上实现, 在网络内部仍由分开的电路交换和分组交换实体来提供不同的业务服务, 未能实现真正的业务综合。
- 对未来的新业务适应性差。N-ISDN 采用电路交换方式实现 64kb/s 以上的传输速率, 这种模式在收发端之间提供传输速率固定的信道, 并且它的速率只能取几个有限的特定的数值, 难以适应快速引入各种不同速率新业务的需求。

为了克服 N-ISDN 的局限性, 人们从 20 世纪 80 年代初就开始寻找一种更新的网络, 这种网络应当能够提供高于 2Mb/s 速率的传输信道, 能够适应全部现有的和将来可能的业务, 从速率最低的遥控遥测(几比特每秒)到高清晰度电视(100~150Mb/s)都应能以同样的方式在网络中传送和交换, 共享网络资源。CCITT 于 1990 年定义这种全新的通信网为宽带综合业务数字网, 即 B-ISDN。

B-ISDN 是一种全新的网络, 不是 N-ISDN 演变的产物, 因此需要定义全新的信息传送方式、交换方式、用户接入方式和通信协议。在传输线路上, 由于传输速率极高, 传统的铜线已不能满足要求, 只有光缆才能实现宽带业务信息的传输。在交换节点上, B-ISDN 需要采用宽带交换技术, 使网络具有高速处理能力。从目前发展来看, 光交换技术和 ATM 技术是实现 B-ISDN 的主要技术。

3.4.2 考试要点

- (1) 掌握 ISDN 的定义和基本特点。
- (2) 了解 ISDN 网络的功能。

- (3) 了解 ISDN 用户-网络接口的参考配置。
- (4) 理解 ISDN 用户-网络接口的结构。
- (5) 了解 ISDN 业务类型。
- (6) 理解 ISDN 协议的结构模型。

3.4.3 习题集精粹及答案

一、判断题

1. ISDN 是一种数字和业务全面综合的通信网。

【参考答案】√

【分析】数字综合体现在 ISDN 提供端到端的数字连接，在用户-网络接口和网络内部都采用了数字传输。业务综合体现在 ISDN 能够提供包括语音和非语音在内的多种业务。

2. “一线通”业务即窄带综合业务数字网 (N-ISDN)，它能够提供端到端的数字连接，用来承载包括话音、图像、数据在内的多种业务。

【参考答案】√

【分析】参见本节 1。

3. N-ISDN 是在数字电话网的基础上演变而成的，因此它只能提供 64kb/s 的电路交换业务。

【参考答案】×

【分析】N-ISDN 可以提供电路交换业务和分组交换业务。

二、单项选择题

1. ISDN 中，() 信道用于传送速率为 384kb/s 以上的用户信息。

A. A B. B C. D D. H

【参考答案】D。

【分析】H 信道用于传送高速的用户信息，包括 3 种速率标准：H0 信道速率为 384kb/s，H11 信道速率为 1536kb/s，H12 信道速率为 1920kb/s。

2. ISDN 基本速率接口的信道结构为 2B+D。其中一个 B 信道用来传送电话，另一个 B 信道用来传送数据，D 信道用来传送 ()。

A. 传真 B. 信令 C. 语音 D. 多媒体

【参考答案】B。

【分析】在 ISDN 用户-网络接口上，B 信道用于传送用户信息，D 信道用于传送公共信道信令或分组数据和低速的遥控、遥测数据。对于基本速率接口，2 个 B 信道分别传送话音（占用一条 B 信道）和高速数据、传真或图像（占用另一条 B 信道）业务，D 信道用于传送信令信息。

3.5 移动通信网

3.5.1 基础知识

随着社会的进步、经济和科技的发展，特别是计算机、程控交换、数字通信的发展，移动通信系统以其显著的特点和优越性能得以迅猛发展，应用在社会的各个方面。移动通信系统几乎集中了有线和无线通信的最新技术成就，不仅可以传送语音信号，而且能够传送数据和图像信号，使用户可以随时随地快速而可靠地进行多种信息的传送。本章主要介绍移动通信系统的基本原理、基本技术、蜂窝移动通信基础、第二代移动通信系统以及第三代移动通信系统。

1. 移动通信概述

所谓移动通信，就是指通信双方至少有一方是在移动状态下或者停留在一个非预定的位置上进行通信的，即信息的传输和交换。包括移动体和移动体之间以及移动体和固定用户之间的通信。

（1）移动通信的发展历史

移动通信最初始于 1897 年马可尼在一个基地和一艘拖船之间所完成的无线通信试验，无线传播距离超过 2 英里。现代移动通信技术的发展始于 20 世纪 20 年代，大致经历了以下几个发展阶段：

第一阶段是从 20 世纪 20 年代至 40 年代，为早期发展阶段。在这期间，在中短波频段进行了一些船舶实验，在局部地区建立了一些专用移动通信系统，例如美国底特律市警察使用的车载无线电系统，工作频段 2MHz。

第二阶段是从 20 世纪 40 年代中期至 60 年代初期，这期间在专用移动通信系统发展的基础上，公用移动通信业务开始问世。1946 年，根据美国联邦通信委员会（FCC）的计划，贝尔实验室在美国圣路易斯城建立了世界上第一个公用汽车电话系统，称为“城市系统”，使用 3 个频道，间隔 120kHz，接续方式为人工，通信方式为单工通信。

第三阶段是从 20 世纪 60 年代中期至 70 年代中期，这是移动电话系统的改进和完善阶段。在此期间，美国推出了改进型移动电话系统（IMTS），使用 150MHz 和 450MHz 频段，采用大区制，实现了无线频道自动选择并能够自动接续到公用电话网。

第四阶段是从 20 世纪 70 年代中期至 80 年代中期，这是移动通信蓬勃发展时期。一方面由于采用微电子技术，设备朝着小型化和多功能化的方向发展，各种轻便移动台应运而生；另一方面，美国贝尔实验室提出了“蜂窝”的覆盖理念，并与 1978 年底研制成功先进移动电话系统（AMPS），建成了蜂窝移动通信网，大大提高了系统容量。由此出现了第二代移动电话系统，这一阶段的特点是蜂窝移动通信网成为实用系统，并在世界各地迅速发展。

第五阶段是从 20 世纪 80 年代中期到 90 年代,这是数字移动通信系统发展和成熟时期。以美国 AMPS 系统和英国 TACS 系统为代表的第一代蜂窝移动通信网(1G)是模拟系统。模拟蜂窝网虽然取得了很大成功,但也暴露了一些问题,例如没有标准化影响系统间互联互通,频谱利用率低下,容量受限,业务种类单一,很难提供综合业务,通话易被窃听等。解决这些问题的方法是开发新一代数字蜂窝移动通信系统(2G)。数字无线传输频谱利用率高,可大大提高系统容量。另外,数字网能提供语音、数据多种业务服务,并与 ISDN 等兼容。

第六阶段是从 20 世纪 90 年代到 21 世纪初,这是第三代移动通信(3G)的发展时期。第三代移动通信的主要特征是除了能提供第二代移动通信系统所具有的各种优点,克服了其缺点外,还能够提供宽带多媒体业务,并能实现全球漫游。目前第三代移动通信系统已经商用。

第七阶段是近十年,在第三代移动通信还没有完全铺开,距离完全实用化还有一段时间的时候,已经有不少国家开始了对下一代移动通信系统(4G)的研究。2010 年 11 月底,ITU 无线通信部门(ITU-R)在瑞士日内瓦会议上对 4G 技术进行重新评估,ITU 公开表示,目前常规的长期演进 LTE(Long Term Evolution, LTE)、高速下行链路分组接入技术(High Speed Downlink Packet Access, HSDPA)、全球微波互联接入(Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMax)等都已经可以打上 4G 网络的标签。4G 时代,视频通话、高清电视、互联网游戏、电影下载等对速度要求很高的移动互联网服务将一马平川,甚至作为随身携带的通信产品,手机将成为一个人的所有信息中心。目前 4G 系统也已经商用。

(2) 移动通信的特点

移动通信中的一方或双方可以在移动中通信,因此只能采用无线通信方式进行,与有线通信相比,其具有以下特点:

① 终端用户的移动性,传输媒质必须采用无线电波。

移动通信网络强调的是服务的移动性,因此必须利用无线电波,或无线通信与有线通信的结合来完成移动通信。

② 无线电波传播环境恶劣,在强干扰条件下工作。

无线传播媒质允许用户可以在一定范围内自由移动,但是无线电波的传播特性远不如有线媒质。移动台可能在各种环境中运动,在传输过程中会出现多径效应、多普勒效应和阴影效应的影响,造成信号传播延时、展宽和衰落等问题,严重影响接收信号的质量。

移动台在通信过程中不仅受到城市环境中的各种工业噪声和天电干扰的影响,同时在系统组网过程中还存在互调干扰、邻道干扰、同频干扰、多址干扰、远近效应等。

因此移动通信网络必须根据移动信道的特征,进行合理的设计,使得系统具有足够的抗衰落和抗干扰能力,来保证系统的正常运行。

③ 频谱资源紧缺,频带利用率要求高。

在有线网中,当系统容量不够时可以依靠多铺设电缆或光缆来提高系统的带宽资源,

但移动通信网络利用无线电波进行通信，而无线电频率资源是有限的，国际电联（ITU）对无线频率的划分有严格的规定。如何最有效的利用有限的频率资源，一直是通信业不断努力的方向。比如业内通过利用多址技术，在频分、时分、码分及空分等多个方面对有限的频率资源加以利用。

④ 移动通信网络结构复杂，管理困难。

不同的地理环境需要不同的网络组成，移动通信网络可以组成带状网，覆盖公路、航海河道和铁路沿线等；也可以组成面状网，覆盖一个城市或地区；还可以组成立体网，例如地面通信设施与中、低轨道卫星通信网络的综合系统等覆盖全球。

用户可以在移动中通信，因此需要位置管理系统管理用户的位置，系统还需要实施越区切换、漫游等操作，因此系统管理比较复杂。

⑤ 移动通信设备需适应在移动环境中使用。

对应的终端来说，要求体积小、重量轻、省电、操作简单和携带方便，还应保证在震动、冲击、高低温变化等恶劣环境中能够正常工作。

（3）移动通信的工作方式

按照通话的状态和频率使用的方法，移动通信系统的工作方式可分为单工方式、双工方式和半双工方式。

① 单工方式

所谓单工通信是指通信双方必须轮流发信，不得争抢的一种通信方式。根据收发频率的异同，可以分为“同频单工”和“异频单工”两种。同频单工是指通信双方使用相同的频率工作，发送时不接收，接收时不发送。异频单工方式中，收发信机使用两个不同的频率分别进行发送和接收。不过，同一方的发射机与接收机还是轮换进行工作。

单工方式的操作一般采用“按/讲（PTT）”开关方式，平时双方均处于接收状态，当一方需要讲话时就按下 PTT 开关，这时它将处于发射状态，而对方不按 PTT 开关，其处于接收状态，这样就完成了单向通信。

单工方式简单，节省频点，但操作不方便，常用于点对点通信。

② 双工方式

所谓双工方式，就是指通信双方可同时进行消息传输的工作方式，即通信的双方收发信机均同时工作，任一方在发话的同时，也能收听到对方的话音，无需按压 PTT 开关，与普通市内电话的使用情况类似。

双工方式有频分双工（FDD）和时分双工（TDD）两种形式。双工方式中，若双方在同一时间使用不同的频道，则称为 FDD；若双方占用相同的频道但不同的时间发送，则称为 TDD。

双工方式的电源耗能较大、设备复杂，但其使用方便，因而在移动通信系统中得到了广泛的应用。

③ 半双工方式

半双工方式是指通信的双方,有一方(如基站)使用双工方式,即收发信机同时工作,且使用两个不同的频率,而另一方(如移动终端)则采用双频单工方式,即收发信机交替工作。

半双工方式的优点是:设备简单、功耗小、克服了通话断断续续的现象。但操作仍不太方便。所以半双工制主要用于专用移动通信系统中,例如汽车调度等。

(4) 常见的移动通信系统

随着移动通信应用范围的不断扩大,移动通信系统的类型越来越多。根据使用环境分类,主要有陆地移动信道、海上移动通信和航空移动通信三大类。根据服务对象分类,主要有公用移动通信和专用移动通信两类。公用移动通信是面向社会各阶层人士提供移动通信业务,专用移动通信是为了保证某些特殊部门(例如公安、消防、急救、防汛、交通、调度等)的通信所建立的通信系统。

① 蜂窝移动通信系统

蜂窝移动通信网络是一种双工通信系统。该系统由移动台(MS)、基站子系统(BTS、BSC)、移动业务交换中心(MSC)以及用于移动性管理的多个数据库构成,并且与公众市话网(PSTN)相连构成完整的通信网络。有关蜂窝移动通信系统,将在后文中详细阐述,这里不再赘述。

② 无绳电话系统

无绳电话是一种以有线电话网为依托的通信方式,即它是有线电话网的无线延伸。即用无线信道代替普通电话线,使其可在限定的业务区内自由移动的无绳电话系统。无绳电话属于低功率系统,其发射功率要比常规的蜂窝高功率系统低1~2个数量级,户外覆盖范围小于500m,室内小于50m。目前,无绳电话系统一般用于办公室或者家庭小范围内的无线通信。

③ 集群移动通信系统

集群移动通信系统主要以无线用户为主,即以调度台与移动台之间的通话为主,实现调度、指挥任务等的专用无线通信系统。集群系统采用的基本技术是频率共用技术,主要作法是:把一些由各部门分散建立的专用通信网集中起来,统一建网和管理,并动态地利用分配给它们的有限个频道,以容纳数目更多的用户。

相比于蜂窝移动通信系统,集群移动通信系统的特点如下:属于专用移动通信网,主要用于调度、指挥;系统一般具有通话限时功能;采用半双工工作方式。

④ 移动卫星通信系统

移动卫星通信一般是指利用卫星作为中继,实现地面、空中、海上移动用户之间或移动用户与固定用户之间的相互通信。近年来,移动卫星通信系统发展最快的为低轨道移动卫星系统和同步卫星移动通信系统。

在本书中，由于无线寻呼系统、小灵通无线市话系统等移动通信系统已经退出服务，在这不再讨论。

（5）蜂窝移动通信网络结构

蜂窝移动通信系统的发展经历了第一代系统(1G)、第二代系统(2G)、第三代系统(3G)直至今天已经商用的第四代系统(4G)。下面简单看看前三代系统的网络结构。

① 第一代无线网络——模拟蜂窝移动电话网

基于“模拟通信技术”，所有蜂窝系统都采用“频率调制”技术；且它提供基站系统(BS)与移动终端(MS)间的模拟话音和低效的低速率数据通信。网络结构如图 3-5-1 所示。基站通过传输链路与移动交换机相连，交换机再与固定电信网络或其他通信网相连，所以移动通信有以下两种通信链路：移动用户 $\longleftrightarrow$ 基站 $\longleftrightarrow$ 交换机 $\longleftrightarrow$ 其他网络 $\longleftrightarrow$ 其他用户；移动用户 $\longleftrightarrow$ 基站 $\longleftrightarrow$ 交换机 $\longleftrightarrow$ 基站 $\longleftrightarrow$ 移动用户。

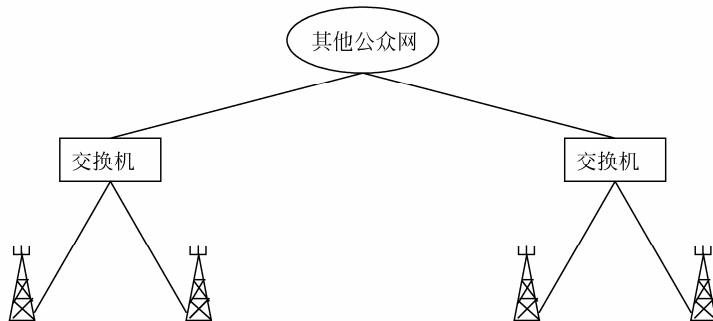


图 3-5-1 第一代无线网络结构

② 第二代无线网络——数字蜂窝移动电话网

与第一代网络相比，第二代网络采用了新的网络结构，尽量减少了基站子系统(BSS)与 MSC 的运算及交换负担，设置了智能模块专用于用户的位置管理，用户身份鉴别及认证等；标准化和互操作性成为第二代无线网络的新特征，它最终使得 MSC 和基站控制器(BSC)成为可采购的现货；另外，用户单元增加了新功能，例如接收功能报告、邻近基路搜索、数据编码及加密等，使得越区切换可采用移动台辅助越区功换(MAHO)。此外，系统各部分间关联减少了，系统配置更灵活了，使得系统得以更快的发展。如图 3-5-2 所示。

③ 第三代无线网络——未来移动通信网网络结构

第三代无线网络将在业已成熟的第二代无线网络的基础上建立，其目的是用单独一套标准来满足广泛的无线通信的需要，并在全世界提供通用的通信接口，即在移动通信网中传输话音、音频、数据、图像和视频业务，一般需要将移动通信网建立在更高级的智能平台上。

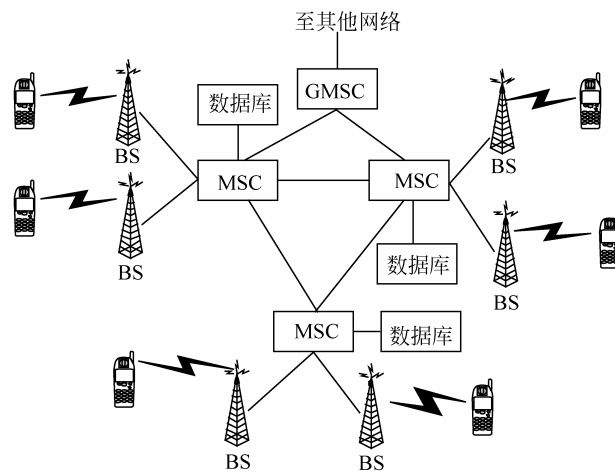


图 3-5-2 第二代无线网络结构

2. 移动通信系统中的基本技术

(1) 移动信道的电波传播特性

在移动信道中，电波在传输的过程中除了直射信号外，也会发生发射、折射、散射、绕射等现象。这都与发送的电磁波的波长（或者频率）密切相关，同时也与电波传播过程中的地形和地物有关系。当电磁波遇到比波长大得多的物体时，就会发生反射，反射发生于地球表面、建筑物和墙壁表面等光滑界面处。当接收机和发射机之间的传播路径被尖利的边缘阻挡时，电磁波就会发生绕射。由于绕射，电磁波可越过障碍物到达接收天线。即使收发天线间不存在视线路径，接收天线仍然可以接收到电磁信号。当波穿行的介质中存在小于波长的物体并且单位体积内阻挡体的个数非常巨大时，就会发生散射。散射波产生于粗糙表面、小物体或其他不规则物体。在实际的通信系统中，树叶、街道标志和灯柱等都会引发散射，如图 3-5-3 所示。

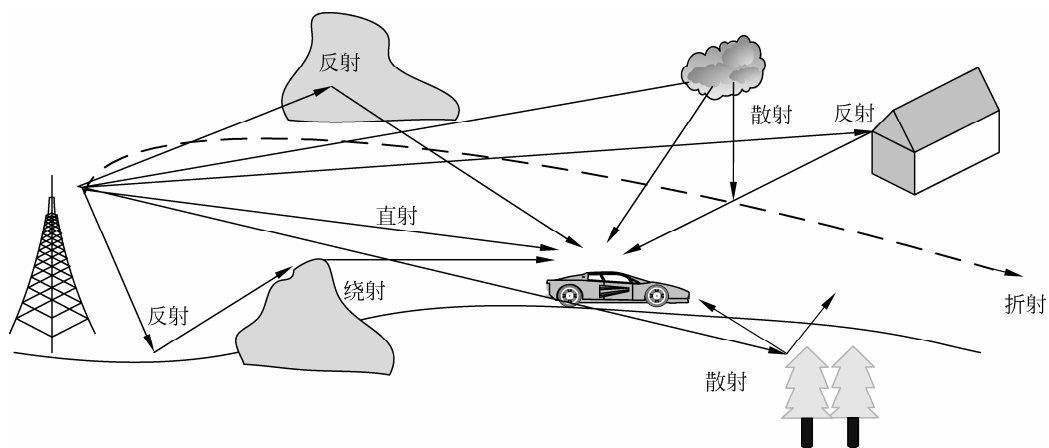


图 3-5-3 移动通信环境示意图

我国地域辽阔，地形复杂多样，不同的地形、地物对电波的传播会造成影响。此外，移动信道中的任何一点接收到的信号都是由大量的直射、反射、折射、散射等电波叠加构成，这些电波虽然都是从一个天线辐射出来的，但由于到达接收天线的路径不同，故其相位是随机的，从而导致合成信号的幅度急剧变化，即产生了严重的衰落。

移动通信环境电波传播特性有以下特点：多径效应和阴影效应。

① 多径效应

定义：移动台附近的散射体（地形、地物和移动体等）引起的多路径传播，使到达接收机输入端的信号相互叠加，造成接收信号快速起伏的现象。把此种现象称为“多径效应”，造成的衰落也称为“快衰落”。

特点：快衰落是由多径产生的衰落，衰落速率（每秒钟信号包络经过中值电平次数的一半）可达每秒 30~40 次，衰落深度（信号的变动范围）约为 30 dB 左右，称这样的衰落为快衰落或多径衰落。在时间域，多径效应导致时延扩展，即脉冲信号发生了时间流散；在频率域，多径效应导致频率选择性衰落，即信道对不同的频率成分有不同的响应。为保证信号的无失真传输，在移动信道中如果没有抗衰落的措施，则信号的传输速率受到限制。

系统解决措施：采用分集接收技术抵抗衰落的影响。分集接收技术将在后面章节专门进行介绍。

② 阴影效应

定义：移动台在运动过程中，周围地形、地物造成对电波传播路径的阻挡，形成所谓的电磁场阴影，这种随移动台运动而不断变化的电磁阴影引起接收点场强中值起伏变化的现象，称为阴影效应。阴影效应引起的信号电平衰落称为阴影衰落。

特点：阴影衰落属于慢衰落，衰落周期以秒级计，衰落速率与频率无关，取决于地形、地物的分布、高度以及移动体的运动速度。

系统解决措施：为防止衰落引起的通信中断，在信道设计中，必须有一定的衰落储备，即电平留有足够的余量，以使通信中断率小于规定的指标。

（2）调制技术

① 数字调制技术

调制的目的是把要传输的模拟信号或数字信号变换成适合信道传输的已调信号。调制过程发生在系统的发送端。在接收端将已调信号还原成要传输的原始信号的过程称为解调。

按照调制器输入信号（调制信号）的形式，调制可分为模拟调制和数字调制。随着通信技术由模拟向数字的过渡，现在移动通信系统均采用数字调制技术。

按照对载波参量的控制方式，数字调制的基本方式可以分为振幅键控（ASK）、频移键控（FSK）和相移键控（PSK）。

移动通信系统采用无线信道作为传输媒质，无线信道的信道特征如下：

- 由于采用无线电波传输，因此频带资源受限。
- 无线电波在低层大气中传播，因此遭受到的干扰和噪声的影响大。
- 在传输路径中由于多径效应的影响存在多径衰落。
- 在系统组网过程中还存在一些干扰，比如蜂窝网中的同频干扰，CDMA 系统中的多址干扰等。

由于无线信道条件恶劣，为了改善接收信号的质量，移动通信系统对调制技术的要求如下：

- 频谱利用率高，功率谱特性好。功率谱尽可能窄，即已调信号主瓣窄，同时旁瓣幅度要低，即带外辐射低。
- 误码性能好，具备较强的抗噪声、抗干扰、抗衰落等能力。
- 线路复杂度适中，易于采用相干或非相干方式进行解调。

按照实际应用类型来划分，目前移动通信系统中采用的调制技术可以分为：

- 恒定包络连续相位调制技术

移动通信系统中由于收发两端具有放大器等非线性器件，而非线性器件具有幅相转换（AM/PM）效应，即当输入信号幅度变化时，能转换为输出信号的相位变化，造成频谱扩散现象。

为了降低频谱扩散现象，希望已调信号应包络恒定或包络起伏很小，由此产生了恒定包络连续相位调制技术。这类调制技术主要是从 FSK 入手，通过改进和优化得来，主要包括最小频移键控（MSK）调制、高斯滤波的最小频移键控（GMSK）和平滑调频（TFM）等。其中 GMSK 调制用于 2G 系统 GSM 中。

- 线形调制技术

从信号变换、放大到发射，都需要高度的线性，因此，功放设计难度大，成本高，但频谱利用率很高。这是在线性功放出现后出现的调制技术。这类调制技术主要从 PSK 出发，通过改进和优化得来，主要包括四相相移键控（QPSK）、交错的四相相移键控（OQPSK）和 $\pi/4$ -DQPSK 等。其中 QPSK 和 OQPSK 分别用于 2G 的 CDMA 系统中的下行链路和上行链路中， $\pi/4$ -DQPSK 用于北美和日本的 2G 数字蜂窝移动电话系统中。

- 先进的调制技术

近期新兴的调制技术有振幅和相位联合调制（QAM）技术、可变速率 QAM 调制（VR-QAM）、多载波 QAM 调制（MQAM）、正交频分复用（OFDM）技术等。这些调制技术被广泛的用于 3G 和 4G 系统中。

② 扩频调制技术

扩展频谱（Spread Spectrum, SS）通信简称扩频通信，其是一种信息传输方式。在发送端，采用扩频码调制，使信号所占的频带宽度远大于所传信息必需的带宽，如图 3-5-4 所示。在收端，采用相同的扩频码进行相关解调来解扩以恢复所传的信息数据。

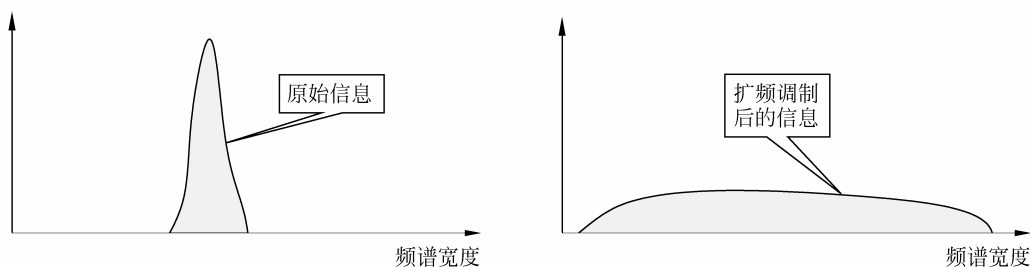


图 3-5-4 扩频信号与原始信号的频谱比较

之所以采用扩频通信，是因为其具有一些传统的通信系统所没有的独特特点：

- 抗干扰能力强

扩频系统最大的特点是抵抗干扰的能力，它可以对抗敌方人为干扰、对抗宽带干扰以及对抗窄带干扰。

- 隐蔽性好

由于扩频信号在相对较宽的频带上被扩展了，单位频带内的功率很小，即信号的功率谱密度很低，扩频信号具有很低的被截获概率，并且可在原有各种窄带通信系统的频段内同时进行扩频通信，提高频谱利用率。

- 可以实现码分多址

在发送端充分利用各种不同码型的扩频码序列（正交或准正交）进行扩频调制。在接收端利用相关检测技术进行解扩，可实现多个用户共享宽频带的 CDMA，提供频谱利用率。

- 抗衰落、抗多径干扰

信号频谱被展宽，频谱密度很低，由衰落造成小部分频谱分量衰落时，不会使信号造成严重的畸变。在 CDMA 系统中，可利用路径分集技术，变害为利，有效克服多径效应的影响。

- 能精确地定时和测距

众所周知，电磁波在空间以光速传输，若能够精确测量电磁波在两个物体之间传播的时间，也就等于测定了两个物体之间的距离。利用扩频系统，可以进行传播时间的测量，测量的精度决定于码片的宽度，码片越窄，扩展的频谱越宽，测量精度越高。

用于移动通信系统的扩频通信技术主要有两类：直接序列扩频（DS）技术和跳频扩频（FH）技术。其中 DS 技术用于 IS-95 CDMA 系统中，FH 用于 GSM 系统中。

- 直接序列（Direct Sequence Spread Spectrum, DS）系统

在发端直接用具有高码率的扩频码序列去扩展信号的频谱，在收端，用完全相同的扩频码序列去进行解扩，把展宽的扩频信号还原成原始的信息，简称为直扩（DS）系统，又称伪噪声（Pseudo Noise, PN）扩频系统，如图 3-5-5 所示。

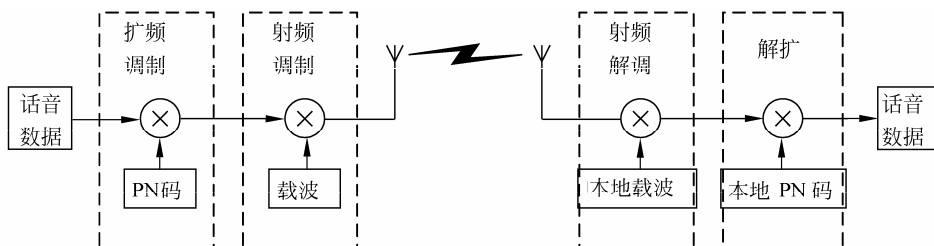


图 3-5-5 直接序列扩频实现框图

扩展频谱的特性取决于所采用的扩频码序列的码型和速率。为了获得近似白噪声或随机序列的频谱特性，扩频码序列均采用伪噪声序列。为了获得高的扩频增益，通常以增加射频带宽来提高伪码的速率。

当发送的直接序列扩频信号的码元宽度小于或等于最小多径时延差时，接收端可利用直扩信号的自相关特性进行相关解扩，将有用信号检测出来，同时将窄带干扰和宽带干扰都处理为背景噪声，体现出其抗干扰等的能力。然后根据路径分集技术，从而具有抵抗多径能力。一般直扩信号的频谱宽度远远大于无线信道的相关带宽，其频谱成分同时发生衰落的可能性很小，即直扩系统可以有效地抵抗频率选择性衰落。

• 跳频（FH）系统

所谓跳频，是指用一定码序列进行选择的多频率频移键控。即是指在伪随机序列控制下，载波频率在一组预先规定的频率上按所规定的顺序离散的跳变，从而扩展了发射信号的频谱。

跳频系统在发送端使用伪随机序列随机的设定频率合成器，这样发射机的振荡频率在很宽的范围内不断地改变，从而使射频在一个很宽的范围内变化，于是形成了一个宽带离散的频谱。在接收端必须采用同样的伪随机序列设定本地频率合成器，使其与发射端的频谱做相同的改变，即收发跳频必须同步才能保证通信的建立，如图 3-5-6 所示。

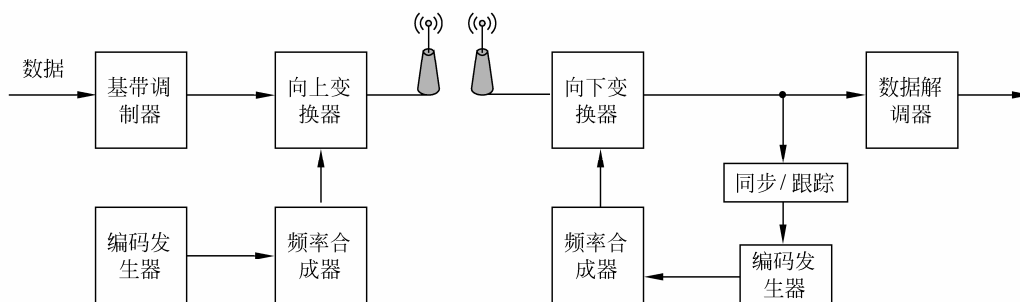


图 3-5-6 跳频序列扩频实现框图

采用跳频技术可以给移动通信系统带来很多优点，其一是它以“躲避”干扰的方式提高系统的综合抗干扰性能；另外对于强干扰产生的阻塞现象和近电台产生的远近效应，有

较强的抵抗作用；最后由于采用相互正交的跳频码，就可以很好地避免由于频率复用引起的同频干扰。

（3）抗衰落技术

移动通信系统存在多径效应和阴影效应的影响，经传播的信号到达接收机输入端，形成幅度衰落、时延扩展及频率选择性衰落，将导致数字信号的高误码率，严重影响通信质量。为了提高移动通信系统的抗衰落性能，经常采用分集技术、均衡技术和信道编码技术来有效地解决这些问题。

① 分集技术

分集技术是在接收端对它收到的多个衰落特性互相独立（携带同一信息）的信号进行待定的处理，以降低信号电平起伏（衰落）的一种技术。

分集技术根据信号传输的方式分为显分集和隐分集，其中显分集是指构成明显分集信号的传输方式，包括空间分集、频率分集、极化分集、场分量分集、角度分集和时间分集等。隐分集技术的分集作用是隐含在传输信号的方式中，依据传输信号的方式不同，可实现时间隐分集和频率隐分集，所采用的技术主要有交织编码技术和扩频技术，它们在数字移动通信中得到了广泛应用。

- 空间分集：利用在空间相隔一定距离的多副天线接收信号来实现分集的技术，天线之间的距离应保证接收到的信号衰落独立。
- 频率分集：将待发送的信息分别调制在不同的载波上发送至信道，频率之间的间隔应足够大，保证接收到信号衰落的独立性。
- 极化分集：是空间分集的一种特例，利用垂直/水平极化的正交性来进行两路分集。
- 场分量分集：利用电磁场的 E 场和 H 场载有相同信息，同时 E_z 、 H_x 和 H_y 的传输特性互不相关，因此通过接收三个场分量，也可以获得分集的效果。
- 角度分集：使电波通过几个不同路径，并以不同角度到达接收端，而接收端利用多个方向性尖锐的接收天线能分离出不同方向的信号分量，并且这些分量具有相互独立的衰落特性，因而可以实现角度分集并获得抗衰落的效果。
- 时间分集：信号在不同的时间区间多次重发，只要间隔足够大，那么各次发送信号所出现的衰落将彼此独立，因此可以实现时间上的分集。

分集技术根据分集的目的可以分为宏分集和微分集两种，其中宏分集是多基站分集，目的是为了减小慢衰落，而微分集主要是为了减小快衰落。

在接收端对于分集技术有三种合并的方式：

- 选择式合并：选择其中信噪比最高的那一个支路的信号作为合并器的输出。
- 最大比值合并：是指在接收端将多个分集支路，经过相位调整后，按照适当的增益系数，同相相加，再送入检测器进行检测的技术。
- 等增益合并：是指在接收端将多个分集支路，经过相位调整后，按照相等的增益系数，同相相加，再送入检测器进行检测的技术。

② 均衡技术

在数字移动通信系统中,由于多径效应导致时延扩展,数字信号在传输过程中不可避免的引入了码间干扰,系统的性能出现下降。理论和实践均证明,在基带系统中插入一种可调(或不可调)滤波器可以校正或补偿信道特性,减小码间串扰的影响,这种起补偿作用的滤波器称为均衡器。

均衡有两种方式:频域均衡和时域均衡。频域均衡是在频域完成信道特性补偿,即通过校正“幅频特性”和“群时延特性”使包括均衡器在内的整个系统的总传输函数满足无失真传输的条件。时域均衡是在时域完成信道特性补偿,即使包括均衡器在内的整个系统的冲激响应满足无码间串扰的条件。

在移动通信系统中,我们面临的信号是时变信号,因此大多采用时域均衡来达到整个系统无码间串扰的目的。移动通信信道属于随参信道,信道特性会随时间做快速变化,因此移动通信中常采用自适应时域均衡器。自适应时域均衡器直接从传输的实际数字信号中根据某种算法不断调整增益,因而能适应信道的随机变化,使均衡器总是保持最佳的工作状态,从而有更好的失真补偿性能。

③ 信道编码技术

信道编码实际上是一种差错控制编码,其基本思路是在发送端给被传输的信息附上一些监督码元,这些监督码元与信息码元之间以某种确定的规则相互关联(约束)。在接收端,按既定的规则检验信息码元与监督码元之间的关系,当发现原来的信息码元与监督码元之间的关系被破坏,就会发现错误乃至纠正错误,这个过程被称为信道解码或信道译码。

按照信息码元和监督码元之间的约束方式不同分为分组码和卷积码;按照信息码元和监督码元之间的检验关系分为线性码和非线性码;按照纠正错误的类型不同分为纠正随机错误码、纠正突发错误码和纠正同步错误码。

如果监督码元和信息码元由一组线性方程组得到,这样组成的分组码,就是线性分组码。为了克服分组码中存在的编码效率与纠错能力之间的矛盾,1955年科学家伊莱亚斯提出了卷积码。在卷积码中,一个组的校验码元不仅取决于本组的信息码元,而且也取决于前面若干组的信息码元,满足这种规则构成的码就是卷积码。1993年在日内瓦召开的IEEE通信国际会议上,两位当时名不见经传的法国电机工程师克劳德·伯劳和阿雷恩·格莱维欧克斯发表了他们发明的一种编码方法——Turbo编码,其利用反馈绕过计算复杂性问题,使信道编码效率接近香农极限。当然这样做也得付出代价,由于迭代解码,必然会产生时延,所以对于实时性要求很高的场合,Turbo码直接应用会受到限制,它用于3G系统中的非实时数据业务中。GSM系统和CDMA系统采用了卷积编码。

(4) 多址技术

在移动通信系统中,有许多用户都要同时通过同一个基站和其他用户进行通信,因而,必须对不同用户和基站发出的信号赋予不同特征,使基站能从众多用户台的信号中区分出是哪一个用户台发出来的信号,而各用户台又能识别出基站发出的信号中哪个是发给自己

的信号，这种技术称为多址技术。

多址技术是空中接口多址技术，主要解决众多用户如何高效共享给定频谱资源的问题。移动通信系统中，常规的多址技术有频分多址（FDMA）、时分多址（TDMA）、码分多址（CDMA）和空分多址（SDMA）技术。

① 频分多址（FDMA）

将给定的频谱资源划分为若干个等间隔的频道供不同的用户使用。其用户识别是频道号（在频谱域实现了用户的正交分割），应用在模拟/数字蜂窝移动通信系统中，如图 3-5-7 所示。

其优点是技术成熟、不需要严格的功率控制，但缺点是系统设计中需要周密的频率规划，且基站需要多部不同载波频率的发射机同时工作，容易产生信道间互调干扰，应用于第一代模拟移动电话系统中。

② 时分多址（TDMA）

把时间分成周期性的帧，每一帧再分为若干个时隙供用户作信道使用。其用户识别是时隙（在时间域实现了用户的正交分割），如图 3-5-8 所示。

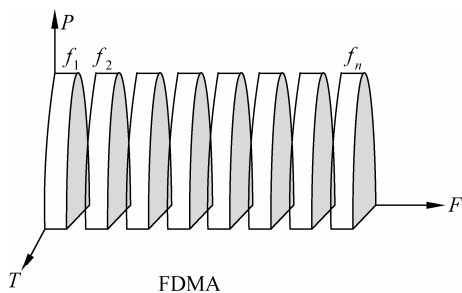


图 3-5-7 FDMA 示意图

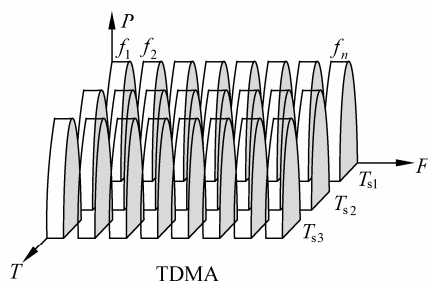


图 3-5-8 TDMA 示意图

其特点是以频率复用为基础，小区内以时隙区分用户，每个时隙传输一路数字信号，软件对时隙动态配置。系统对定时和同步的要求比 FDMA 系统高，是时隙受限和干扰受限系统。应用于 GSM 系统中，载频间隔为 200kHz，每频道 8 个时隙。

③ 码分多址（CDMA）

在 CDMA 通信系统中，不同用户传输信息所用的信号不是靠频率不同或时隙不同来区分，而是用各自不同的编码序列来区分，或者说靠信号的不同波形来区分。其用户识别是码型（在码域实现用户的正交分割），如图 3-5-9 所示。

CDMA 系统与 FDMA 系统和 TDMA 系统相比具有更大的系统容量、更高的语音质量、更好地抗干扰性能和保密性能，但其缺点是需要严格的功率控制和定时同步，应用于 IS-95 CDMA 系统、3G 系统中。

④ 空分多址 (SDMA)

SDMA 是利用不同的空间分割成不同信道的多址技术,如图 3-5-10 所示。SDMA 系统可使系统容量成倍增加,使得系统在有限的频谱内可以支持更多的用户,从而成倍地提高频谱使用效率。空分多址方式在中国第三代通信系统 TD-SCDMA 中引入,是智能天线技术的集中体现。

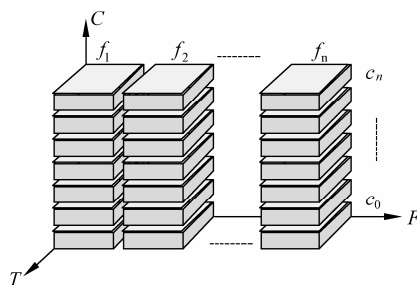


图 3-5-9 CDMA 示意图

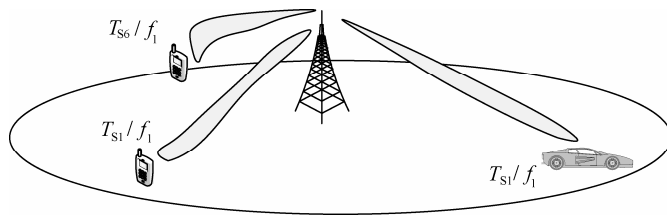


图 3-5-10 SDMA 示意图

(5) 区域覆盖技术

一般来说,移动通信网的服务区域覆盖方式可分为大区制和小区制覆盖。

① 大区制

所谓大区制,是指由一个基站覆盖整个服务区,该基站负责服务区内所有移动台的通信与控制。

大区制的优点是系统组成简单,投资少,见效快。但是,大区制通常为扩大服务区域范围,基站天线架设很高,发射功率很大(发射功率为 $50\sim 100\text{W}$,覆盖半径一般为 $30\sim 50\text{km}$),但这只能保证移动台可以接收到基站的信号。反过来,当移动台发射时,由于受到移动台发射功率的限制,就无法保障通信了。为了解决这个问题,可在服务区内适当地点设立若干分集接收点与基站相连,利用分集接收来保证上行链路通信质量。为了增大通信用户数,大区制下唯一的方法是增多基站的信道数,但这总是有限的,因此大区制频率利用率不高,只能适用于小容量移动电话系统。

② 小区制

为了克服大区制的缺点,提出了小区制。小区制是应用了空间域的同信道再用技术,把整个服务区划分为若干小区(小区覆盖半径一般为 $2\sim 10\text{km}$),每小区分别设置一个基站,负责本小区内所有移动用户的通信。小区通信中各基站的频率组配备一定要使相邻基站天线覆盖区不相同,否则会引起干扰。同时,设置移动业务交换中心,统一控制服务区内的基站能够协调的工作,实现小区之间移动用户通信的转接以及用户与固定用户之间的联系。

根据服务区的地形地貌，一般有带状网和蜂窝网两种。带状网中基站采用定向天线，每小区呈扁圆型，主要覆盖铁路、公路、沿海及内河航道等地域。若服务区是个面状区域，则组成蜂窝网。当服务区域面积一定的情况下，正六边形小区所需的基站数量最小，最经济。由于正六边形的网络形同蜂窝，所以把小区形状为正六边形的小区制移动通信网称为“蜂窝网”，如图 3-5-11 所示。

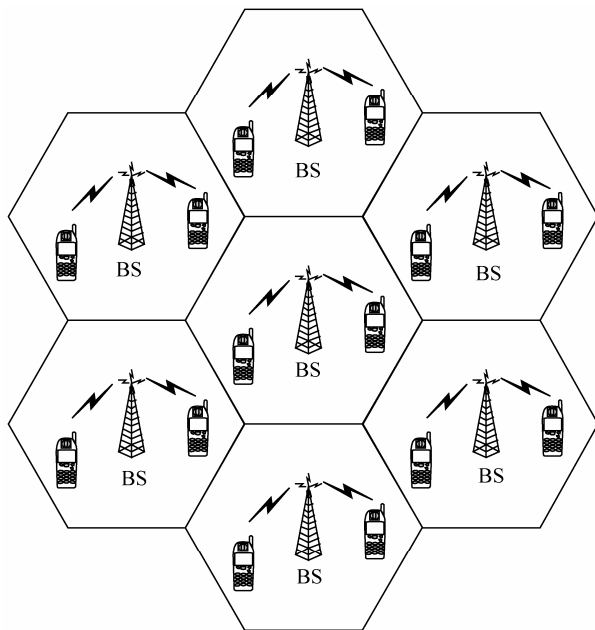


图 3-5-11 蜂窝状服务区示意图

为了降低小区间的干扰，相邻小区使用不同的频率。而为了提高频率利用率，用空间划分的方法，在不同的空间可以进行频率再用。即若干个小区组成一个区群（cluster），区群内的每个小区占用不同的频率，并占用给定的频带。在不同的区群中，频率资源可重复使用。图 3-5-12 给出了部分可选的区群方案。

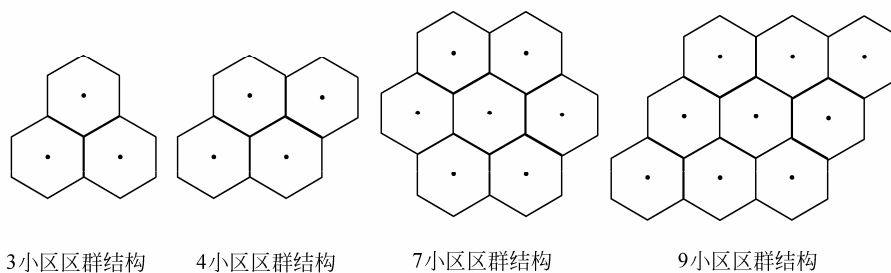


图 3-5-12 部分可选区群方案

但要注意,不同区群中的相同频率的小区会产生同频干扰。同频干扰是蜂窝网中的系统级干扰,是影响系统容量的本质因素。实际中任意两个小区只要相互之间的空间距离大于某一数值(称为同频再用距离),即可克服同频干扰。

在每个小区中,基站可以位于小区中央,采用全向天线实现无线区覆盖,这种方式称为“中心激励”。若在每个六边形的三个顶角上设置基站,采用 120° 扇形辐射的定向天线实现无线区覆盖,这种方式称为“顶点激励”。中心激励与顶点激励的示意图如图3-5-13(a)和图3-5-13(b)所示。顶点激励的优点是对消除障碍物阴影有利,对来自天线方向图主瓣之外的干扰有一定隔离度,即允许同频小区距离可减小,进一步提高频率资源利用率。缺点是控制要复杂一些。

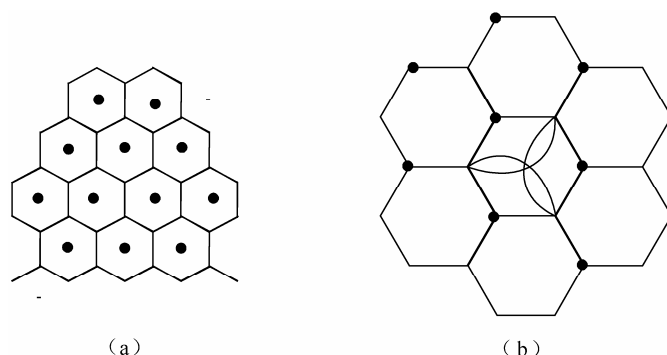


图 3-5-13 激励方式示意图

移动通信网初期,各小区大小相等,容量相同,随着城市建设和用户数的增加,用户密度不再相等。为了适应这种情况,在高用户密度地区,将小区面积划小,或将小区中的基站全向天线改为定向天线,使每个小区分配的频道数增多,满足话务量增大的需要,这种技术称为小区分裂。小区分裂尽量在空间上增加频率的复用效率,是移动通信扩容的一项重要技术,但现在“小区分裂”已接近其技术极限。

(6) 移动性管理技术

在蜂窝移动通信系统中,移动性管理技术包含三个方面的内容:越区切换、漫游和位置管理。

当移动用户在蜂窝小区中快速运动时,用户之间的通话通常不会在一个小区中结束。快速行驶的汽车在一次通话的时间内可能跨越多个小区。当移动台从一个小区进入另一相邻的小区时,工作信道要发生转换,这一过程称为越区切换。切换可以发生在同一个区群中的不同小区,也可以发生在不同的移动业务交换区之间。一般切换是由两方面原因引起的,其一是信号的强度或质量下降到系统规定的参数之下,此时移动台需要切换到信号强度较强的相邻小区。二是由于某小区信道容量全部被占用,此时移动台被切换到业务容量较为空闲的相邻小区。

漫游是指移动台在某地登记后，可在异地进行呼叫处理的通信。这里的异地可以是不同地区、不同省市或不同国家。正因为移动通信能在全中国、全世界漫游，才有今天的飞速发展。现今的移动通信网都能实现全球通信。

当移动用户只是自由移动而并没有通信时，移动通信网络为了准确地跟踪用户，以便及时把对这个用户的呼叫送达，需要不断地与用户交换位置信息，这个过程是系统自动完成的，称为位置管理。当移动台从一个位置区进入另一个位置区时，就要向网络报告其位置的变化，使网络能随时掌握移动用户的当前位置。利用位置信息，网络可以实现对漫游用户的自动接续，将用户的通话、分组数据、短消息和其他业务数据传达漫游用户。

3. 第二代移动通信系统（2G）

目前已成功部署的 2G 数字蜂窝移动电话系统是在 20 世纪 80 年代中期欧洲率先推出的泛欧数字移动通信网（Global system for Mobile communications, GSM）和 20 世纪 90 年代初美国 Qualcomm 公司推出的窄带码分多址（CDMA）蜂窝移动通信系统。本节将介绍这两个系统。

（1）GSM 蜂窝移动通信系统

蜂窝移动电话系统早在 20 世纪 70 年代末投入了使用，历经 20 年的发展，GSM 取得了极大的成功，已成为陆地移动通信的主要系统之一。

全球移动通信系统（GSM）标准也称为泛欧数字蜂窝通信标准，其对该系统的结构、信令和接口等给出了详细的描述，符合公用陆地移动通信网（PLMN）的一般要求，能适应与其他数字通信网（如 PSTN 和 ISDN 网）的互联。现阶段 GSM 包括两个并行的系统：GSM900 和 DCS1800。这两个系统功能相同，只是工作频率不同，GSM900 工作在 900MHz，DCS1800 工作在 1800MHz。

GSM 作为世界上第一个数字蜂窝移动通信系统，与模拟蜂窝移动网相比，其优点如下：

- 频谱效率高。
- 容量大。
- 话音质量高。
- 安全性好。
- 业务方面具有优势，例如可实现智能业务、国际漫游等。

① GSM 系统的网络结构

GSM 系统的网络结构如图 3-5-14 所示。由图可见，GSM 系统主要是由网络子系统（NSS）、基站子系统（BSS）和移动台（MS）三大部分组成。网络子系统由移动业务交换中心（MSC）、原籍位置寄存器（HLR）、拜访位置寄存器（VLR）、鉴权中心（AUC）、移动设备识别寄存器（EIR）和操作维护中心（OMC）等组成。基站子系统由基站收发信机（BTS）和基站控制器（BSC）组成。一般情况下，一个 MSC 可管理多达几十个 BSC，一个 BSC 最多可控制 256 个 BTS。GSM 系统通过 MSC 可与公用交换电话网（PSTN）、综合业务数字网（ISDN）和公用数据网（PDN）进行互连。

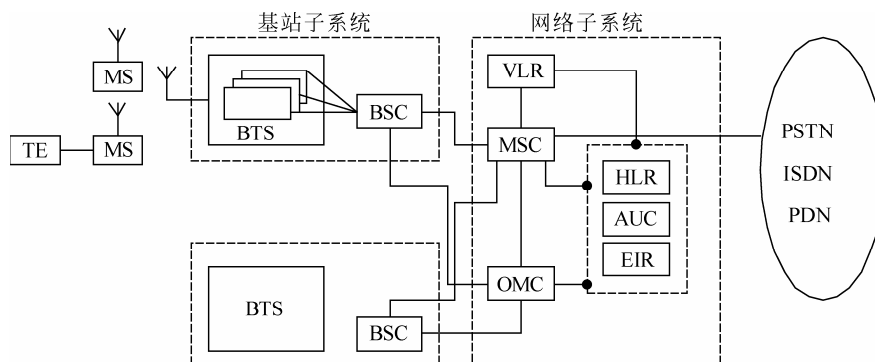


图 3-5-14 GSM 系统的网络结构

- 移动台（MS）

移动台是 GSM 移动通信网中用户使用的设备，它由移动终端和用户识别模块（SIM）两部分组成。

- 基站子系统（BSS）

BSS 系统是在一定的无线覆盖区中由 MSC 控制，与 MS 进行通信的系统设备。基站子系统主要由基站收发信机（BTS）和基站控制器（BSC）构成。

- BTS: 由 BSC 控制，实现 BTS 与 MS 之间的无线传输及相关控制功能，并完成无线信道与 BSC 之间的转换。
- BSC 是 BSS 的控制部分，具有对一个或多个 BTS 进行控制的功能，主要负责无线网路资源的管理、小区配置数据管理、功率控制、定位和切换等。

- 网络子系统（NSS）

网络子系统（NSS）对 GSM 移动用户之间通信和移动用户与其他通信网用户之间通信起着管理作用。其主要功能包括：交换、用户数据与移动性管理、安全性管理等。NSS 由一系列功能实体所构成，它们之间的信令传输都符合 CCITT 信令系统 No.7 协议。

- 移动业务交换中心（MSC）：网络的核心，是对位于它所覆盖区域中的移动台提供所有的交换和信令功能。网管 MSC（GMSC），是完成路由功能的 MSC，它在 MSC 之间完成路由功能，并实现移动网和其他网的互联。
- 归属位置寄存器（HLR）：用来存储本地用户位置信息的数据库。每个移动用户都应在刚入网时在其归属位置寄存器（HLR）中注册登记。它主要存储两类数据：一是静态数据，包括移动用户号码、访问能力、用户类别和补充业务等数据；二是动态数据，主要是移动用户实际漫游所在的位置信息，以便建立至移动台的呼叫路由。
- 访问位置寄存器（VLR）：一个用于存储进入其覆盖区的用户位置信息的数据库。当移动台进入一个新的区域时，首先向该地区的 VLR 申请登记，VLR 要从该用户的 HLR 中查询，存储其有关参数，并为该用户分配一个新的漫游号码。

(MSRN)，然后通知其 HLR 修改该用户的位置信息，准备为其他用户呼叫此用户时提供路由信息。

- 鉴权认证中心 (AUC): 与 HLR 相关联, 即 AUC 只与它相关的 HLR 进行通信, 目的是为了防止非法用户接入 GSM 系统而设置的安全措施。AUC 中存储了用户的鉴权信息和加密信息。
- 设备识别寄存器 (EIR): 存储移动台设备参数的数据库, 用于对移动设备的鉴别和监视, 并拒绝非法移动台入网。
- 操作和维护中心 (OMC): 对全网中的每一个设备实体进行监控和操作, 实现对 GSM 网络内各部件的功能监视、状态报告、故障诊断、话务量统计和计费数据的记录与传递等功能。

② GSM 系统的接口

GSM 系统在制定技术规范时对其子系统之间及各功能实体之间的接口和协议做了具体的定义, 使得不同供应商提供的 GSM 系统设备能够符合统一的 GSM 技术规范而达到互联互通的目的, 最终实现国际漫游。GSM 系统各部分之间的接口如图 3-5-15 所示。

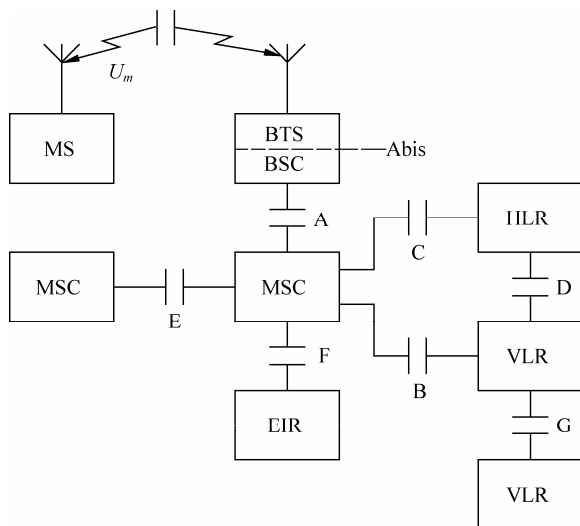


图 3-5-15 GSM 系统的接口

• 主要接口

GSM 系统的主要接口是指 A 接口、Abis 接口和 Um 接口。这三种接口的定义和标准化能保证不同供应商生产的移动台、基站子系统和网络子系统设备能纳入同一个 GSM 系统中运行和使用。

- A 接口: 定义为网络子系统 (NSS) 和基站子系统 (BSS) 之间的通信接口, 从功能实体来说, 就是移动交换中心 (MSC) 和基站控制器 (BSC) 之间的互

联接口，其物理连接通过标准的 2.048Mb/s PCM 数字传输链路来实现。

- Abis 接口：定义为基站子系统的两个功能实体基站控制器（BSC）和基站收发信机（BTS）之间的通信接口，用于 BTS 与 BSC 之间的远端互联。
- Um 接口：也称为“空中接口”，定义为移动台与基站收发信机（BTS）之间的通信接口，用于移动台与 GSM 系统之间的互通，其物理连接通过无线链路实现。

- 网络子系统内部接口

网络子系统由移动交换中心（MSC）、归属位置寄存器（HLR）、拜访位置寄存器（VLR）等功能实体构成，其内部接口包括 B、C、D、E、F、G 接口。

- B 接口：定义为 MSC 和 VLR 之间的接口，用于 MSC 向 VLR 询问有关移动台当前位置信息或者通知 VLR 有关移动台的位置更新信息等。
- C 接口：定义为 MSC 和 HLR 之间的接口，用于传递路由选择和管理信息。
- D 接口：定义为 HLR 和 VLR 之间的接口，用于交换有关移动台位置和用户管理的信息，保证移动台在整个服务区内能建立和接收呼叫。
- E 接口：定义为相邻区域的不同 MSC 之间的接口。当移动台在一个呼叫进行过程中，从一个 MSC 控制的区域移动到相邻 MSC 控制的区域时，利用此接口交换有关信息完成越区切换。
- F 接口：定义为 MSC 和 EIR 之间的接口，用于交换相关的国际移动设备识别码管理信息。
- G 接口：定义为两个 VLR 之间的接口。

- GSM 系统与其他公用电信网接口

GSM 系统通过 MSC 与公用电信网（PSTN、ISDN、PDN）互连，一般采用 7 号信令系统接口。

- ③ GSM 系统的主要参数

- 工作频率

我国 GSM 系有两个运营部门经营，频率使用情况如下：

中国移动：890~909 MHz（移动台发），935~954 MHz（基站发）

中国联通：909~915 MHz（移动台发），954~960 MHz（基站发）

GSM 系统收发双工频率间隔为 45 MHz，相邻频道（载波）间隔为 200 kHz。

- 多址方式

GSM 系统采用频分多址/时分多址（FDMA/TDMA）的混合多址接入技术，因此 GSM 系统是一个频率-时间分隔的蜂窝系统。载频间隔为 200kHz，每个载频按时间分隔成 8 个时隙的一个 TDMA 帧。

- 调制方式

GSM 系统的调制方式采用“高斯型最小移频键控（GMSK）”方式。

- 小区结构和载频复用

GSM 系统中的小区（cell）的覆盖半径有大有小。大者，小区覆盖半径可达 35km，适用于农村区域；小者，小区覆盖半径可降至 1km 左右，适用于市区。在高密度业务区，例如市中心，也可采用扇形小区结构。

载波干扰保护比（C/I）是指接收到的有用信号电平与干扰信号电平的比值，此比值与 MS 的瞬时位置有关。GSM 规范中规定同频道干扰保护比大于等于 9dB，因此系统可采用每个小区具有三个扇区（即相当于 9 个小区簇）的载频复用结构。

④ GSM 系统的信道

GSM 系统的信道可分为物理信道和逻辑信道。一个物理信道就是一个特定载频上的一个时隙；逻辑信道是根据 BTS 与 MS 之间传递的信息类型的不同而定义为不同的逻辑信道。逻辑信道又可分为业务信道（TCH）和控制信道（CCH）两类。

- 业务信道（TCH）

业务信道主要用于传送编码后的语音或用户数据，其次还有少量的随路控制信令。

- 控制信道（CCH）

用于传输信令或同步数据，包括广播信道、公用控制信道和专用控制信道。

- 广播信道（BCH）：均为下行信道，用于向 MS 发送广播消息。传输的内容主要是移动台入网和呼叫建立所需要的有关信息。该信道包含频率校正信道、同步信道和广播控制信道三类。
- 公用控制信道（CCCH）：双向控制信道，为系统内移动台所共用，用于呼叫接续阶段传输链路连接所需要的控制信令。其又分为寻呼信道（PCH）、随机接入信道（RACH）和准许接入信道（AGCH）三类。
- 专用控制信道（DCCH）：双向控制信道，其用途是在呼叫接续阶段以及在通信进行当中，在 MS 和 BS 之间传输必需的控制信息。其又分为独立专用控制信道（SDCCH）、慢速辅助控制信道（SACCH）和快速辅助控制信道（FACCH）三类。

⑤ GSM 系统中的路由和接续

- 移动用户呼叫固定用户

移动用户，包括漫游的移动用户，呼叫固定用户可分为两种情况：一种是呼叫 MSC 所在地的固定用户，移动用户经 MSC 至当地的市话局，出中继电路接至固定用户；另一种是呼叫外地固定电话，此时必须经过长途局，通过 PSTN 网进行接续，如图 3-5-16 所示。

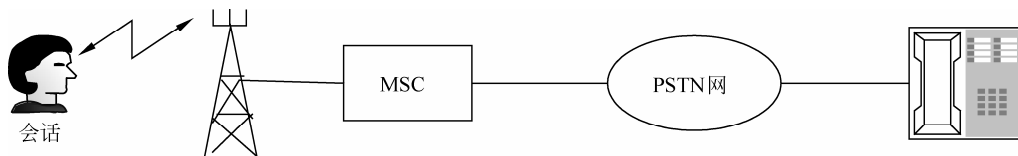


图 3-5-16 移动用户呼叫固定用户

- 固定用户呼叫移动用户

固定用户呼叫本地移动用户时,呼叫就近接入当地的一个数字移动交换中心(GMSC),通过号码分析,若是本地 HLR,通过 No.7 信令网从 HLR 得到目前移动用户的路由信息,在移动网中寻找路由进行接续。

固定用户呼叫外地移动用户时,呼叫接至长途局转至当地 MSC 或者直接接入当地 MSC,当地 MSC 分析号码查出被叫移动用户的 HLR 地址信息,通过 No.7 信令网从 HLR 得到目前移动用户的路由信息,在移动网中寻找路由进行接续,如图 3-5-17 所示。

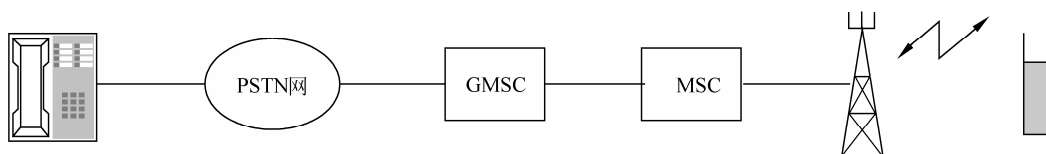


图 3-5-17 固定用户呼叫移动用户

⑥ GPRS (General Packet Radio Service) 技术

GPRS 是通用分组无线业务的简称,其是由英国 BT Cellnet 公司在 1993 年提出的,是 GSM Phase2.1 规范实现的内容之一。它可以在 GSM 网络上提供移动分组数据业务,可以面向用户提供移动分组的 IP 或者 X.25 连接,是 GSM 网络向第三代移动通信演进的第一步,故也称为第 2.5 代移动通信。

GPRS 的提出有两点重要的意义:一是在 GSM 网络中引入了一个基于 IP 的分组交换网络,可以更为有效的处理具有突发特性的数据业务;二是通过多时隙捆绑技术和 BSS 的统计多路复用将数据传输速率从 GSM 网的 9.6kb/s 提高到 115kb/s。巨大的吞吐量改变了 GSM 网原先单一的面向文本的无线数据应用,使得包括图片、语音和视频在内的多媒体业务成为现实。GPRS 手机用户可随时收发电子邮件,发送彩色数码相片以及玩网络游戏等。

GPRS 网络是在现有 GSM 网络中增加 GPRS 服务支持节点 (Serving GPRS Support Node, SGSN) 和 GPRS 网关支持节点 (Gateway GPRS Support Node, GGSN) 来实现的,使得用户能够在端到端分组方式下发送和接收数据。GPRS 无线接入仍使用与 GSM 同样的基站,但为了支持数据分组的接收,需要对基站软、硬件进行升级及更新,使之支持 GPRS 系统。其系统结构如图 3-5-18 所示。

GPRS 系统新增网元的主要功能如下:

- 分组控制单元 (PCU)

PCU 是基站子系统 (BSS) 为支持 GPRS 而引入的设备,它的主要功能是使 BSS 提供

数据功能，支持分组呼叫控制和分组数据传输，还有大部分分组无线资源管理功能。

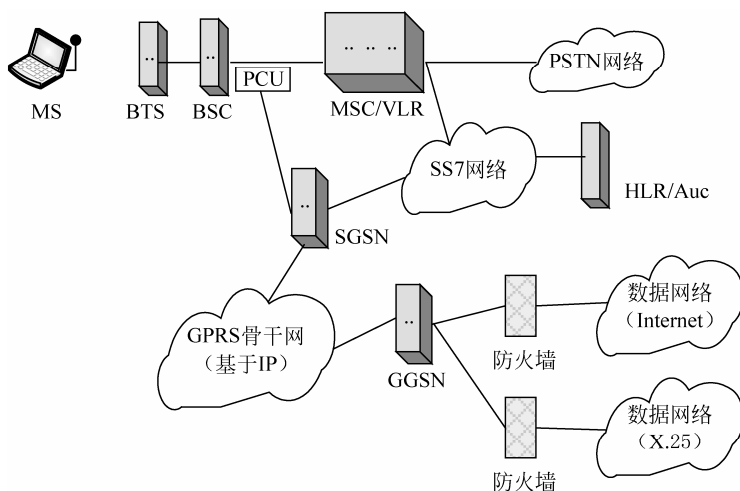


图 3-5-18 GPRS 系统结构

- 服务 GPRS 支持节点（SGSN）

SGSN 是为移动终端（MS）提供 GPRS 业务的节点。其主要作用是记录移动台的当前位置信息，为本 SGSN 服务区域的 MS 转发分组数据，其地位类似于 GSM 电路网中的 VMSC。

- 网关 GPRS 支持节点（GGSN）

GGSN 提供数据包在 GPRS 网络和外部数据网之间的路由和封装。用户选择哪一个 GGSN 作为网关，是在 PDP 上下文激活过程中根据用户的签约信息以及用户请求的接入点名（APN）确定的。

移动用户要上互联网必须经过两个步骤：一是移动台的 GPRS 附着功能，即 MS 请求接入 GPRS 业务，开始建立一个到 SGSN 的逻辑链路，在 MS 和 SGSN 中分别建立了移动性管理上下文；二是数据包协议（PDP）上下文激活功能，即 GPRS 用户与网络附着后，网络为 MS 分配一个 IP 地址，使其成为外部 IP 网络的一部分。

移动台通过 GPRS 发送数据包到外网用户的过程如图 3-5-19 所示。移动台发送的数据经由 BSS 送到 SGSN，然后通过隧道协议打包封装传送到 GGSN，由 GGSN 去封装从隧道中拿出原始的数据包，根据常规的外网路由机制传送到目的主机。

外网主机通过 GPRS 向移动台发送数据包的过程如图 3-5-20 所示。来自外网标识有移动台地址的数据包（如 IP 包），由 GGSN 接收，再转发移动用户相应的 SGSN，继而传送到移动台上。

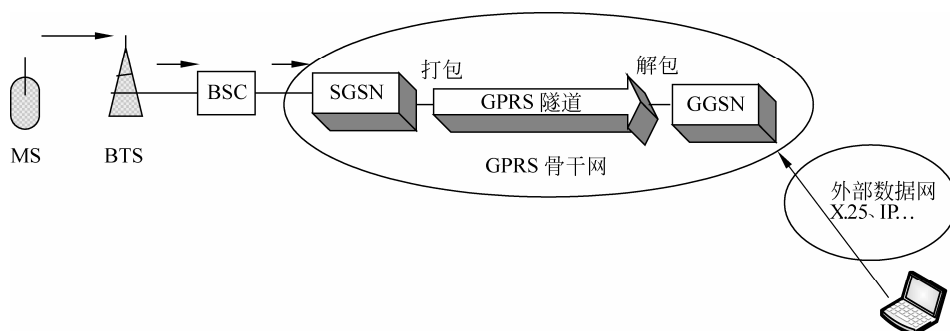


图 3-5-19 移动用户向外网目的主机发送数据包

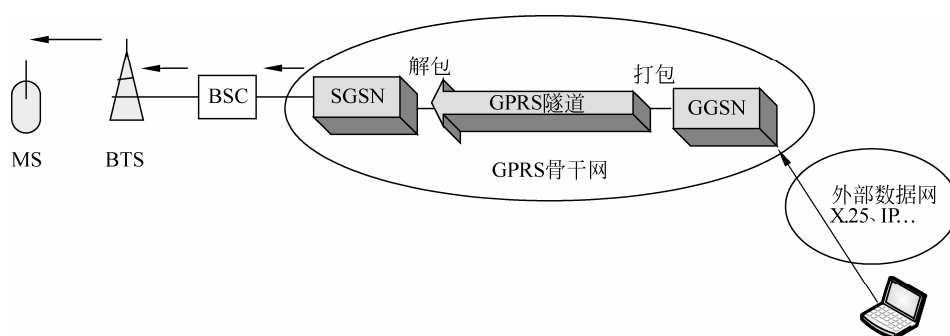


图 3-5-20 外网主机向移动用户发送数据包

(2) CDMA 蜂窝移动通信系统 (IS-95 系统)

美国蜂窝电信工业公司 (CTIA) 于 1988 年发布了一个称为“用户性能需求 (UPR)”的文件, 提出了对第二代蜂窝网通信系统的要求。与此同时, 美国 Qualcomm 公司开发的 CDMA 数字蜂窝网系统经过几项局部现场测试, 可以全面满足 CTIA 提出的要求, 且具有软容量、软切换等突出优点, 1993 年 7 月被正式采纳为北美数字蜂窝网临时标准 IS-95 (IS 是 Interim Standard 的缩写)。CDMA (Code Division Multiple Access) 是码分多址的英文缩写, 它是在扩频通信技术的基础上发展起来的一种无线多址通信技术, 由于它具有容量高、抗干扰能力强、保密性好等优点, 且能更充分地利用频谱资源, 解决频谱短缺问题, 因此被视为是实现第三代移动通信的首选技术。

① CDMA 技术标准化

自从 20 世纪 90 年代以来, CDMA 系统引起了人们广泛的关注, 一经出现就显出了强大的优势和广阔的应用前景, 许多国家纷纷引入 CDMA 技术进行组网运营。目前 CDMA 数字蜂窝移动通信系统已在许多国家城市中开通。图 3-5-21 给出了 CDMA 系统技术标准的演进发展过程。

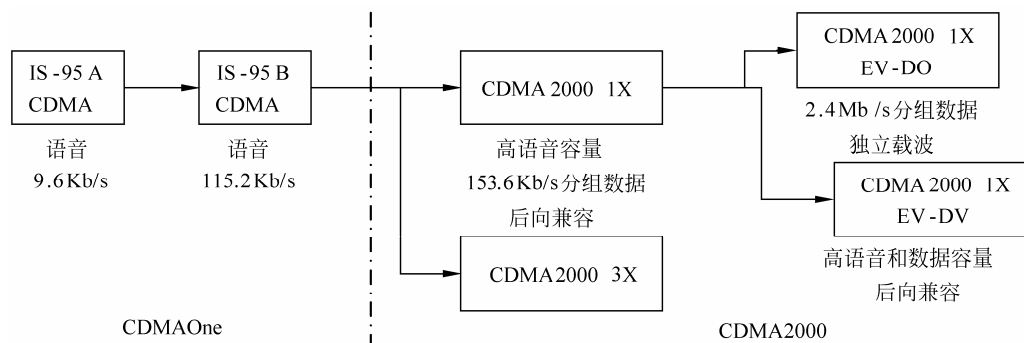


图 3-5-21 CDMA 系统的演进过程

• IS-95A

它是 CDMA 标准系列中第一个投入商用的标准。1995 年下半年，中国香港地区开通了世界上第一个 IS-95A CDMA 商用网络。IS-95A CDMA 系统工作频段为 800MHz，FDD 模式，系统带宽 1.25MHz，码片速率 1.2288Mc/s。其主要承载语音业务，语音速率采用速率集 1（Rate Set 1，RS1），支持 4 种速率：9.6kb/s、4.8kb/s、2.4kb/s 和 1.2kb/s。在本标准中采用了功率控制、软切换、Rake 分集接收等关键技术。

• IS-95B

IS-95A 商用以后，市场对较高速率数据业务的需求逐渐显现出来。基于这种需求，在 IS-95A 的基础上，又产生了 IS-95B。IS-95B 的核心思想是在不改变 IS-95A 物理层的前提下通过自适应信道捆绑技术来提供中速数据业务。即最大允许 8 个业务信道组合在一起给同一用户用于数据业务，其传输速率取决于使用的信道数，最高达到 115.2kb/s。支持高级的数据接入协议，例如 TCP 和 ADSL 等，为 Internet 的接入提供高速、灵活、方便的服务。工作于 800MHz/1900MHz 频段，支持速率集 1 和速率集 2（Rate Set 2，RS2），速率集 2 支持 4 种速率：14.4kb/s、7.2kb/s、3.6kb/s 和 1.8kb/s。IS-95B 实现数据业务需要将 8 个信道资源分配给一个用户，因此使用成本较高，在全球的商用系统较少。

IS-95A 和 IS-95B 统称为 CDMAOne，就是指基于 IS-95 标准的数字蜂窝网络。

• CDMA2000 1X

CDMA2000 作为窄带 CDMA 系统向第三代移动通信系统过渡的标准。CDMA2000 1X 是 CDMA2000 系统发展的第一个阶段，与现有的 IS-95 标准后向兼容，并可与 IS-95 系统的频段共享或重叠。CDMA2000 1X 系统载波 1.25MHz，前向链路和反向链路均采用 1.2288Mc/s 序列扩频的单载波实现。在 CDMA2000 1X 系统中，语音和低速数据业务在基本信道（Fundamental Channel，FCH）上传输，高速数据业务在补充信道（Supplemental Channel，SCH）上传输。从理论分析来看，如果传送语音业务，CDMA2000 1X 系统容量

是 IS-95 系统的 2 倍；如果传送数据业务，其是 IS-95 系统的 3.2 倍。

- CDMA2000 1X EV

由于分组数据业务和语音业务是两种性质完全不同的业务，二者对资源的需求具有截然不同的特点，考虑将这两种业务分别放在不同的载波或是采用同一个载波上来实现，因此提出了 CDMA2000 1X EV 技术。

当采用不同的载波实现数据和语音的传输时，称为 CDMA2000 1X EV-DO (Data Only) 系统，其前向链路数据速率最高可达 2.4Mb/s，反向链路数据速率最高可达 153.6kb/s。其通过对二者采取不同的传输和控制方法，大大简化了系统设备的结构和资源控制软件，使两种业务分别得到了较好的服务质量。

当采用同一个载波实现数据和语音的传输时，称为 CDMA2000 1X EV-DV (Data & Voice) 系统，其前向链路数据速率最高可达 3.1Mb/s，反向链路数据速率最高可达 1.8Mb/s。其在同一载波上同时传输实时语音和非实时数据，需要复杂的控制机制来协调，难度较大，且会影响到核心网的部署。

- ② CDMA 蜂窝移动通信网的特点

CDMA 数字蜂窝系统是在 FDMA 和 TDMA 技术的基础上发展起来的，与 FDMA 和 TDMA 相比，CDMA 具有许多独特的优点，其中一部分是扩频通信系统所固有的，另一部分则是由软切换和功率控制等技术所带来的。CDMA 移动通信网的优点如下：

- 系统容量大

根据理论分析，CDMA 蜂窝系统与模拟蜂窝系统或 TDMA 数字蜂窝系统相比，具有更大的通信容量。通过简单的比较，CDMA 移动网容量比模拟网大 20 倍，实际比模拟网大 10 倍，比 GSM 网要大 4~5 倍。

- 保密性好

CDMA 系统采用了扩频技术，可以使通信系统具有抗干扰、抗多径衰落、隐蔽、保密的能力。

- 软切换

CDMA 蜂窝系统具有“软切换”功能，即在越区切换的起始阶段，由原小区 BS 与新小区 BS 同时为越区的 MS 服务，直到该 MS 与新 BS 间建立可靠的通信链路后，才中断与原 BS 的联系。软切换可有效避免存在于硬切换过程中的“乒乓效应”问题，且软切换中没有通信中断的现象，从而提高了通信质量。

- 软容量

CDMA 系统中系统容量与用户数之间存在一种“软”的关系，称为“软容量特性”。CDMA 蜂窝通信系统的全部用户共享一个无线信道，用户信号的区分只靠所用码型的不同，因此当蜂窝系统负荷满载时，另外增加少数用户，只会引起语音质量的轻微下降，而

不会出现阻塞现象。而在 FDMA 和 TDMA 蜂窝系统中，当全部频道或时隙被占满之后，哪怕只增加一个用户也不可能。CDMA 系统的软容量特性对于解决通信高峰期时的通信阻塞问题和提高用户过载切换的成功率来说都是有益的。

- 频率规划简单

用户按照不同的序列码来区分，所以相同 CDMA 载波可在相邻小区内使用，网络规划简单、灵活。

③ CDMA 网络结构及接口标准

CDMA 蜂窝通信系统的网络结构如图 3-5-22 所示，它与 TDMA 蜂窝系统的网络结构相类似，主要由三大部分组成：网络子系统、基站子系统和移动台。

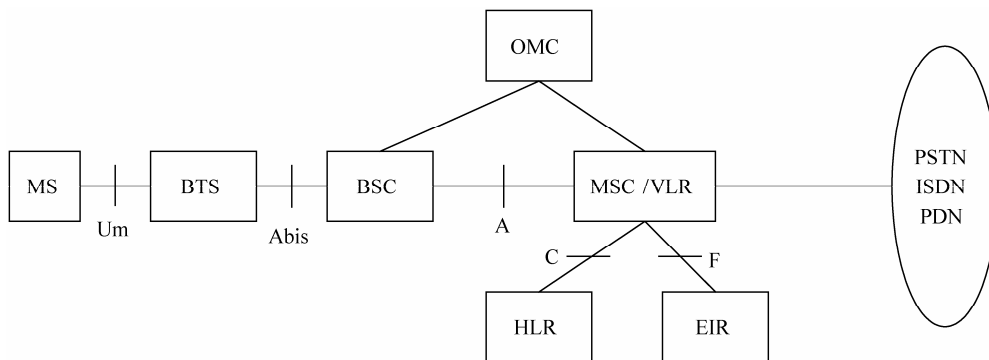


图 3-5-22 CDMA 系统网络结构

实际上，TDMA、CDMA 系统在运行环境、业务要求和控制功能上基本相同，因而网络结构也大同小异，其差异在于无线信道的构成，以及与之相关的无线接口和无线设备不同，当然也包括一些特殊的控制功能。因此其各部分的功能和用途与 GSM 系统中大致一样，这里不再累述。

在上述三大部分中，存在着几个重要接口。

- 空中接口：基站与移动台之间的信号互通。此接口遵守 IS-95A 标准，考虑到中国实际情况，可以不考虑兼容 AMPS 系统的部分，同时参考 J-STD-008.TSB74 标准。
- A 接口：基站子系统与交换网络子系统之间的接口，主要传递移动台管理、基站管理、移动性管理、接续管理等功能。
- Abis 接口：基站子系统中基站控制器与基站收发信机之间的接口，支持对 BTS 无线设备的控制。
- 交换网络子系统内部功能实体之间的接口：此类接口将连接 MSC、VLR、HLR、EIR、AUC，标准主要参照 IS-41C。

④ CDMA 系统的逻辑信道

在 CDMA 系统中,除要传输业务信息外,还要传输各种控制信息,即 CDMA 系统配置了各种逻辑信道,它们均是由不同的码序列来区分的。在 CDMA 系统中,收发使用不同的载频,即通信方式为 FDD 方式,双工间隔 45MHz。正向传输(基站→移动台)工作频率为 869~894MHz;反向传输(移动台→基站)工作频率为 824~849MHz。这些信道示意图如图 3-5-23 所示。

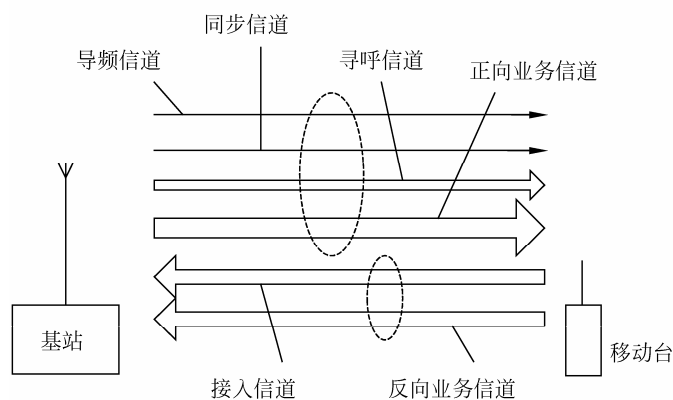


图 3-5-23 CDMA 蜂窝系统信道分类

- 导频信道 (Pilot Channel)

用于传送导频信息,传输由 BS 连续不断的发送不包含信息数据的一种直接序列扩频信号,供移动台识别基站并引导移动台入网。

- 同步信道 (Sync. Channel)

基站在此信道发送同步信息供移动台建立与系统的定时和同步。一旦同步建立,移动台就不再使用同步信道。

- 寻呼信道 (Paging Channel)

基站在此信道寻呼移动台,发送有关寻呼指令及业务信道指配信息。当有用户呼入移动台时,基站就利用此信道来寻呼移动台,以建立呼叫。

- 正向业务信道 (Traffic Channel)

用于基站到移动台之间的通信,主要传送用户业务数据,同时也传送随路信令。例如功率控制信令信息、切换指令等就是插入在此信道中传送的。

- 接入信道 (Access Channel)

一个随机接入信道,供网内移动台随机占用,移动台在此信道发起呼叫或对基站的寻呼信息进行应答。

- 反向业务信道

供移动台到基站之间通信,它与正向业务信道一样,用于传送用户业务数据,同时也

传送信令信息，例如功率控制信息等。

⑤ CDMA 系统的关键技术

CDMA 系统中的关键技术包括：同步技术、Rake 接收技术、功率控制和软切换。

• 同步技术

PN 码序列同步是扩频系统特有的，也是扩频技术中的难点。CDMA 系统要求接收机的本地伪随机码 PN 序列与接收到的 PN 码在结构、频率和相位上完全一致，否则就不能正常接收所发送的信息，接收到的只是一片噪声。若 PN 码序列不同步，即使实现了收发同步，也不能保持同步，也无法准确可靠地获取所发送的信息数据。因此，PN 码序列的同步是 CDMA 扩频通信的关键技术。

CDMA 系统中的 PN 码同步过程分为 PN 码捕获和 PN 码跟踪两部分。

PN 码序列捕获指接收机在开始接收扩频信号时，选择和调整接收机的本地扩频 PN 序列相位，使它与发送端的扩频 PN 序列相位基本一致（码间定时误差小于 1 个码片间隔），即接收机捕捉发送的扩频 PN 序列相位，也称为扩频 PN 序列的初始同步。捕获的方法有多种，例如滑动相关法、序贯估值法及匹配滤波器法等，滑动相关法是最常用的方法。

PN 码跟踪则是自动调整本地码相位，进一步缩小定时误差，使之小于码片间隔的几分之一，达到本地码与接收 PN 码频率和相位精确同步。

• Rake 接收技术

移动通信信道是一种多径衰落信道，Rake 接收技术就是分别接收每一路的信号进行解调，然后叠加输出达到增强接收效果的目的，这里多径信号不仅不是一个不利因素，反而在 CDMA 系统中变成了一个可供利用的有利因素。

• 功率控制

功率控制技术是 CDMA 系统的核心技术。CDMA 系统是一个自干扰系统，所有移动用户都占用相同带宽和频率，“远近效应”问题特别突出，即工作在相同频率的近地移动台会将远地移动台的信号发生完全压制的现象。CDMA 功率控制的目的是克服“远近效应”，使系统既能维持高质量通信，又不对其他用户产生干扰。

功率控制分为正向功率控制和反向功率控制，反向功率控制又分为仅有移动台参与的开环功率控制和移动台、基站同时参与的闭环功率控制。

➤ 反向开环功率控制

小区中的移动台接收并测量基站发来的导频信号，根据接收的导频信号的强弱估计正确的路径传输损耗，并根据这种估计来调节移动台的反向发射功率。若接收信号很强，表明移动台距离基站很近，移动台就降低其发射功率，否则就增强其发射功率。小区中所有的移动台都有同样的过程，因此，所有移动台发出的信号在到达基站时都有相同的功率。

开环功率控制的优点是简单易行，不需要在移动台和基站之间交换控制信息，因而控制速度快且节省开销。根据 IS-95 标准，开环功控具有正负 32dB 的动态范围，可提供几个

微秒级的快速响应。开环功控仅仅对付慢衰落较有效,即对车载移动台快速驶入(或驶出)高大建筑物遮蔽区所引起的衰落有效,而对因多径效应引起的瑞利衰落,效果不佳。这是由于 IS-95 系统是一个频分双工系统,全双工无线信道的频率间隔为 45MHz,大大超过了信道的相关带宽,即上行和下行信道的多径衰落成为相互独立的过程,衰落特性不一致。为了解决这个问题,可采用闭环功率控制。由此我们得到,开环功控通常提供正确的平均发射功率,但必须对不相关的瑞利衰落采用“闭环”措施进行修正。

➤ 反向闭环功率控制

对于信号因多径传播而引起的瑞利衰落变化,反向开环功率控制的效果不好。闭环功率控制的设计目标是使基站对移动台的开环功率估计迅速做出纠正,以使移动台保持最理想的发射功率。

所谓反向闭环功率控制,是指由基站检测来自移动台的信号强度,并根据测得的结果,形成功率调整指令,通知移动台增加或减小其发射功率,移动台根据此调整指令来调节其发射功率。实现这种办法的条件是传输调整指令的速度要快,处理和执行调整指令的速度也要快。一般情况下,这种调整指令每毫秒发送一次就可以了。

➤ 正向功率控制

正向功率控制是指基站调整每个移动台的发射功率。其目的是对径衰落小的移动台分派较小的前向链路功率,而对那些远离基站的和误码率高的移动台分派较大的前向链路功率,使任一移动台无论处于小区中的什么位置,收到基站发来的信号电平都恰好达到信干比所要求的门限值。在正向功率控制中,移动台监测基站送来的信号强度,并不断地比较信号电平和干扰电平的比值,如果小于预定门限,则给基站发出增加功率的请求。

● 软切换

与 GSM 系统不同,CDMA 系统中越区切换分为三类:软切换、更软切换和硬切换。

➤ 软切换

软切换在工作在相同频率的两个小区之间进行,是 CDMA 系统特有的切换方式。在软切换过程中,移动台同时与原基站和新基站都保持通信链路,即移动台可同时与两个或多个基站通信。另外,在软切换中,不需要进行频率的转换,只需导频信道 PN 序列偏移的转换。最后软切换在两个基站覆盖区的交界处起到了业务信道的分集作用,可大大减小由于切换造成的通信中断,还可以避免小区边界处的“乒乓效应”(在两个小区间来回切换)问题,因此提高了通信质量。

➤ 更软切换

更软切换是指工作在不同频率上的在一个小区内的不同扇区之间的信道切换。此切换只需通过小区基站便可完成,不需要 MSC 的处理,故称之为更软切换。

➤ 硬切换

硬切换是指载波频率不同的基站覆盖小区之间的信道切换。在 CDMA 系统中,一个

小区中可以有多个载波频率。例如在热点小区中，其频率数要多于相邻小区。因此，当进行切换的两个小区的频率不同时，就必须进行硬切换。在硬切换中，既有载波频率的转换，又有导频信道 PN 序列偏移的转换。在硬切换中，移动用户和基站的通信链路有一个很短的中断时间。

4. 第三代移动通信系统（3G）

第三代（3rd Generation, 3G）移动通信系统，国际电联也称为 IMT—2000（International Mobile Telecommunications in the year 2000），它能够将语音通信和多媒体通信相结合，其可能的增值服务将包括图像、音乐、网页浏览、视频会议以及其他一些信息服务。3G 意味着全球适用的标准、新型业务、更大的覆盖面以及更多的频谱资源，以支持更多用户。

（1）3G 的概念和目标

早在 1985 年 ITU-T 就提出了第三代移动通信系统的概念，最初命名为“未来公共陆地移动通信系统（FPLMTS）”。后来考虑到该系统将于 2000 年左右进入商用市场，工作的频段在 2000 MHz，且最高业务速率为 2000 kb/s，故于 1996 年正式更名为 IMT—2000（International Mobile Telecommunication—2000）。

第三代移动通信系统的目标是能提供多种类型、高质量的多媒体业务；能实现全球无缝覆盖，具有全球漫游能力；与固定网络的各种业务相互兼容，具有高服务质量；与全球范围内使用的小型便携式终端在任何时候任何地点进行任何种类的通信。

为了实现上述目标，对第三代无线传输技术（RTT）提出了支持高速多媒体业务（高速移动环境：144 kb/s；室外步行环境：384 kb/s；室内环境：2 Mb/s）的要求。

（2）3G 的系统结构和接口

图 3-5-24 为 ITU 定义的 IMT—2000 的功能子系统和接口。从图中可以看到，IMT—2000 系统由终端（UIM+MT）、无线接入网（RAN）和核心网（CN）三部分构成。

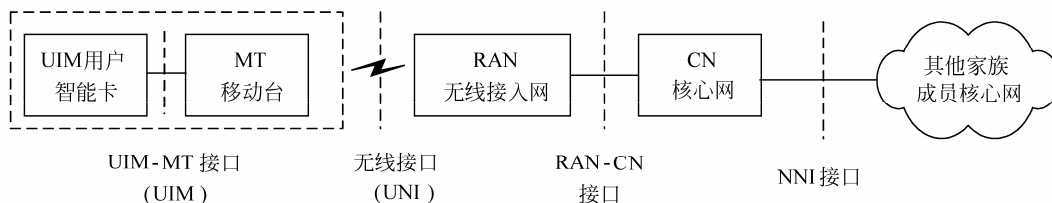


图 3-5-24 IMT—2000 系统结构和接口

终端部分完成终端功能，包括用户识别模块（UIM）和移动台（MT），UIM 的作用相当于 GSM 中的 SIM 卡；无线接入网（RAN）完成用户接入业务的全部功能，包括所有与空中接口相关的功能；核心网（CN）由交换网和业务网组成，交换网完成呼叫和承载控制的所有功能，业务网完成支撑业务所需的功能，包括位置管理。

IMT—2000 系统中的几个接口如下：

- UNI 接口：移动台与基站之间的无线接口。
- RAN-CN 接口：无线接入网和核心网之间的接口。
- NNI 接口：核心网与其他 IMT—2000 家族核心网之间的接口。

无线接口的标准化和核心网络的标准化工作对 IMT—2000 整个系统和网络来说是非常重要的。

(3) 3G 的标准化

3G 的标准化分为无线传输技术 (RTT) 和核心网技术的标准化。

① 无线接口的标准化

1999 年 10 月 25 日到 11 月 5 日，在芬兰召开的 ITU-T G8/1 第 18 次会议通过了 IMT—2000 无线接口技术规范建议，最终确定了 IMT—2000 所包含的 5 个无线接口技术标准，其中 2 个基于 TDMA 技术，3 个基于 CDMA 技术，分别为 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA 标准，如图 3-5-25 所示。

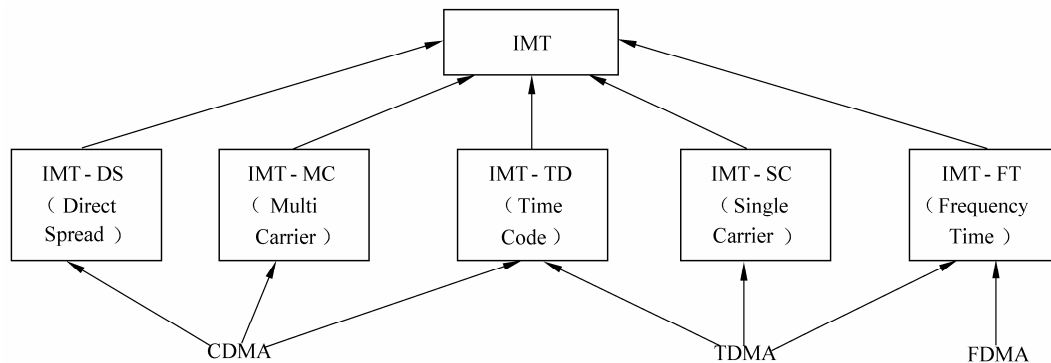


图 3-5-25 IMT—2000 地面无线接口标准

② 核心网的标准化

从核心网的角度看，发展演进分为两个阶段：第一阶段主要是在第二代两大核心网 GSM MAP 和 ANSI-41 的基础上，引入第三代移动通信无线接入网络，通过电路交换和分组交换并存的网络来实现电路型语音业务和分组数据业务；第二阶段是建立纯 IP 网。

• GSM 核心网的演进

标准化组织 3GPP 成立于 1998 年 12 月，由欧洲 ETSI、日本 ARIB、韩国 TTA 和美国的 T1 等组成。主要制定基于 GSM MAP 核心网，WCDMA 和 CDMA TDD 为无线接口的标准，称为 UTRA。最终核心网的演进将基于 GSM MAP 电路域、分组域向全 IP 网络演进。

- ANSI-41 核心网的演进

标准化组织 3GPP2 成立于 1999 年 1 月，由美国的 TTA、日本 ARIB、韩国 TTA 等组成。负责制定基于 ANSI-41 核心网、以 CDMA2000 为无线接口的标准。最终核心网的演进将基于 ANSI-41 电路域、分组域向全 IP 网络演进。

- (4) 3G 的应用及关键技术

- ① 3G 的应用

IMT-2000 能提供至少 144 kb/s 的高速大范围的覆盖（希望能达到 384 b/s），同时也能对慢速小范围提供 2 Mb/s 的速率。3G 系统能提供不同的数据率，将更有效地利用频谱。3G 不仅能提供 2G 系统已经存在的服务，而且还引入新的服务，使其对用户有更大的吸引力。3G 提供新的应用主要有如下一些领域：

- Internet，一种非对称和非实时的服务。
- 可视电话，一种对称和实时的服务。
- 移动办公室，能提供 E-mail、WWW 接入、Fax 和文件传递服务等。

- ② 3G 的关键技术

- 初始同步

CDMA 通信系统接收机的初始同步包括 PN 码同步、符号同步、帧同步和扰码同步等。

CDMA2000 系统的初始同步通过对导频信道的捕获建立 PN 码同步和符号同步，通过同步信道的接收建立帧同步和扰码同步。

WCDMA 系统的初始同步需要通过“三步捕获法”进行，即通过对基本同步信道的捕获建立 PN 码同步和符号同步，通过对辅助同步信道的不同扩频码的非相干接收，确定扰码组号，最后通过对可能的扰码进行穷举搜索，建立扰码同步。

- Rake 接收技术

同我们在 IS-95 中所介绍的一样，3G 系统中 Rake 接收也是一项关键技术。为实现相干形式的 Rake 接收，需发送未经调制的导频信号，以使接收端能在确知已发数据的条件下估计出多径信号的相位，以实现相干方式的最大信噪比合并。

WCDMA 系统采用多用户专用的导频信号实现 Rake 接收。

CDMA2000 系统下行链路采用公用导频信号，用户专用的导频信号仅作为备选方案用于使用智能天线的系统；上行信道则采用用户专用的导频信道。

- 高效信道编译码技术

采用高效信道编码技术是为了进一步改进通信质量，在 3G 主要提案中，除采用与 IS-95 CDMA 系统类似的卷积编码和交织技术外，还建议采用 Turbo 编码和 RS 与卷积级联码技术。

- 智能天线技术

智能天线技术能够在较大程度上起到抑制多用户干扰，从而提高系统容量的作用。智

能天线的实现包括两个重要的部分：一是对来自移动台发射的多径电波方向进行入射角（DOA）估计，并进行空间滤波，抑制其他移动台的干扰；二是对基站发送的信号进行波束形成，使基站发送信号能够沿着移动台电波的到达方向发送回移动台，从而降低发射功率，减少对其他移动台的干扰。实现智能天线的困难在于由于存在多径效应，每个天线均需要一个 Rake 接收机，从而使基带处理单元复杂度明显提高。

- 多用户检测技术

把所有用户的信号都当成有用信号而不是干扰信号来处理，消除多用户之间的相互干扰，改善系统容量。

- 功率控制技术

WCDMA 和 CDMA2000 支持开环、内环、外环等多种功率控制技术，提高了功率控制的准确度。

- 软切换

WCDMA 系统在切换上优化了软切换门限方案，改进了软切换性能，实现了无缝切换；CDMA2000 采用了宏分集和软切换技术；TD-SCDMA 采用了接力切换技术。

（5）3G 的主要技术体制

3G 的主要技术体制包括 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA。

① WCDMA 技术体制

发起者主要是欧洲和日本标准化组织和厂商，核心网基于 GSM/GPRS 网络演进，保持与 GSM/GPRS 网络的兼容性。其逻辑上分为电路域和分组域两部分，分别完成电路型业务和分组型业务。核心网可以基于 TDM、ATM 和 IP 技术，并向全 IP 的网络结构演进。MAP 技术和 GPRS 隧道技术是 WCDMA 体制移动性管理机制的核心。

UTRAN（UMTS 陆地无线接入网）基于 ATM 技术，统一处理语音和分组业务，并向 IP 方向发展。

空中接口采用 WCDMA，信号带宽 5MHz，码片速率 3.84Mb/s。

② CDMA2000 技术体制

发起者主要以美国 and 韩国为主的以 IS-95 CDMA 为标准的制造商和运营公司，CDMA2000 体制是基于 IS-95 的标准提出的 3G 标准，其标准化工作由 3GPP2 完成。

核心网电路域继承 2G IS-95 CDMA 网络，引入 WIN（无线智能网）为基本架构的业务平台。核心网分组域基于 Mobile IP 技术。

无线接入网以 ATM 交换机为平台，提供丰富的适配层接口。

空中接口采用 CDMA2000，信号带宽 $N \times 1.25\text{MHz}$ ($N=1,3,6,9,12$)，码片速率为 $N \times 1.2288\text{Mc/s}$ 。

③ TD-SCDMA 技术体制

TD-SCDMA 标准由中国无线通信标准组织（CWTS）提出，目前已经融合到 3GPP 关于 WCDMA-TDD 的相关规范中。

TD-SCDMA 的核心网、无线接入网和移动性管理机制基本与 WCDMA 规范一样。

空中接口采用 TD-SCDMA，具有“3S”的特点，即智能天线（Smart Antenna）、同步 CDMA（Synchronous CDMA）和软件无线电（Software Radio）。

三种技术体制的简单比较如表 3-5-1 所示。

表 3-5-1 三种技术体制的简单比较

	WCDMA	TD-SCDMA	CDMA2000
载频间隔	5M×2	1.6M	1.25M×2
码片速率	3.84Mc/s	1.28Mc/s	1.2288Mc/s
双工方式	FDD	TDD	FDD
功率控制	开环结合快速闭环	开环结合闭环	开环结合快速闭环
功控速率	1500 次/秒	200 次/秒	800 次/秒
基站同步	同步/异步	同步	同步

3.5.2 考试要点

- （1）了解移动通信的发展历史和蜂窝网络的网络结构演进。
- （2）熟悉移动通信的工作方式和常见的移动通信系统。
- （3）掌握移动通信的特点。
- （4）掌握移动信道的电波传播特性的两个效应：多径效应和阴影效应。
- （5）熟悉 2G 移动系统采用的数字调制技术。
- （6）熟悉移动系统中采用的两种扩频技术。
- （7）掌握分集接收技术的概念和作用。熟悉均衡和信道编码的作用。
- （8）掌握移动通信中常用的多址技术。
- （9）掌握小区制覆盖技术、同频再用及干扰、激励方式等概念。
- （10）掌握越区切换和位置管理的概念。
- （11）掌握 GSM 和 GPRS 的网络结构。
- （12）熟悉 GSM 系统的主要参数、逻辑信道分类。
- （13）了解 CDMA 技术标准化工作。
- （14）掌握 IS-95CDMA 系统的网路结构、特点。
- （15）熟悉 IS-95CDMA 系统的逻辑信道分类和采用的关键技术。
- （16）掌握 3G 的概念、目标和主要技术体制。

3.5.3 习题集精粹及答案

一、判断题

1. 移动通信是指通信的一方可以在移动中进行的通信过程。

【参考答案】×

【分析】移动通信中的一方或双方都可以在移动中通信。

2. 在时间域，多径效应导致频率选择性衰落；在频率域，导致时延扩展；如果没有抗衰落的措施，则信号的传输速率受到限制。

【参考答案】×

【分析】在时间域，多径效应导致时延扩展；在频率域，导致频率选择性衰落。

3. 阴影衰落属于慢衰落，衰落周期以秒级计，衰落速率与时间无关。

【参考答案】×

【分析】衰落速率与频率无关。

4. 为了克服大区制的缺点，提出了小区制，小区制应用了频率域的同信道再用技术。

【参考答案】×

【分析】小区制应用了空间域的同信道再用技术。

5. CDMA 系统中的 PN 码同步过程分为 PN 码捕获和 PN 码跟踪两部分。

【参考答案】√

【分析】CDMA 系统中的 PN 码同步过程分为 PN 码捕获和 PN 码跟踪两部分。

6. CDMA 系统所有移动用户都占用相同带宽和频率，是一个自干扰系统。

【参考答案】√

【分析】CDMA 系统所有移动用户都占用相同带宽和频率，是一个自干扰系统。

7. TD-SCDMA 采用了软切换技术。

【参考答案】×

【分析】“软切换”改为“接力切换”。

8. 空中接口采用 TD-SCDMA，具有“3S”的特点，即智能天线、异步 CDMA 和软件无线电（Software Radio）。

【参考答案】×

【分析】“异步 CDMA”改为“同步 CDMA”。

9. 第三代无线传输技术（RTT）提出了支持高速多媒体业务的要求，其中室外步行环境要求速率达到 2 Mb/s。

【参考答案】×

【分析】“室外步行环境”改为“室内环境”。

10. 更软切换是指工作在相同频率上的相邻小区间的信道切换。

【参考答案】×

【分析】“相邻小区间”改为“在一个小区内的不同扇区之间”。

二、单项选择题

1. () 工作方式适合于专用移动通信（如汽车调度）系统中。

- A. 单工制 B. 半双工制 C. 双工制 D. 三工制

【参考答案】B。

【分析】半双工制主要用于专用移动通信系统中，例如汽车调度等。

2. () 系统是一种以有线电话网为依托的通信方式，即它是有线电话网的无线延伸。

- A. 蜂窝移动通信 B. 集群移动通信 C. 无绳电话 D. 移动卫星通信

【参考答案】C。

【分析】无绳电话是一种以有线电话网为依托的通信方式，即它是有线电话网的无线延伸。

3. 快衰落是由多径产生的衰落，衰落速率可达每秒 () 次。

- A. 10~20 B. 20~30 C. 30~40 D. 40~50

【参考答案】C。

【分析】快衰落是由多径产生的衰落，衰落速率可达每秒 30~40 次。

4. 快衰落是由多径产生的衰落，衰落深度约为 () dB 左右。

- A. 10 B. 20 C. 30 D. 40

【参考答案】C。

【分析】快衰落是由多径产生的衰落，衰落深度约为 30 dB 左右。

5. () 调制用于 2G 系统 GSM 系统中。

- A. MSK B. GMSK C. QPSK D. OQPSK

【参考答案】B。

【分析】GMSK 调制用于 2G 系统 GSM 系统中。

6. () 扩频技术用于 IS-95 CDMA 系统中。

- A. 直接序列 B. 跳频 C. 跳时 D. 线性调频

【参考答案】A。

【分析】直接序列扩频（DS）技术用于 IS-95 CDMA 系统中。

7. () 技术可以实现时间隐分集。

- A. 扩频 B. 调制 C. 交织编码 D. 均衡

【参考答案】C。

【分析】实现时间隐分集的技术主要有交织编码技术。

8. 移动通信中常采用 () 均衡器。

- A. 时域 B. 频域 C. 自适应时域 D. 自适应频域

【参考答案】C。

【分析】移动通信中常采用自适应时域均衡器。

9. () 技术应用于 IS-95 系统和 3G 系统中。

- A. FDMA B. TDMA C. CDMA D. SDMA

【参考答案】C。

【分析】CDMA 技术应用于 IS-95 系统和 3G 系统中。

10. () 技术在 TD-SCDMA 中引入, 是智能天线技术的集中体现。

- A. FDMA B. TDMA C. CDMA D. SDMA

【参考答案】D。

【分析】SDMA 在中国第三代通信系统 TD-SCDMA 中引入。

11. 不同集群中的相同频率的小区会产生 ()。

- A. 互调干扰 B. 邻道干扰 C. 同频干扰 D. 多址干扰

【参考答案】C。

【分析】不同集群中的相同频率的小区会产生同频干扰。

12. CDMA 系统的 () 特性对于解决通信高峰期时的通信阻塞问题和提高用户过载切换的成功率来说都是有益的。

- A. 软切换 B. 软容量 C. 硬切换 D. 硬容量

【参考答案】B。

【分析】CDMA 系统的软容量特性对于解决通信高峰期时的通信阻塞问题和提高用户过载切换的成功率来说都是有益的。

13. IS-95CDMA 系统中采用的 () 可有效避免“乒乓效应”问题, 切换没有通信中断的现象, 从而提高了通信质量。

- A. 硬切换 B. 软切换 C. 无缝切换 D. 平滑切换

【参考答案】B。

【分析】软切换可有效避免存在于硬切换过程中的“乒乓效应”问题, 且软切换中没有通信中断的现象。

14. CDMA 系统是一个自干扰系统, 所有移动用户都占用相同带宽和频率, () 问题特别突出。

- A. 互调干扰 B. 同频干扰 C. 邻道干扰 D. 远近效应

【参考答案】D。

【参考答案】CDMA 系统是一个自干扰系统, 所有移动用户都占用相同带宽和频率, “远近效应”问题特别突出。

15. CDMA 系统内采用 () 技术克服远近效应, 使系统既能维持高质量通信, 又

不对其他用户产生干扰。

- A. Rake 接收 B. 功率控制 C. 软切换 D. 时间调整

【参考答案】B。

【分析】CDMA 功率控制的目的是克服“远近效应”。

16. TD-SCDMA 系统的功控速率为（ ）次/秒。

- A. 200 B. 600 C. 800 D. 1500

【参考答案】A。

【分析】TD-SCDMA 系统的功控速率为 200 次/秒。

三、多项选择题

1. 移动台可能在各种环境中运动，在传输过程中会出现（ ）的影响，造成信号传播延时、展宽和衰落等问题，严重影响接收信号的质量。

- A. 多径效应 B. 阴影效应 C. 多普勒效应 D. 非线性效应

【参考答案】ABC。

【分析】移动台在传输过程中会出现多径效应、多普勒效应和阴影效应的影响。

2. 移动台在通信过程中不仅受到城市环境中的各种工业噪声和天电干扰的影响，同时在系统组网过程中还存在（ ）干扰等。

- A. 互调干扰 B. 同频干扰 C. 邻道干扰 D. 电磁干扰

【参考答案】ABC。

【分析】移动台在系统组网过程中还存在互调干扰、邻道干扰、同频干扰等。

3. 在移动环境中对移动终端的要求有体积小、（ ）等。

- A. 省电 B. 操作简单 C. 携带方便 D. 重量轻

【参考答案】ABCD。

【分析】对移动终端的要求有体积小、重量轻、省电、操作简单和携带方便。

4. 移动通信系统中的双工方式有（ ）两种形式。

- A. 频分双工（FDD） B. 时分双工（TDD）
C. 码分双工（CDD） D. 空分双工（SDD）

【参考答案】AB。

【分析】双工方式有频分双工（FDD）和时分双工（TDD）两种形式。

5. 移动通信按频率使用和工作状态可分为（ ）。

- A. 单工制 B. 半双工制 C. 双工制 D. 三工制

【参考答案】ABC。

【分析】移动通信按频率使用和工作状态可分为单工制、半双工制和双工制。

6. 根据服务对象，移动通信系统主要有（ ）两类。

- A. 公用移动通信 B. 专用移动通信

C. 陆地移动通信

D. 海上移动通信

【参考答案】AB。

【分析】根据服务对象，移动通信系统主要有公用移动通信和专用移动通信两类。

7. 相比于蜂窝移动通信系统，集群移动通信系统的特点有（ ）。

A. 专用移动通信网

B. 公用移动通信网

C. 半双工工作方式

D. 全双工工作方式

【参考答案】AC。

【分析】集群移动通信系统的特点如下：属于专用移动通信网，采用半双工工作方式。

8. 用于移动通信系统的扩频通信技术主要有（ ）两类。

A. 直接序列扩频（DS）

B. 跳频扩频（FH）

C. 跳时扩频（TH）

D. 线性调频

【参考答案】AB。

【分析】用于移动通信的扩频技术主要直接序列扩频（DS）和跳频扩频（FH）。

9. 经常采用（ ）技术来有效地提高移动通信系统的抗衰落性能。

A. 分集

B. 信源编码

C. 均衡

D. 信道编码

【参考答案】AC。

【分析】采用分集、均衡和信道编码技术来解决移动系统的抗衰落性能。

10. 依据传输信号的方式不同，隐分集技术可分为（ ）隐分集。

A. 空间

B. 时间

C. 频率

D. 角度

【参考答案】BC。

【分析】依据传输信号的方式不同，隐分集技术可分为时间隐分集和频率隐分集。

11. 在蜂窝移动通信系统中，移动性管理技术包含三个方面的内容：（ ）和位置管理。

A. 越区切换

B. 漫游

C. 移动管理

D. 位置管理

【参考答案】AB。

【分析】移动性管理技术包含越区切换、漫游和位置管理。

12. GSM 系统采用的多址方式有（ ）。

A. FDMA

B. TDMA

C. CDMA

D. SDMA

【参考答案】AB。

【分析】GSM 系统采用频分多址/时分多址（FDMA/TDMA）的混合多址接入技术。

13. CDMA 系统中的关键技术包括（ ）。

A. Rake 接收

B. 功率控制

C. 软切换

D. 同步技术

【参考答案】ABCD。

【分析】CDMA 系统中的关键技术有同步技术、Rake 接收、功率控制和软切换。

14. IS-95CDMA 系统中支持的切换方式是（ ）。

- A. 硬切换 B. 软切换 C. 接力切换 D. 更软切换

【参考答案】ABD。

【分析】CDMA 系统中越区切换支持软切换、更软切换和硬切换。

15. 3G 的主要技术体制包括（ ）。

- A. TD-LTE B. WCDMA
C. CDMA2000 D. TD-SCDMA

【参考答案】BCD。

【分析】3G 的主要技术体制包括 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA。

四、简答题

1. 与有线通信相比，移动通信具有哪些特点？

【参考答案】①移动通信网络强调的是服务的移动性，因此必须利用无线电波作为传输媒质。②无线电波传播环境恶劣，在强干扰条件下工作。③频谱资源紧缺，频带利用率要求高。④移动通信网络结构复杂，管理困难。⑤移动通信设备需适应在移动环境中使用。

2. 多径效应和阴影效应由何引起？针对这两个问题系统中的解决措施是什么？

【参考答案】① 多径效应：移动台附近的散射体（地形、地物和移动体等）引起的多路径传播，使到达接收机输入端的信号相互叠加，造成接收信号快速起伏的现象。把此种现象称为“多径效应”，造成的衰落也称为“快衰落”。系统解决措施：采用分集接收技术抵抗衰落的影响。② 阴影效应：移动台在运动过程中，周围地形、地物造成对电波传播路径的阻挡，形成所谓的电磁场阴影，这种随移动台运动而不断变化的电磁阴影引起接收点场强中值起伏变化的现象，称为阴影效应。系统解决措施：为防止衰落引起的通信中断，在信道设计中，必须有一定的衰落储备，即电平留有足够的余量，以使通信中断率小于规定的指标。

3. 什么是扩频通信？与传统通信相比，其具有哪些优点？

【参考答案】扩展频谱（Spread Spectrum, SS）通信简称扩频通信，其是一种信息传输方式。在发送端，采用扩频码调制，使信号所占的频带宽度远大于所传信息必需的带宽。在收端，采用相同的扩频码进行相关解调来解扩以恢复所传的信息数据。

采用扩频通信的优点是：①抗干扰能力强。②隐蔽性好。③可以实现码分多址。④抗衰落、抗多径干扰。⑤能精确地定时和测距。

4. 分集接收的概念？移动系统中常采用的显分集方式有哪些？

【参考答案】分集技术是在接收端对它收到的多个衰落特性互相独立（携带同一信息）的信号进行待定的处理，以降低信号电平起伏（衰落）的一种技术。显分集是指构成明显分集信号的传输方式，包括空间分集、频率分集、极化分集、场分量分集、角度分集和时间分集等。

5. 多址技术的概念? 移动通信系统中常用的多址技术有什么?

【参考答案】多址技术是空中接口多址技术, 主要解决众多用户如何高效共享给定频谱资源的问题。移动通信系统中, 常规的多址技术有频分多址(FDMA)、时分多址(TDMA)、码分多址(CDMA)和空分多址(SDMA)技术。

6. 移动通信系统中的两种激励方式是什么? 各有何特点?

【参考答案】移动通信系统中的两种激励方式是中心激励和顶点激励。在每个小区中, 基站可以位于小区中央, 采用全向天线实现无线区覆盖, 这种方式称为“中心激励”。若在每个六边形的三个顶角上设置基站, 采用 120° 扇形辐射的定向天线实现无线区覆盖, 这种方式称为“顶点激励”。顶点激励的优点是对消除障碍物阴影有利, 对来自天线方向图主瓣之外的干扰有一定隔离度, 即允许同频小区距离可减小, 进一步提高频率资源利用率, 缺点是控制复杂要一些。

7. GSM 的网络结构由哪几部分构成? 基本作用是什么?

【参考答案】GSM 系统的网络结构包含网络子系统(NSS)、基站子系统(BSS)和移动台(MS)三大部分组成。网络子系统由移动业务交换中心(MSC)、原籍位置寄存器(HLR)、拜访位置寄存器(VLR)、鉴权中心(AUC)、移动设备识别寄存器(EIR)和操作维护中心(OMC)等组成。基站子系统由基站收发信机(BTS)和基站控制器(BSC)组成。

网络子系统(NSS)对 GSM 移动用户之间通信和移动用户与其他通信网用户之间通信起着管理作用。其主要功能包括: 交换、用户数据与移动性管理、安全性管理等。BSS 系统是在一定的无线覆盖区中由 MSC 控制, 与 MS 进行通信的系统设备。移动台是 GSM 移动通信网中用户使用的设备。

8. GSM 系统中控制信道有哪几种? 这些控制信道分别适用于何种场合?

【参考答案】控制信道(CCH)用于传送信令和同步信号, 主要有 3 种: 广播信道(BCH)、公共控制信道(CCCH)和专用控制信道(DCCH)。

BCH 是一种“一点对多点”的单方向控制信道, 用于基站向移动广播公用的信息。传输的内容主要是移动台入网和呼叫建立所需要的有关信息。CCCH 是一种双向控制信道, 用于呼叫接续阶段传输链路连接所需要的控制信令。DCCH 是一种“点对点”的双向控制信道, 用途是在呼叫接续阶段以及在通信进行当中, 在移动台和基站之间传输必需的控制信息。

3.6 智能网

3.6.1 基础知识

1. 智能网的基本概念

数字程控交换技术的产生, 使交换机性能大大增强, 不仅提高了电话交换能力, 而且

通过修改或增加相应的软件就可引入缩位拨号、热线服务、呼出限制、遇忙回叫等一系列新业务。然而，程控交换机中的软件庞大复杂，修改软件难度大、耗时长，会限制新业务的快速引入。另外，网上运营的交换机机型多、版本杂，如果要通过修改全网所有程控交换机的软件来开放新业务，实现起来工作量大，周期长。为了在多厂商的环境下快速引入新业务，产生了智能网的概念。

智能网是在原有通信网络的基础上设置的一种附加网络结构，是快速、方便、经济、灵活、有效地生成和实现各种新业务的体系结构。其目的是为现在、未来的所有通信网络服务，包括电话网（PSTN）、综合业务数字网（ISDN）、移动通信网、宽带综合业务数字网（B-ISDN）、因特网（Internet）等。智能网的核心思想是将网络的交换功能与业务控制功能相分离，使电信网中原有的交换机只完成基本的呼叫控制接续功能，业务控制功能则由在电信网中附加的功能节点 SCP（业务控制点）完成。原有的程控交换机如果能与 SCP 配合工作，则称为业务交换点 SSP。这样，在增加新业务时，就不需要修改交换机中的软件，只需在 SCP 中引入新的业务逻辑即可。由于 SCP 的数量与程控交换机数量相比是很少的，仅修改 SCP 中的软件影响面较小，从而使得在智能网中开发新业务的周期大大缩短。

智能网的出现导致了通信网的结构发生了大的变动。新的通信网由交换层、智能层和信令层组成，如图 3-6-1 所示。交换层主要由原有的交换设备构成，依旧完成呼叫接续功能，只不过对于智能业务（由智能层控制的增值业务）的呼叫，交换层要将相关的呼叫信息上报给智能层，由智能层通过分析业务流程、查询数据库等操作后下发控制命令给交换层完成呼叫。信令层仅仅用于在交换层和智能层设备间传输消息。

2. 智能网的标准

ITU-T 从 1989 年开始着手制定智能网的国际标准，采用阶段性标准化的方法，将智能网可以提供的功能划分为逐步增强的能力集，1992 年公布了能力集 1（Capability Set 1，CS-1），到目前为止已定义到能力集 4（CS-4）。

IN CS-1 的研究范围主要是在 PSTN、N-ISDN 上提供各种增值业务，它只能在一个网内提供智能业务，相关建议有 Q.1210、Q.1211、Q.1213~Q.1215、Q.1218 和 Q.1219。

1997 年，ITU-T 推出了 IN CS-2 建议，主要研究智能网的网间互联以及网间业务，可实现智能业务的漫游，并首次对智能网的管理、业务生成提出了一些功能要求。相关的建议有 Q.1220~Q.1225、Q.1228 和 Q.1229。

1999 年初，ITU-T 推出 IN CS-3 标准，它是 IN CS-2 的进一步发展，基本上沿用 IN CS-2 的体系结构，主要研究内容包括对 IN CS-2 能力的加强，智能网与因特网的综合以及智能网支持移动的第一期目标等。相关的建议有 Q.1231、Q.1236、Q.1237、Q.1238.1~Q.1238.7。

2001 年，ITU-T 发布了有关 IN CS-4 的系列标准，主要研究内容是智能网同 B-ISDN 的综合以及智能网支持移动的第二期目标等。相关建议有 Q.1241、Q.1244、Q.1248.1~

Q.1248.7。

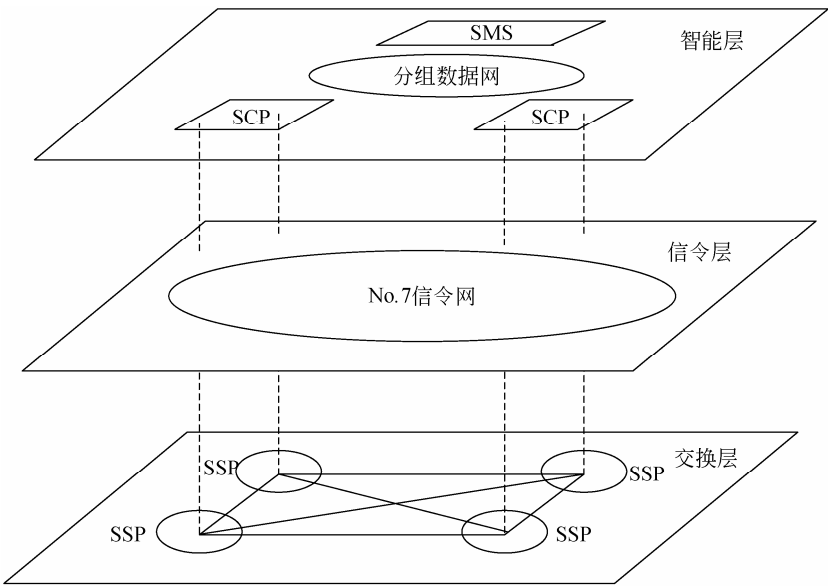


图 3-6-1 智能网的层次结构

我国于 1995 年制订出中国的智能网标准，这是在 ITU-T IN CS-1 标准的基础上结合我国具体情况制订的地区性标准。这些标准和规范，为我国智能网的建设提供了技术上的保证。

3. 智能网体系结构

智能网是在现有电信网，No.7 信令网和大型集中数据库的基础上构建的，一般由业务控制点 (SCP)、业务交换点 (SSP)、业务数据点 (SDP)、智能外设 (IP)、业务管理系统 (SMS)、业务生成环境 (SCE) 等几部分组成，如图 3-6-2 所示。

(1) 业务交换点 (SSP)

业务交换点是公用电话网 (PSTN)、综合业务数字网 (ISDN) 及移动电话网与智能网的连接点，具有呼叫控制功能和业务交换功能。呼叫控制功能负责接收用户呼叫，执行呼叫的建立、保持、释放等基本接续功能。业务交换功能负责接收、识别智能业务呼叫，并向 SCP 报告，根据 SCP 的控制命令完成对智能业务的处理。通常 SSP 以数字程控交换机为基础，再配以相应的软硬件和 No.7 系统接口组成。

(2) 业务控制点 (SCP)

业务控制点是智能网的核心部分，负责智能业务的控制与处理。SCP 存储用户数据和业务逻辑，其主要功能是接收 SSP 的查询请求，根据请求执行相应的业务逻辑，并在数据库中查询相关的业务数据和用户数据、进行各种译码，然后向 SSP 发回呼叫控制指令，从

而实现各种各样的智能呼叫。智能网内所有业务的控制功能都集中在 SCP，SCP 与 SSP 之间通过标准接口协议（INAP 信令）进行通信。SCP 一般由小型机、高性能微机和大型实时高速数据库组成，要求 SCP 具有高度的可靠性，每年的服务中断时间不得超过 3 分钟。因此，在智能网系统中 SCP 的配置至少是双备份甚至是三备份的。

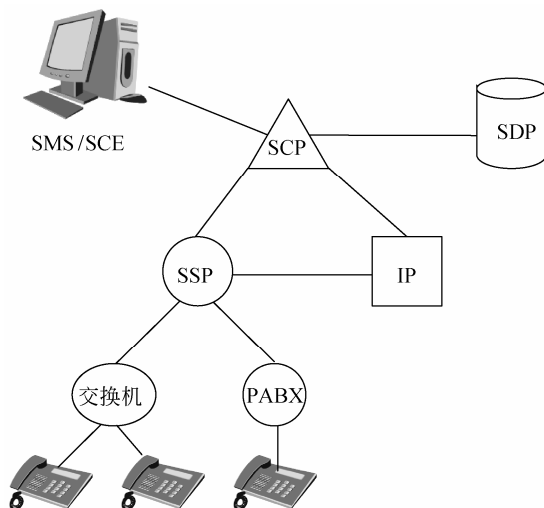


图 3-6-2 智能网的总体结构

（3）业务数据点（SDP）

业务数据点提供数据库功能，存储与智能业务有关的业务数据、用户数据、网络数据和资费数据，可根据 SCP 的要求实时存取以上数据，也能与 SMS 相互通信，接受 SMS 对数据的管理，包括数据的加载、更改、删除以及对数据的一致性检查。SDP 一般采用 Informix、Oracle 等大型关系数据库系统实现，也可将 SDP 与 SCP 合设在一起。

（4）智能外设（IP）

智能外设是协助完成智能业务的特殊网元，主要负责向终端用户提供使用业务时所需的各种资源，主要包括：DTMF 收号器、录音通知设备、语音识别设备、语音合成设备等。IP 可以是一个独立的物理设备，也可以是 SSP 的一部分，接受 SCP 的控制，执行 SCP 业务逻辑指定的操作。IP 设备一般造价较高，因此在智能网中将其独立配置，其功能由多个交换机共享，以节省经济投资，同时有利于语音资源的统一管理，便于放音内容经常变化的业务的开展。

（5）业务管理系统（SMS）

业务管理系统是进行操作、维护、管理、监视的一种计算机系统，主要完成全网业务

的管理。它一般具有 5 种功能,即业务逻辑管理、业务数据管理、用户数据管理、业务监测以及业务量管理。实施管理的一般过程是在业务生成环境上创建新业务的业务逻辑并由业务提供者将其输入到 SMS 中;SMS 再将其加载到 SCP,完成新业务的开通。完备的 SMS 系统还可接收远端客户发来的业务控制指令,修改业务数据,从而改变业务逻辑的执行过程。

SMS 具体由两部分组成,业务管理点 SMP (Service Management Point) 和业务管理接入点 SMAP (Service Manage Access Point)。SMP 提供服务器端,一般放在中心控制机房,SMAP 为客户端,可以放在各营业厅。SMAP 提供了访问 SMP 的界面,在 SMAP 操作的结果都存放在 SMP 上。

一个省级智能网一般只配置一个 SMS。

(6) 业务生成环境 (SCE)

业务生成环境是智能网快速提供新业务的关键组成部分,其功能是根据用户的需求生成新的业务逻辑。SCE 为业务设计者提供友好的图形编辑界面,用户可以利用预定义的标准元件设计新业务的业务逻辑,定义相应的业务数据。完成设计后,利用 SCE 的仿真验证工具进行测试,以保证它不会对已有电信业务构成损害。最后将业务逻辑传给 SMS,完成一次业务的创建工作。

4. 智能网的概念模型

智能网概念模型 (Intelligent Network Conceptual Model, INCM) 是由 ITU-T 在 Q.1200 系列建议中提出,目的是为了更好地了解 IN 的概念,使全世界能采用统一的方式发展 IN。根据不同的抽象层次,INCM 分为 4 个平面:业务平面 (SP)、全局功能平面 (GFP)、分布功能平面 (DEP) 和物理平面 (PP),如图 3-6-3 所示。这四个平面使得人们可以从不同的角度来观察、理解智能业务和智能网。

(1) 业务平面 (Service Plane)

业务平面描述了一般用户眼中的业务外观。它只说明业务具有什么样的性能,而与业务的实现无关,换句话说,业务平面上的业务既可以采用传统的方法在交换机中实现,也可在智能网上实现,不论采用哪种方式实现,对业务使用者而言是没有差别的。

业务由 1 个或多个业务属性 (Service Feature, SF) 构成,SF 是业务平面中最小的描述单位。在 IN CS-1 标准中,业务平面上共定义了 25 种业务和 38 种业务属性。

(2) 全局功能平面 (Global Functional Plane)

全局功能平面主要面向业务设计者。在这个平面上,把智能网看作是一个整体,即对业务交换点、业务控制点、智能外设等功能部件不加以区分,而是把它们合起来作为一个整体来考虑其功能。ITU-T 在这个平面上定义了一些标准的可重用功能块,称为“与业务无关的构成块 (Service Independent Building Block, SIB)”。每个 SIB 完成某种标准的网络功能,如有“号码翻译”SIB、“登记呼叫记录”SIB 等等。利用这些标准的可重用块,可

以像搭积木一样搭配出不同的业务属性，进而构成不同的业务。

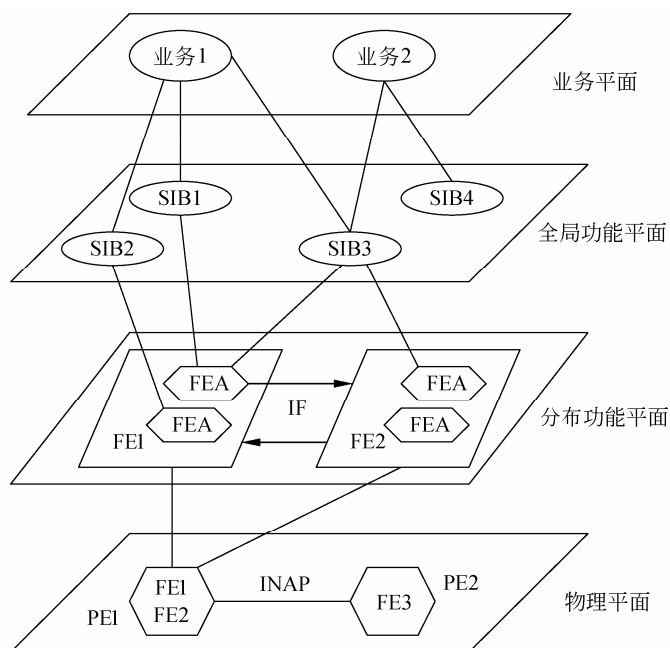


图 3-6-3 智能网的概念模型

（3）分布功能平面（Distributed Functional Plane）

分布功能平面主要是面向网络设计者与实现者。在全局功能平面中，智能网被视为一个整体，所定义每个 SIB 都完成某种独立的功能，但并不关心这种功能具体是由哪部分 IN 设备实现的。分布功能平面则对 IN 的各种功能加以划分，从网络设计者的角度来描述 IN 的功能结构。分布功能平面由一组被称为功能实体（Functional Entity, FE）的软件单元组成，每个 FE 完成 IN 的一部分特定功能，如呼叫控制功能、业务控制功能等。每个 FE 可以完成各种功能实体动作（Functional Entity Action, FEA），各个 FE 之间采用标准信息流（Information Flow, IF）进行联系，所有这些 IF 的集合就构成了智能网的应用程序接口协议（Intelligent Network Application Protocol, INAP）。

（4）物理平面（Physical Plane）

物理平面主要是面向网络运营者和设备提供者，它描述了如何将分布功能平面上的各个 FE 映射到实际的物理实体上，也就是各个 FE 在网络上的物理产品中的实现。在每个物理实体中可以包括 1 个或多个 FE，但 ITU-T 规定，1 个 FE 只能位于 1 个物理实体中，而不能分散在 2 个以上的物理实体中，这里的物理实体指的就是智能网节点 SSP、SCP、IP 等。

5. 智能网的发展

智能网技术在传统电信网中已被广泛应用并获得了巨大的成功。近年来,随着移动通信、Internet 和宽带通信的迅猛发展,智能网与移动通信网、Internet 和宽带综合业务数字网的结合成为电信技术演进的必然趋势。

(1) 移动智能网 (Mobile Intelligent Network, MIN)

随着移动网络覆盖范围的增大和移动终端的普及,人们对增值业务的需求不断增加,移动网络运营商也希望快速、经济、有效地为用户提供丰富多样的业务。移动网原有的业务生成速度已经无法满足用户的需要,从而促进智能网技术在移动通信中的应用,移动智能网应运而生。

移动智能网是在移动网络中引入智能网功能实体,实现对移动智能呼叫控制的一种网络。移动智能网与固定智能网一样,是一个能够灵活方便地生成新业务和引入新业务的体系结构。但是,由于移动通信网中终端用户的移动性,使得移动智能网业务的执行和管理比固定智能网中的业务更为复杂。在 ITU-T 的智能网标准 IN CS-1 阶段尚未涉及对移动智能网中提供智能业务支持,在 IN CS-2 阶段给出了有关个人移动性和终端移动性的一些属性,对移动性业务全面支持的研究则在 CS-3、CS-4 阶段进行。

为了适应移动通信市场对移动智能业务的迫切需求,很多厂商和标准化组织都推出了移动网与智能网的互联方案,其中比较著名的有欧洲电信标准化组织 (ETSI) 推出的 CAMEL (Customized Application for Mobile Network Enhanced Logic) 建议,美国电信工业联盟 (TIA) 提出的 WIN (Wireless Intelligent Network) 建议,爱立信公司的移动智能网方案等。其中 ETSI 的 CAMEL 标准是这些建议里的一种主流方案,我国的移动智能网建设也是基于该标准进行的。现阶段全球的很多运营商在 GSM 网络的基础上建立了 CAMEL 系统,全球开放的业务主要是预付费,还有其他一些应用,例如虚拟专用移动网 (VPMN)、分时分区、亲情号码等。

(2) 智能网与 Internet 的结合

Internet 的发展,加快了人类社会向信息社会过渡的步伐,使得信息业的竞争更为激烈。Internet 电话的推出,对传统电信网的长途电信市场造成了很大的冲击。如何将 Internet 和 PSTN 有效地综合起来,以充分利用两网的资源,保护已有的网络投资,进一步开发各种新的增值业务,扩展 Internet 的业务领域,对于 Internet 和 PSTN 的发展都具有十分重要的意义。

Internet 与 PSTN 互通可以有多种方式,目前国际标准化组织一致认为最佳方式是利用原有 PSTN 网中的智能网与 Internet 进行互通。Internet 工程任务组 (IETF) 最初提出了智能网与 Internet 互通的设想,并于 1997 年 7 月成立了 PINT (PSTN/Internet Interworking) 工作组,专门研究 IN 与 Internet 的互联。此后,ITU-T 第十一研究组也于 1997 年 9 月成立了 IN 与 Internet 综合的专题研究小组,并纳入了 IN CS-3 的研究计划,主要研究如何利用智能网结构来支持智能网/Internet 互通业务,包括业务、结构、管理和安全等方面的

内容。

智能网与 Internet 互通的业务分为两类：一类是从 Internet 侧启动智能网业务，称为 PINT 业务，例如点击拨号、点击传真等业务；另一类是从 PSTN 侧启动智能网业务，称为 SPIRITS 业务，例如呼叫等待业务。

Internet 与智能网的互联，不仅对智能网业务的发展和管理功能的增强产生了积极作用，还对智能网未来的演进产生了重要影响。Internet 在寻址能力、接口的开放性、分组传输、分层结构等方面均优于智能网，智能网与 Internet 相结合，可以使智能业务得到更快速的发展。

（3）宽带智能网

宽带智能网是基于 B-ISDN 宽带网络平台上的智能网系统，它的研究目标是在以 ATM 为基础的宽带网络上，利用智能网技术，快速有效地开发各种多媒体增值业务，解决 B-ISDN 网络提供多媒体业务的瓶颈问题。宽带智能网不是简单地将多种业务集成，而是要实现一个可编程的业务平台，实现业务的灵活加载、扩展和新业务的增加。

ITU-T 第十一研究组从 20 世纪 90 年代初就着手研究 IN 与 B-ISDN 综合的问题，提出了 IN CS-4 的一系列草案，其目的是寻求一种统一的体系结构，为目前存在的所有多媒体业务以及未来可能出现的多媒体业务开发提供共同的基础。

宽带智能网具有以下几个主要特点：

- ① 呼叫控制与承载控制分离。
- ② 提供真正多点连接的宽带多媒体业务。
- ③ 与业务相关的控制功能和与业务无关的控制功能的分离。
- ④ 业务控制功能与网络资源管理功能分离。

通过 IN 与 B-ISDN 的综合，一方面可以促进新业务的引入，易于实现对业务的灵活控制；另一方面，可提供强有力的用户网络接入和呼叫手段。因此，IN 与 B-ISDN 的结合对两类技术的发展和成熟都有重要意义。

3.6.2 考试要点

- （1）掌握智能网的核心思想。
- （2）理解智能网的层次结构。
- （3）掌握智能网的体系结构及各部分功能。
- （4）了解智能网的概念模型。
- （5）了解移动网与智能网互联的典型方案。
- （6）了解 Internet 与智能网互通业务的种类。
- （7）理解宽带智能网的主要特点。

3.6.3 习题集精粹及答案

一、判断题

1. 智能网的核心思想是交换与业务控制相分离。

【参考答案】√

【分析】在智能网中，交换层只完成基本的呼叫接续功能，智能层集中进行业务控制和数据库操作，从而实现了交换功能与业务控制功能的分离。

2. 业务交换点的功能与普通的交换机的功能相同。

【参考答案】×

【分析】业务交换点是在数字程控交换机的基础上，再配以相应的软硬件和 No.7 系统接口组成的。SSP 与普通的交换机虽然都能完成基本呼叫接续，但是 SSP 还具有识别智能业务并报告给智能层，以及接受智能层控制的功能，这是普通交换机所不具备的。

3. 在智能网中，SSP 提供数据库功能，接受 SCP 和 SMS 的访问。

【参考答案】×

【分析】在智能网中，业务数据点（SDP）提供数据库功能，存储与智能业务有关的各类数据，接受 SCP 和 SMS 的访问。

二、单项选择题

1. 在智能网中（ ）是连接现有 PSTN 与智能网的连接点，提供接入智能网功能集的功能。

A. 业务交换点（SSP） B. 业务控制点（SCP）
C. 业务数据点（SDP） D. 智能外设（IP）

【参考答案】A。

【分析】SSP 是 PSTN、ISDN、移动电话网等各类电信网与智能网的连接点，能够接收和识别智能业务呼叫。

2. SCP 是智能网的核心构件，它存储（ ）和业务逻辑。

A. 局数据 B. 用户数据 C. 路由数据 D. 终端数据

【参考答案】B。

【分析】SCP 存储用户数据和业务逻辑，负责根据 SSP 的查询请求执行相应的业务逻辑，并在数据库中查询相关的业务数据和用户数据，进行各种译码。

3. 引入智能网后，交换层需要完成的任务是（ ）。

A. 交换与业务控制 B. 只完成最基本的呼叫连接
C. 交换与信令处理 D. 分离业务与运营商

【参考答案】B。

【分析】引入智能网后，新的通信网由交换层、智能层和信令层组成。交换层完成基本的呼叫接续功能，并将智能业务相关的呼叫信息上报给智能层，由智能层通过分析业务

流程、查询数据库等操作后下发控制命令给交换层完成呼叫。

三、简答题

1. 简述智能网的体系结构及各部分的功能。

【参考答案】智能网由业务交换点（SSP）、业务控制点（SCP）、业务数据点（SDP）、智能外设（IP）、业务管理系统（SMS）、业务生成环境（SCE）等几个部分组成。业务交换点是公用电话网（PSTN）、综合业务数字网（ISDN）及移动电话网与智能网的连接点，具有呼叫控制功能和业务交换功能。业务控制点是智能网的核心部分，负责智能业务的控制与处理。SDP 提供数据库功能，接受 SCP 和 SMS 的访问，执行操作并回送结果。IP 是协助完成智能业务的特殊资源。SMS 由计算机系统组成。SMS 一般具备 5 种功能，即业务逻辑管理、业务数据管理、用户数据管理、业务监测以及业务量管理。SCE 的功能是根据客户的需求生成新的业务逻辑。

2. 什么是宽带智能网？它有哪些特点？

【参考答案】宽带智能网是基于 B-ISDN 宽带网络平台上的智能网系统，它在以 ATM 为基础的宽带网络上，利用智能网技术，快速有效地开发各种多媒体增值业务。

宽带智能网的特点：①呼叫控制与承载控制分离。②提供真正多点连接的宽带多媒体业务。③与业务相关的控制功能和与业务无关的控制功能的分离。④业务控制功能与网络资源管理功能分离。

3.7 信令网

3.7.1 基础知识

信令网是通信网的重要组成部分，是保证电信业务网正常运行的重要支撑网之一，被形象地称为通信网的神经系统。

1. 信令的基本概念和分类

（1）信令及作用

建立通信网的目的是要为用户传递各种信息，因此必须要使通信网中的各种设备协调工作，相互传递有关的控制信息，以说明各自的运行情况，并提出接续要求。这种控制信息被称为信令，它可以指导终端、交换系统及传输系统协同运行，在指定的终端之间建立和拆除临时的通信信道，并维护网络本身正常运行。

下面以最简单的局间电话通信为例，说明信令在电话接续中的作用。如图 3-7-1 所示。

从上图中可以直观地看到信令在电话接续中的重要作用。如果没有这些信令，人和机器都将不知所措，出现混乱状态。例如，没有摘机信令，交换机就不知道该为哪个用户提供服务。因此，信令系统是通信网必不可少的组成部分。

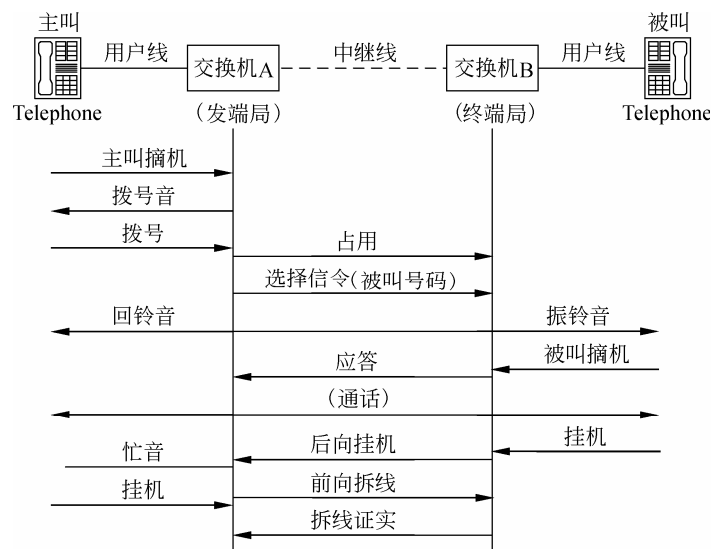


图 3-7-1 电话接续的信令传送过程

(2) 信令分类

① 按信令的传送区域划分

- 用户线信令：指在终端和交换机之间的用户线上传输的信令。在模拟用户线上传送的叫模拟用户线信令，主要包括终端向交换机发送的监视信令和选择信令，交换机向用户发送的拨号音和忙音等音信号。在数字用户线上传送的叫数字用户线信令，目前主要有在 N-ISDN 中使用的 DSS1 信令和在 B-ISDN 中使用的 DSS2 信令，它们能传送比模拟用户线信令要多的信息。
- 局间信令：指在交换机和交换机之间、交换机和业务控制节点之间等传递的信令。这种信令比较复杂，主要用来控制呼叫的接续、拆线，实现网络的监控、测试等功能。由于局间设备及其对信令的功能要求不同，因此局间信令在信令数量、种类、传送方式上均与用户线信令有较大差别。

② 按信令的功能划分

按照所完成功能的不同，信令可以分为以下三类。

- 监视信令：监视用户线和中继线的状态变化，用于用户线的监视信令称为用户线状态信令，用于中继线的监视信令称为线路信令。
- 选择信令：主叫话机发出的被叫用户号码，又称为地址信令或路由信令。
- 管理信令：用于电话网的维护和管理，例如检测和传送网络拥塞信息，提供呼叫计费信息，提供远程维护信息等。

③ 按信令的传送信道划分

- 随路信令：指某条话路所需的信令，由该话路本身或者由某一固定分配的专用信令

信道传送的信令方式。步进制、纵横制及空分模拟交换机均采用随路信令方式。

- 公共信道信令：指将一群话路的信令集中起来，在一条与话路完全分离的公用信道上传送，从而实现信令信号与话音信号的分开传送。

④ 其他分类

- 带内信令与带外信令

可以在话音频带（300~3400Hz）范围内传送的信令称为带内信令，反之称为带外信令。

- 前向信令与后向信令

前向信令是指沿着从主叫用户至被叫用户方向传送的信令，后向信令是指沿着从被叫用户至主叫用户方向传送的信令。

(3) 信令方式

信令的传送要遵守一定的规则和约定，这就是信令方式。它包括信令的编码方式、信令在多段链路上的传送方式及控制方式。选择合适的信令方式，关系到整个通信网通信质量的好坏及投资成本的高低。

① 编码方式

信令的编码方式有未编码和已编码两种。

未编码的信令可以按脉冲幅度、脉冲持续时间、脉冲在时间轴上的位置、脉冲频率及脉冲数量的不同进行区分。其特点是：编码容量小、传输速度慢、设备复杂，目前已不再使用。

已编码的信令主要有以下三种：

- 模拟编码方式：有起止式单频编码、双频二进制编码和多频编码方式，其中使用最多的是多频编码方式。例如，中国 1 号记发器信令就是一种典型的采用多频编码方式的信令。它设置 6 个频率，每次取出两个同时发出，表示一种信令，共可表示 15 种信令。多频编码方式的特点是编码较多，传送速度较快，可靠性较高，有自检能力。
- 二进制编码方式：典型的代表是数字型线路信令，它使用 4 位二进制编码表示线路的状态信息。
- 信令单元方式：使用经二进制编码的若干字节构成的信令单元来表示各种信令，其典型代表是 No.7 信令系统。该方式传送速度快、编码容量大、可靠性高，可扩充性强，是目前各类公共信道信令系统广泛采用的方式。

② 传送方式

信令在多段链路上的传送方式有三种。

- 端到端方式：发端局始终负责号码的发送，转接局仅接收用来选择路由的号码并将电路向前接通，而不向下一局发任何号码，终端局接收由发端局沿转接局已接通的电路发来的号码信息。以长途电话局通信为例（见图 3-7-2），发端长途局的收码器

收到市话局发来的全部号码后,由发端长途局发码器发送第一转接局所需要的长途区号(图中为 ABC),并完成到第一转接局的接续;第一转接局根据收到的长途区号,将电话接续到第二转接局;再由发端长途局发码器向第二转接局发送 ABC ,找到终端长途局,完成到终端长途局的接续;此时发端长途局向终端长途局发送用户号码(图中为 $XXXX$),建立发端长途局到终端长途局的接续。端到端方式对电路传输质量要求比较高,它的特点是发码速度快,拨号后等待时间短,但信令在多段链路上的类型必须相同,并且发端信令设备在连接建立期间占用时间较长。

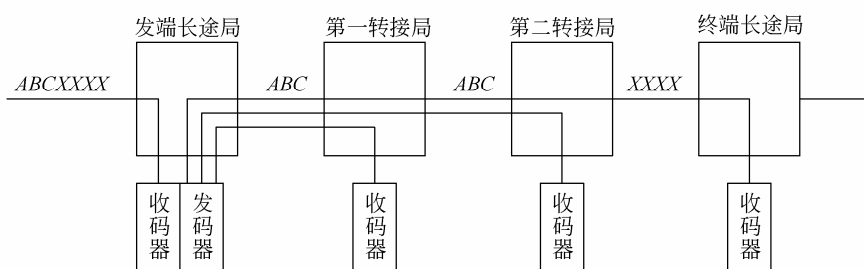


图 3-7-2 端到端传送方式

- 逐段转发方式：仍以长途电话局通信为例，见图 3-7-3，信令逐段进行接收和转发，每个转接局接收全部被叫号码，并逐段转发出去，直到终端长途局为止。逐段转发方式的特点是，对线路质量要求不高，信令在每段链路上的类型可以不同，但信令传送速度慢，接续时间长。

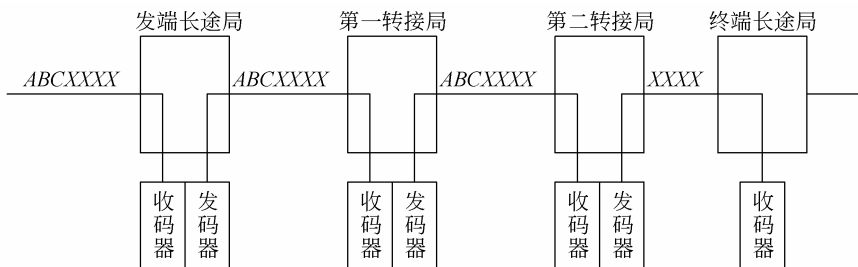


图 3-7-3 逐段转发传送方式

- 混合方式：在实际中，通常将前两种方式结合起来使用，就是混合方式。例如，中国 1 号记发器信令可根据线路质量，在劣质电路上使用逐段转发方式，在优质电路上采用端到端方式。No.7 信令通常使用逐段转发方式，但也可提供端到端的信令方式。

③ 控制方式

控制方式指控制信令发送过程的方法，包括三种方式：

- 非互控方式：指通信双方信令的发送和接收互不控制，即发端不断地发送信令到收端，而不管收端是否收到。这种方式控制机制简单，发码速度快，但可靠性差，适用于误码率很低的数字信道。
- 半互控方式：指发端向收端每发一个或一组信令后，必须等接收到收端回送的接收正常的证实信令后，才能接着发下一个信令。半互控方式就是前向信令的发送受后向信令控制。
- 全互控方式：指通信双方信令的发送和接收互相制约，即发端连续发前向信令且不能自动中断，要等收到收端的证实信令后，才停止发送；收端连续发证实信令也不能自动中断，必须在发端信令停发后，才能停发证实信令。因为前向信令和后向信令均是连续传送的，故也称为连续互控。这种方式抗干扰能力强，可靠性好，但设备复杂，发码速度慢，主要用于过去传输质量差的模拟电路上。No.7 信令使用非互控方式，同时还采取了一些措施来保证可靠性。

2. No.7 信令系统概述

(1) No.7 信令的发展

由于程控交换和数字传输技术的发展，ITU-T 自 20 世纪 70 年代末开始开发 No.7 信令规范，并于 1980 年首次正式提出 No.7 信令的黄皮书建议。随后经过 1984 年的红皮书建议，到 1988 年的蓝皮书建议，基本完成了消息传递部分（Message Transfer Part, MTP）、电话用户部分（Telephone User Part, TUP）和数据用户部分（Data User Part, DUP）的研究，并在 ISDN 用户部分（ISDN User Part, ISUP）、信令连接控制部分（Signaling Connection Control Part, SCCP）、事务处理能力（Transaction Capabilities, TC）三个领域取得重大进展。1993 年的白皮书建议继续完成了 ISUP、SCCP、TC 三部分的标准。目前，ITU-T 的第 11 工作组仍在继续做宽带网络中信令技术的研究工作。

我国从 20 世纪 80 年代中期开始研究和应用 No.7 信令系统。我国的第一个 No.7 信令系统技术规范是 1984 年制定的《国内市话网 No.7 信令方式技术规范（暂行规定）》，它是根据 ITU-T 黄皮书相关建议并结合我国市话网的特点制定的。此后，邮电部以 ITU-T 蓝皮书、白皮书建议为基础，陆续制定并完善了我国的 No.7 信令规范。这些技术规范的提出，为我国 No.7 信令系统的开发和建设奠定了基础。目前，No.7 信令技术已广泛应用于我国的电话网、ISDN 网、智能网和移动通信网中。

(2) No.7 信令系统的特点

No.7 信令系统是一种国际性的标准化的通用公共信道信令系统，其基本特点有：

- 使用公共信道传送信令，利用分组交换技术，确保信号可靠传送。
- 采用可变长信令单元，信令传输速度快，呼叫建立时间短，能满足现在和将来传送呼叫控制、遥控、维护管理信令及处理机之间事务处理信息的要求。
- 信令容量大，编码灵活，易于扩充，可适应各种新业务的要求。
- 采用功能模块化，使用方便，易于扩展，适应未来信息技术和各种未知业务发展的

需要。

- 应用广泛，适用于各种网络的互联。

No.7 信令的上述特点使它较之随路信令系统具有以下优点：

- 增加了信令系统的灵活性。在 No.7 信令方式中，信令与话音分开传送，信令系统的发展可不受业务系统的约束，这对改变信令、增加信令带来了很大的灵活性。
- 信令在信令链路上以信令单元方式传送，传送速度快，呼叫建立时间大为缩短，不仅提高了服务质量，而且提高了传输设备和交换设备的使用效率。
- 具有提供大量信令的潜力，便于增加各种新的业务信令、网络管理和维护管理等信令。
- 利于向综合业务数字网过渡。

(3) No.7 信令系统的应用

No.7 信令系统能满足多种通信业务的要求，当前的主要应用有：

- 传送电话网的局间信令，完成本地、长途和国际的自动、半自动电话接续。
- 传送电路交换数据网的局间信令，完成本地、长途和国际的自动数据接续。
- 传送综合业务数字网的局间信令，完成本地、长途和国际的电话和非话的各种接续。
- 传送移动通信网中与用户移动有关的各种控制信息，支持移动用户的自动漫游等功能。
- 支持各种类型的智能网业务，在业务交换点和业务控制点之间传送与智能业务有关的各种操作。
- 传送各种运行、管理和维护中心的有关信息。

3. No.7 信令系统的基本功能结构

No.7 信令系统实质上可视为在通信网的控制系统（计算机）之间传送控制信息的数据通信系统，即一个专用的分组交换处理系统，因此采用了模块化的分层功能结构的设计思想。

(1) No.7 信令的分层结构

① 功能级结构（4 级结构）

最初的 No.7 信令技术规范主要是为了支持基于电路交换的基本电话业务而制定的。其基本功能结构分为两部分：消息传递部分（MTP）和用户部分（UP）。用户部分可以是电话用户部分（TUP）、数据用户部分（DUP）、ISDN 用户部分（ISUP）等。MTP 的功能是在用户部分之间可靠地传递信令消息。该部分按照具体功能的不同，又分为 3 级，并同 UP 一起构成了 No.7 信令的四级结构，如图 3-7-4 所示。

第一级（MTP-1）为信令数据链路功能级，它规定了信令数据链路的物理、电气特性及接入方法，提供全双工的双向传输通道，由一对传输速率相同、传输方向相反的数据通道组成。No.7 信令系统包括模拟和数字两种信号数据链路。在数字信号数据链路中，规定采用 64kb/s 速率；在模拟信号数据链路中，采用 4.8kb/s 速率。

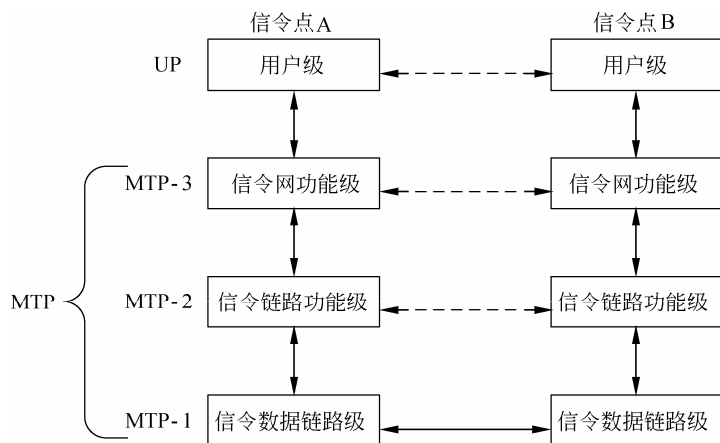


图 3-7-4 No.7 信令系统的功能级结构

第二级（MTP-2）为信令链路功能级，它规定了在信令数据链路上传送信令消息的功能和过程，和第一级一起共同保证信令消息在两个信令点之间的链路上可靠地传送。在 No.7 信令系统中，信令消息是以不等长的信令单元的形式传送的，MTP-2 需要提供信令单元的定界、信令单元定位、信令单元检错和纠错、信令链路初始定位以及信令链路差错率监测等功能。

第三级（MTP-3）为信令网功能级，它规定了在信令点之间传递消息的功能和过程。当遇到故障或拥塞时，进行信令网的重新组合，以保证信令消息仍能可靠地传送。MTP-3 又分为信令消息处理和信令网管理两部分。信令消息处理的功能是根据消息信令单元中的地址信息，将信令送至用户指定的信令点的相应用户部分。信令网管理的功能是在信令网发生故障的情况下，根据预定数据和信令网状态信息调整消息路由和信令网设备配置，以保证消息传递不中断。信令网管理是 No.7 信令系统中最为复杂的一部分，也是直接影响消息可靠传送的重要部分。

用户部分是 No.7 信令系统的第四级，其主要功能是处理信令消息。根据不同的应用，有不同的用户部分。例如，电话用户部分 TUP 处理电话网中的呼叫控制信令消息，综合业务数字网用户部分 ISUP 处理 ISDN 中的呼叫控制信令消息。模块之间是并列关系，可根据实际需要选择。

② No.7 信令系统结构（7 层结构）

四级结构是 No.7 信令系统最基本的结构，广泛应用于数字电话网、电路交换的数据网、N-ISDN 网（不包括部分补充业务）中。但是随着通信网中各种新技术新业务的不断涌现，加上对 No.7 信令研究的深入及其在实际中日益广泛的应用，以 MTP 控制信令消息传递的四级结构越来越多地暴露出它的局限性，主要有：

- MTP 使用信令点编码进行寻址，信令点编码不是国际统一编码，由信令点所在信令网定义，不能进行网间直接寻址。

- MTP 最多只能定义 16 个不同的用户，不能适应未来电信业务的需要。
- MTP 采用数据报方式传送数据，不能支持面向连接的信令业务。

为了解决以上问题，需要对 No.7 信令功能级结构做一些调整。调整后的 No.7 信令功能结构尽量向 OSI 的 7 层模型靠近，与原四级结构相比，调整后增加了信令连接控制部分 SCCP 和事务处理能力部分 TC，如图 3-7-5 所示。

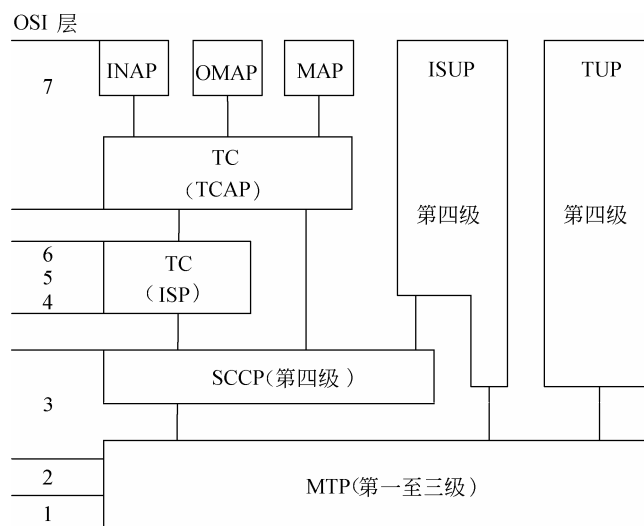


图 3-7-5 No.7 信令系统与 OSI 层次结构的对应关系

分析图 3-7-5 可知，MTP 和 SCCP 相当于 OSI 低三层，为高层提供消息的可靠传送。其中，MTP-1 完成 OSI 第 1 层物理层的功能，MTP-2 完成 OSI 第 2 层数据链路层的功能，MTP-3 和 SCCP 一起完成 OSI 第 3 层网络层的功能。TUP、ISUP 相当于 OSI 高四层，TUP 信令只能通过 MTP 传送，而 ISUP 信令既可以通过 MTP 传送，也可以通过 SCCP 传送。TC 完成 OSI 第 4~7 层的功能，其中中间业务部分 ISP 完成第 4~6 层的功能，事务处理能力应用部分 TCAP 完成 OSI 第 7 层应用层的部分功能，其余部分由 TC 用户实现。TC 用户指各种应用，目前有智能网应用部分 (INAP)、移动应用部分 (MAP)、操作维护管理应用部分 (OMAP)，这些具体应用的规范通常不包括在 No.7 信令协议中。

(a) 电话用户部分 (TUP)

电话用户部分是 No.7 信令方式中最先得到应用的用户部分，它定义了数字电话通信网中用于建立、监视和释放一个电话呼叫所需要的各种信令消息和信令程序，不仅可以支持基本的电话业务，还可以支持部分用户补充业务。

电话用户部分的基本功能是：

- 根据交换局话音系统呼叫接续控制的需要产生并处理相应的信令消息。
- 执行电话呼叫所需的信令功能和程序，完成呼叫的建立、监视和释放控制。

到目前为止, ITU-T 关于 TUP 方面的建议共有五个, 即 Q.721~Q.725。这些建议主要针对国际电话网的语音, 但绝大部分内容也适用于国内电话网。

TUP 有如下常用信令消息:

- 初始地址消息: 前向信令, 是为建立呼叫而发出的第一个消息, 包括下一个交换局为建立呼叫、确定路由所需的全部或部分地址信息。初始地址消息蕴含了占用电路的功能。初始地址消息分为 IAM 和带有附加信息的初始地址消息 IAI。IAI 除了可携带 IAM 所包含的全部内容外, 在现阶段还可包含主叫用户的电话号码和原被叫号码。
- 后续地址消息 SAM 和 SAO: 前向信令, 是在初始地址消息后发送的地址消息, 用来传送剩余的被叫电话号码。SAM 一次可传送多位号码, SAO 一次只能传送一位号码。
- 地址全消息 ACM: 后向信令, 表示收端局已经收齐呼叫被叫用户所需的全部地址信息, 并可传送有关被叫空闲以及是否计费等信息。
- 应答消息 ANC 和 ANN: 后向信令, 表示被叫用户已经摘机应答。ANC 是应答、计费消息, ANN 是应答免费消息。执行计费的交换局在收到 ANC 消息时启动计费程序。
- 前向拆线消息 CLF: 发端局发出的前向释放电路信令, 任何交换局收到 CLF 信令时都必须释放电路, 而不管当前呼叫的状态。
- 释放监护消息 RLG: 后向信令, 是来话局收到 CLF 信令时, 发送的响应消息。

(b) ISDN 用户部分 (ISUP)

ISDN 用户部分是在 TUP 基础上扩展而成的, 它定义了 N-ISDN 网或数字电话网中建立、释放、监视一个呼叫所需的信令消息和协议, 以支持基本的承载业务和补充业务。ISUP 具有 TUP 实现的全部功能, 因此采用 ISUP 后, TUP 部分就可以不用, 而由 ISUP 来承担。此外, ISUP 还具有支持非话业务和先进的 ISDN 业务所要求的附加功能。在 7 层协议结构中, 对于基本业务和大部分补充业务, ISUP 仅需得到 MTP 的支持即可, 但对于某些补充业务, 必须通过 SCCP 传送。

(c) 信令连接控制部分 (SCCP)

信令连接控制部分是为了增强 MTP 的功能, 提高 No.7 信令方式的应用性能而设置的功能块。SCCP 在 No.7 信令方式的四级结构中是用户部分之一, 属第四功能级, 同时为 MTP 提供附加功能, 与 MTP-3 结合在一起共同完成 OSI 模型中网络层的功能。这样可以通过 No.7 信令网在电信网的交换局和专用中心之间建立无连接和面向连接的网络业务, 传送电路相关和非电路相关的信令消息和其他类型的消息 (如维护管理消息等)。

(d) 事务处理能力 (TC)

事务处理能力是指通信网中分散的一系列应用在相互通信时采用的一组规约和功能, 用于在一个节点调用另一个节点的程序, 执行该程序并将结果返回调用节点。目前, TC

支持的应用有 INAP、MAP 和 OMAP, 它们分别定义了用于支持智能网业务的信令和协议, 支持移动业务的信令和协议, 以及支持信令网管理的信令和协议。这些应用有一个共同的特点, 就是交换机需要与网络中心的数据库联系, 典型的过程是一个应用发起一次数据库查询请求, 收到请求消息的应用负责根据请求查询数据库, 并将结果用响应消息返回给发起请求的应用。对话期间交换的信令消息均用 TCAP 消息传递。

SCCP 是 TC 的网络层业务提供者。SCCP 支持 TC 有两种方式: 无连接型和面向连接型。当传送数据业务量较小而实时性很强的信息时宜采用无连接方式; 当信息的数据量很大但无实时性要求时, 采用面向连接方式。

TC 包括 TCAP 和 ISP 两部分。目前 ISP 还处于研究之中, 现行的基于无连接服务的应用均可不涉及 ISP。TCAP 的主要功能是对网络节点之间的对话和操作请求进行管理, 为各种应用业务信令过程提供基础服务。

(2) No.7 信令的消息格式

在 No.7 信令系统中, 所有消息都是以可变长度的信令单元的形式传送的。信令单元类似于分组交换中的分组, 实际上是节点之间各种控制信息的载体。

MTP-2 规定了 3 种基本的信令单元格式。它们是消息信令单元 (MSU)、链路状态信令单元 (LSSU) 和填充信令单元 (FISU), 如图 3-7-6 所示。所有信令单元的长度均为 8 比特的整数倍, 通常以 8 比特作为信令单元的长度单位, 称为八位位组, 也就是计算机中常称的字节。

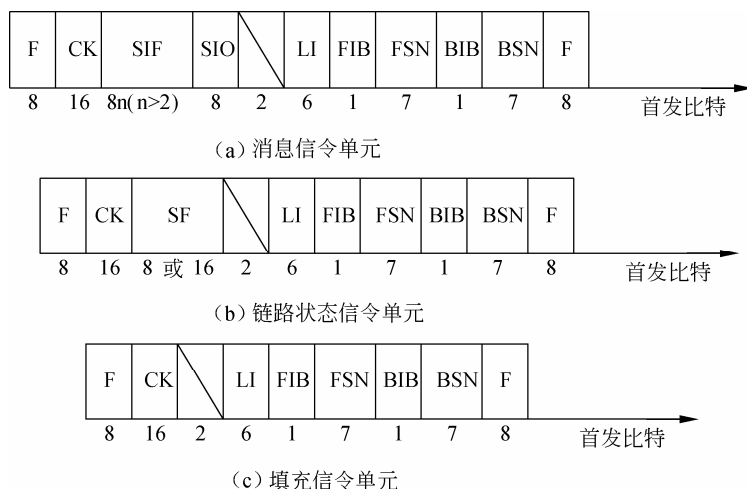


图 3-7-6 信令单元格式

消息信令单元用于传送各用户部分的消息、信令网管理消息及信令网测试和维护消息, 是 No.7 信令网上最重要的一类信令单元。链路状态信令单元用于传送信令链路的状态信息, 以便完成信令链路的接通、恢复等控制。填充信令单元是当信令链路上没有 MSU

或 LSSU 需要传送时发送的空信号，用于维持信令链路的正常工作，同时还可以对已经收到的信令消息进行证实。

信令单元中各个字段的含义如下：

- F：标识码，固定码型 01111110，标志信令单元的开始和结束。
- CK：校验码，采用 16 位循环冗余码（CRC），用于检测信令单元在传输过程中可能产生的差错。
- LI：长度指示码，用于指示 LI 和 CK 之间八位位组的数目，以区分三种信令单元。当 LI=0，为 FISU；当 LI=1 或 2，为 LSSU；当 LI>2，为 MSU。
- BSN/BIB：后向序号/后向指示比特。
- FSN/FIB：前向序号/前向指示比特。

BSN、BIB、FSN、FIB 相互配合，用于差错校正。

- SF：状态字段，指示信令链路的状态。
- SIO：业务信息八位位组，指示消息的业务类别及信令网类别，MTP-3 据此将消息分配给不同的用户部分。
- SIF：信令信息字段，包含用户部分或网络管理功能实际要发送的信息。

4. No.7 信令网

(1) 信令网的基本概念

① 信令网的基本组成部件

No.7 信令是公共信道信令，它在通信网的业务节点之间的专用信令通道中传送。将这些节点和传送信令的通道组合起来，就构成了 No.7 信令网。

No.7 信令网的基本组成部件有信令点 SP、信令转接点 STP 和信令链路。

信令点是处理信令消息的节点，它可以是具有 No.7 信令功能的各种交换局，例如电话交换局、数据交换局、ISDN 交换局，也可以是各种特服中心，例如网管中心、操作维护中心、业务交换点等。信令点是信令消息的起源点和目的地点，其中产生信令消息的节点为源信令点，消息到达的信令点为目的信令点。任意两个信令点，如果它们的对应用户之间（例如电话用户）有直接通信，就称这两个信令点之间存在信令关系。

信令转接点具有信令转发功能，能将信令消息从一条信令链路转送至另一条信令链路。信令转接点分为综合型和独立型两种。独立型 STP 具有 No.7 信令系统中 MTP 和 SCCP 的功能，只能完成对信令消息的转接。综合型 STP 与交换局合并在一起，具有 No.7 信令系统中 MTP、SCCP 和 UP 的功能，既能完成信令转接功能又具有信令点功能。

信令链路是在两个相邻信令点之间传送信令消息的链路，由 No.7 信令功能的一、二级组成。目前的信令链路有 4.8kb/s 的模拟信令链路和 64kb/s 的数字信令链路。

② 工作方式

信令的工作方式是指信令消息的传送路径和消息所属信令关系之间的对应关系。在 No.7 信令网中传递局间话路群信令时，根据话音通路 with 信令链路的关系，可分为以下两种

工作方式:

- 直联工作方式
直联工作方式也称为对应工作方式，指两个信令点之间的信令消息，通过直接连接两个信令点的信令链路传递，如图 3-7-7（a）所示。
- 准直联工作方式
准直联工作方式也称为准对应工作方式，指两个信令点之间的信令消息可以通过两段或两段以上串联的信令链路来传送，并且只允许通过事先预定的路由和 STP，如图 3-7-7（b）所示。

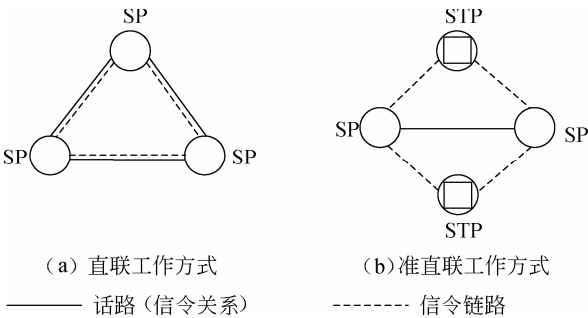


图 3-7-7 直联和准直联工作方式

- 全分离工作方式
全分离工作方式也称为非对应工作方式，这种方式与准直联工作方式基本相同，所不同的是，它可以按照自由选择路由的方式来选择信令链路。这种方式比较灵活，但在信令消息的寻址方面需要考虑全面和周密。
信令网采用哪种工作方式，要依据信令网和话路网的实际情况来确定。当局间的话路群足够大，从经济上考虑合理时，可以采用直联工作方式；当两个交换局之间的话路群较少，设置直达信令链路经济上不合理时，则可以采用准直联工作方式。对于全分离工作方式，由于路由选择寻址比较复杂，因此较少采用。
目前在 No.7 信令网中，通常采用直联和准直联相结合的工作方式以满足通信网的需要。我国的 No.7 信令网主要以准直联工作方式为主，直联方式的比例很小。

(2) 信令网的结构

① 信令网的分类

信令网按网络结构的等级可分为无级信令网和分级信令网两类。
无级信令网是信令网中未引入信令转接点，信令点之间都采用直联方式的信令网。无级信令网按照拓扑结构来分，有直线型网、环状网、网状网等几种结构类型。它们从容量上和经济上都满足不了国际国内信令网的要求，因此未广泛采用，仅适合一些地理覆盖范围小、交换局少的国家或地区使用。

分级信令网是引入信令转接点的信令网，它可按等级分为二级网和三级网。二级信令网是具有一级信令转接点的信令网；三级信令网是具有两级信令转接点的信令网，第一级 STP 为高级信令转接点（HSTP），第二级 STP 为低级信令转接点（LSTP）。二级网经过的信令转接点比三级网少，所以传递时间较短。在满足信令容量要求的前提下，应尽可能采用二级网。只有在信令网容量较大，二级网不能满足要求时才采用三级网。

与无级信令网相比，分级信令网具有容纳信令点多、增加信令点容易、信令路由多、信令传递时延相对较短等特点。因此，分级信令网是国际、国内信令网采用的主要形式。

② 信令网的连接方式

在分级信令网中，信令点之间采用以下连接方式。

• 第一级 STP 之间的连接方式

这里指的是二级信令网中的 STP 或三级信令网中 HSTP 之间的连接方式，通常有网状连接和 AB 平面连接两种方式，如图 3-7-8 所示。

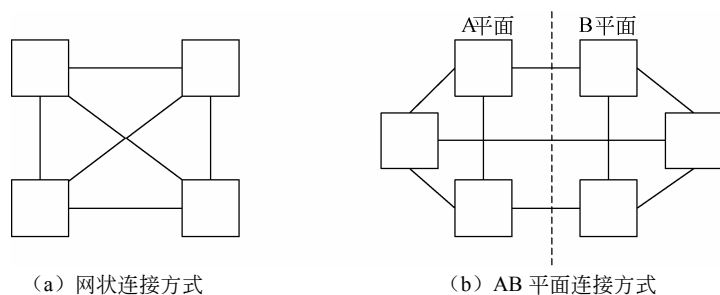


图 3-7-8 第一级 STP 之间的连接方式

国际上大多数国家采用网状连接方式，我国采用的是 AB 平面连接方式。

• 信令点与 STP 之间的连接方式

信令点与 STP 之间的连接方式分为固定连接方式和自由连接方式。固定连接方式的特点是当本信令区内的信令点采用准直联方式时，它必须连接至本信令区的两个 STP，这样到其他信令区的信令点至少需要经过两个 STP 转接。自由连接方式的特点是本信令区内的信令点可以根据它至各个信令点的业务量大小自由连至两个 STP。因此，本信令区的信令点可以和其他信令区的 STP 相连，两个信令区间的信令点可以只经过一个 STP 转接。

自由连接方式网络组织比较灵活，但是信令网的设计和管理都比较复杂。近年来随着信令网技术的发展，上述技术问题逐步得到解决，而且与固定连接方式相比，自由连接方式具有更高的可靠性，因此不少国家在建造本国信令网时，采用了自由连接方式。我国的本地信令网也采用了自由连接方式。

③ 我国 No.7 信令网的结构

我国 No.7 信令网采用三级结构（如图 3-7-9 所示），由长途信令网和大、中城市本地信令网组成，其中大、中城市本地信令网为二级网，相当于长途信令网的第二级（LSTP）

和第三级（SP）。

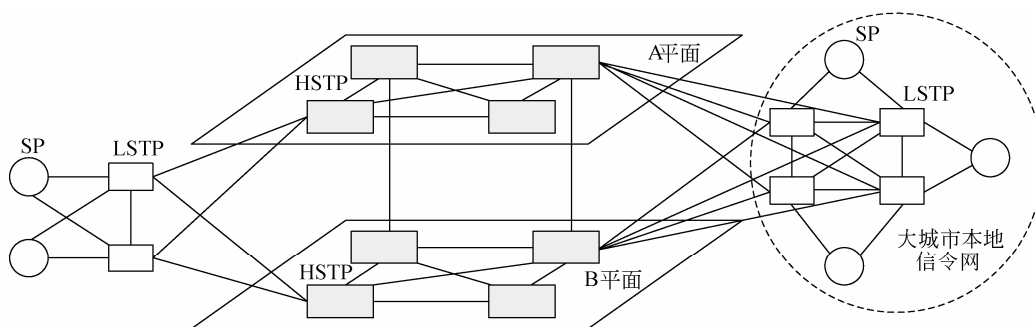


图 3-7-9 我国三级信令网结构示意图

第一级 HSTP 设在各省、自治区及直辖市，成对设置，负责转接它所汇接的第二级 LSTP 和第三级 SP 的信令消息。第二级 LSTP 设在地级市，成对设置，负责转接它所汇接的第三级 SP 的信令消息。第三级 SP 是信令网传送各种信令消息的源点或目的点，各级交换局、运营维护中心、网管中心和单独设置的数据库均分配一个信令点编码。

第一级 HSTP 采用 AB 平面连接方式，平面内各个 HSTP 网状相连，A、B 平面间成对的 HSTP 相连。正常情况下，同一平面内的 STP 间连接不经过 STP 转接，只是在故障情况下需要经由不同平面间的 STP 连接时，才经过 STP 转接。由于 HSTP 的信令负荷较大，故应采用独立型 STP 设备。

第二级 LSTP 至 HSTP 以及未采用二级信令网的中心城市本地网中的 SP 至 HSTP 间的连接方式采用固定连接方式。大、中城市两级本地信令网的 SP 至 LSTP 可采用按信令业务量大小连接的自由连接方式，也可采用固定连接方式。LSTP 可以采用独立型 STP 设备，也可以采用综合型 STP 设备。

④ 信令网与电话网的对应关系

信令网与电话网是两个相互独立的网络，但它们之间存在密切的关系，即信令网中传输的信令信息控制着电话网的接续，因此信令网与电话网之间存在着相互对应的关系，如图 3-7-10 所示。

我国目前的电话网分为三级，由省级长途交换中心 DC1、本地网长途交换中心 DC2 和端局组成。这些交换中心构成信令网的 SP，均分配一个信令点编码。HSTP 设置在 DC1 所在地，汇接 DC1 间的信令。LSTP 设置在 DC2 所在地，汇接 DC2 和端局信令。

（3）信令网的编号计划

在 No.7 信令网中，每个信令点（含信令转接点）都有一个地址，这个地址称为信令点编码，它用于识别信令网中的各个信令点（含信令转接点），供信令消息在信令网进行路由选择。由于信令网与业务网在逻辑上相互独立，因此信令点编码采用独立的编号计划，不

从属于任何一个业务的编号计划。

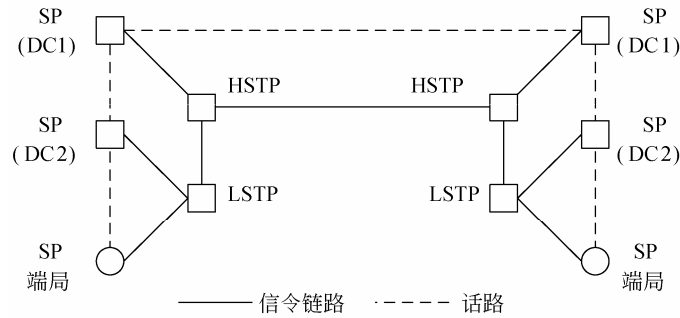


图 3-7-10 我国电话网与信令网的对应关系

为了便于信令网的管理，国际和各国的信令网是彼此独立的，且采用分开的信令点编码计划。

① 国际信令网的编号计划

ITU-T 在 Q.708 建议中规定了国际信令网的编码采用 14b，编码容量为 $2^{14}=16384$ 。采用三级的编码结构，格式如图 3-7-11 所示。

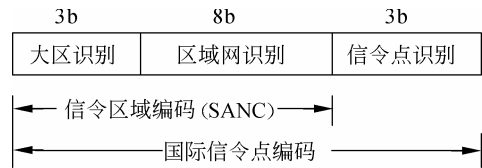


图 3-7-11 国际信令点编码格式

3b 的大区识别是第一级，用于识别世界编号大区；8b 的区域网识别是第二级，用于识别世界编号大区内的地区区域或区域网。这两级均由 ITU-T 分配，如我国被分配在 4 号大区，大区编码为 4，区域网编码为 120。3b 的信令点识别是第三级，用于识别区域网内的信令点。

② 我国国内网的信令点编码

我国国内信令网采用 24b 全国统一的编号计划，如图 3-7-12 所示。编码在结构上分为三级，正好和全国信令网的三级结构一致，便于维护和管理。

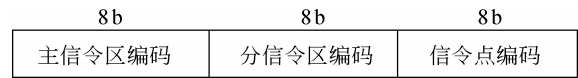


图 3-7-12 我国国内信令点编码格式

主信令区 8b 编码以我国省、直辖市为单位（个别大城市也列入其中）编排，每个主

信令区再划分成若干分信令区,分信令区 8b 编码原则上以省、自治区的地区、地级市及直辖市的汇接区和郊县为单位编排。每个分信令区含有若干个信令点,这些信令点用 8b 的信令点编码进行区分。

需要指出的是,国际接口局既是国内信令网的信令点,又是国际信令网的信令点,所以应同时分配国内信令点编码和国际信令点编码。

(4) 信令网的路由选择

信令路由是源信令点的信令消息到达目的地所经过的各个信令点的信令消息路径。信令路由按其特征和使用方法分为正常路由和迂回路由两类。正常路由是指未发生故障情况下信令消息流经的路径;迂回路由是指因信令链路或路由故障造成正常路由不能传送信令消息而选择的路由。迂回路由都是经过 STP 转接的准直联方式的路由,它可以是一个路由,也可以是多个路由。当有多个迂回路由时,按照经过 STP 的次数,由小到大依次分为第一迂回路由、第二迂回路由等。

在 No.7 信令网中,信令路由的选择遵循“最短路径”和“负荷分担”的原则,具体如下:

① 首先选择正常路由,当正常路由发生故障时,再选择迂回路由。

② 当有多个迂回路由可供选择时,应首先选择第一迂回路由,当第一迂回路由出现故障时,再选择第二迂回路由,依次类推。

③ 在正常或迂回路由中,若有多个同一优先等级的路由时,它们之间采用负荷分担的方式工作。若其中一个路由上的一条信令链路发生故障,则将它承担的信令业务倒换到采用负荷分担的其他信令链路上;若其中一条信令路由发生故障,则将它承担的信令业务倒换到采用负荷分担的其他信令路由上。

在 No.7 信令系统结构中,路由选择是由 MTP-3 的信令消息处理部分完成的。信令消息处理通过检查信令单元的路由标记及相关信息字段决定消息的传送方向。

信令消息处理可进一步分为消息识别、消息分配和消息路由三个子功能。

消息识别功能根据收到的 MSU 中的目的地信令点编码 DPC 判定本信令点是否为信令消息的目的地。如果是,则交给消息分配功能,否则交给消息路由功能转发。

消息分配功能根据消息识别功能送来的 SIO 中的业务表示语 SI 来确定消息所属的用户部分,并传递给相应的用户。

消息路由功能根据 SI、DPC 和 SLS (信令链路选择码) 选择一条合适的信令链路传送信令。具体选择过程如下:

- 信令路由的确定: 根据 SIO 的内容判断是哪类用户产生的消息来选择相应的路由表,并根据 SIO 中业务字段 SSF 的值进一步选择不同的路由表,例如国际呼叫选择国际路由表,国内呼叫选择国内路由表。
- 信令链路组的确定: 根据 DPC 和 SLS,依据负荷分担的原则确定相应的信令链路组。

- 信令链路的确定：根据 SLS，在某一确定的信令链路组内选择一条信令链路，并将消息交给该信令链路发送出去。

需要说明的是，信令的基本功能是控制电话网中一次呼叫的连接建立和释放，即电话用户信息的传递是面向连接的，但承担控制功能的信令消息是采用无连接的数据报方式，在信令网中独立地转发。由于采用直联或准直联方式，信令到某一目的地的路由是预先设置好的，因此信令的转发比标准的数据报转发效率高，信令网络的维护管理也相对简单。

5. No.7 信令网的管理

No.7 信令网是通信网的神经中枢，信令网的任何故障都会大幅度地影响它所控制的信息传输网的工作，造成通信中断，因此对信令网的可靠性要求很高。为了提高信令网的可靠性，除了在信令网中配备足够的冗余链路及设备外，有效的监督管理和动态的路由控制也是十分必要的。

信令网管理功能概括起来说，就是在已知的信令网状态数据和信息的基础上，控制消息路由和信令网的结构，以便在信令网出现故障时采取适当的行动以维持和恢复正常的信令业务。信令网管理由 MTP-3 完成，包括信令业务管理、信令路由管理和信令链路管理 3 部分。

（1）信令业务管理

信令业务管理的功能是在信令链路或信令路由出现故障时，将信令业务从一条信令链路或路由转到一条或多条替换的链路或路由，或在信令点拥塞的情况下暂时减少信令业务。

信令业务管理功能包括：倒换、倒回、强制重选路由、受控重选路由、管理阻断、信令点再启动、信令业务流量控制。

（2）信令路由管理

信令路由管理用来在信令点之间可靠地交换关于信令路由是否可用的信息，并及时地闭塞信令路由或解除信令路由的闭塞。

信令路由管理功能包括：禁止传递、允许传递、受控传递、信令路由组测试、信令路由组拥塞测试。

（3）信令链路管理

信令链路管理用于控制本端连接的所有信令链路，包括信令链路的接通、恢复、断开等功能，提供建立和维持信令链路组正常工作的方法，目的是保证信令链路组有一定数量激活的信令链路，从而保持足够的信令传送能力。

每条运行的信令链路要具有 No.7 第一级和第二级的功能，即必须分配一条信令数据链路和位于此信令数据链路两端的两个信令终端。信令数据链路是第一级，信令终端则是实现第二功能级的设备。根据分配和重新组成信令设备的自动化程度，信令链路管理功能有三种程序：

① 基本的信令链路管理程序：一条信令链路由预定的信令终端和信令数据链路组成，更换信令终端和信令数据链路时需人工介入，而无自动分配的能力。

② 自动分配信令终端：一条信令链路由预定的信令数据链路和任一信令终端组成，当信令链路发生故障时，信令终端可自动更换。

③ 自动分配信令数据链路和信令终端：一条信令链路可选用一个信令链路组内的任一信令终端和任一信令数据链路，当信令链路发生故障时，信令终端和信令数据链路均可自动更换和重组。

目前，我国国内信令网使用的是基本的信令链路管理程序——人工分配信令数据链路和信令终端。

3.7.2 考试要点

- (1) 了解信令的分类方法。
- (2) 熟悉 No.7 信令系统的主要应用。
- (3) 理解 No.7 信令系统采用的信令方式。
- (4) 掌握 No.7 信令系统的分层结构。
- (5) 掌握 No.7 信令系统信令单元的格式。
- (6) 掌握信令网的基本组成部件。
- (7) 理解我国 No.7 信令网的结构。
- (8) 掌握信令网管理的主要功能。

3.7.3 习题集精粹及答案

一、判断题

1. 公共信道信令的主要特点是信令的传送与话路分开，互不干扰。在语音信号传送期间，信令不可传送。

【参考答案】×

【分析】在公共信道信令系统中，信令在一条与话路完全分离的公用信道上传送，语音的传送与信令的传送彼此分离，互不影响，因此语音信号传送期间，可随时传送和处理信令。

2. No.7 信令系统采用的编码方式是二进制编码方式。

【参考答案】×

【分析】No.7 信令系统采用的编码方式是信令单元方式。

3. No.7 号信令系统中的信令连接控制部分对应 OSI 参考模型的网络层。

【参考答案】×

【分析】No.7 信令系统中的信令连接控制部分用于为 MTP 提供附加功能，它与 MTP-3 结合在一起共同完成 OSI 模型中网络层的功能。

二、单项选择题

1. No.7 信令方式采用（ ）来传送各用户部分的消息、信令网管理消息及信令网

测试和维护消息。

- A. 消息信令单元 MSU
- B. 链路状态信令单元 LSSU
- C. 填充信令单元 FISU
- D. ATM 信元

【参考答案】A。

【分析】No.7 信令系统规定了 3 种基本的信令单元格式：消息信令单元 MSU 用于传送各用户部分的消息、信令网管理消息及信令网测试和维护消息；链路状态信令单元 LSSU 用于传送信令链路的状态信息；填充信令单元 FISU 是当信令链路上没有 MSU 或 LSSU 需要传送时发送的空信号，用于维持信令链路的正常工作，同时还可以对已经收到的信令消息进行证实。

2. No.7 信令网中既发送又接收信令消息的节点，称为信令点，以下不具有信令点功能的节点是（ ）。

- A. 电话交换局
- B. 业务控制点 SCP
- C. 归属位置寄存器
- D. 独立的信令转接点

【参考答案】D。

【分析】在 No.7 信令网中，独立的 STP 只能完成对信令消息的转接，而不具有信令消息的处理能力。信令点是信令消息的起源点和目的地点，它是信息网中具有 No.7 信令功能的业务节点，如各类交换局（电话交换局、数据交换局、ISDN 交换局、B-ISDN 交换局）、网管中心、操作维护中心、网络数据库、业务交换点、业务控制点等。

3. 我国信令网采用（ ）结构。

- A. 一级
- B. 无级
- C. 四级
- D. 等级

【参考答案】D。

【分析】我国信令网采用等级结构，共分为三级。

三、多项选择题

1. 信令网管理包括（ ）功能过程。

- A. 信令业务管理
- B. 信令链路管理
- C. 信令路由管理
- D. 信令网络管理

【参考答案】ABC。

【分析】参见 3.7.5 节。

2. 信令网由（ ）构成。

- A. 信令点 SP
- B. 信令转接点 STP
- C. 信令链路
- D. 交换节点

【参考答案】ABC。

【分析】信令网由信令点 SP、信令转接点 STP 和信令链路三部分组成。交换节点是业务网中的节点，不属于信令网的范畴。

四、简答题

1. 简述 No.7 信令系统的主要应用。

【参考答案】No.7 信令系统能满足多种通信业务的要求,当前的主要应用有:①传送电话网的局间信令,完成本地、长途和国际的自动、半自动电话接续。②传送电路交换数据网的局间信令,完成本地、长途和国际的自动数据接续。③传送综合业务数字网的局间信令,完成本地、长途和国际的电话和非话的各种接续。④传送移动通信网中与用户移动有关的各种控制信息,支持移动用户的自动漫游等功能。⑤支持各种类型的智能网业务,在业务交换点和业务控制点之间传送与智能业务有关的各种操作。⑥传送各种运行、管理和维护中心的有关信息。

2. 简述 No.7 信令网管理的主要内容。

【参考答案】信令网管理包括信令业务管理、信令路由管理和信令链路管理 3 部分。信令业务管理的功能是在信令链路或信令路由出现故障时,将信令业务从一条信令链路或路由转到一条或多条替换的链路或路由,或在信令点拥塞的情况下暂时减少信令业务。信令路由管理用来在信令点之间可靠地交换关于信令路由是否可用的信息,并及时地闭塞信令路由或解除信令路由的闭塞。信令链路管理用于控制本端连接的所有信令链路,包括信令链路的接通、恢复、断开等功能,提供建立和维持信令链路组正常工作的方法,目的是保证信令链路组有一定数量激活的信令链路,从而保持足够的信令传送能力。

3.8 同步网

3.8.1 基础知识

同步网是各种通信网的重要支撑网之一。同步网为业务网提供定时,是通信网正常运行的基础,也是保障各种业务网运行质量的重要手段。

1. 同步的基本概念

同步是指信号的发送方与接收方在频率、相位上保持某种严格的特定关系,也就是它们相对应的有效瞬间以同一个平均速率出现。模拟通信网的同步,指的是多路传输系统中收、发两端间的载波频率保持同步,即用于终端机的载波频率应相等或基本相等,并保持稳定。在数字通信网中,传输和交换的信号是对信息进行编码后的比特流,且具有特定的比特率,这就需要网内的各种数字通信设备的时钟具有相同的频率,以相同的时标来处理比特流。要使通信网中每个数字设备的时钟都具有相同的频率,最好的解决办法是建立同步网。

数字通信网中的同步技术有位同步、帧同步和网同步。

(1) 位同步

位同步的是指通信双方的位定时脉冲信号频率相等且符合一定的相位关系,即收发两端的时钟频率必须同频同相。同频就是发送端发送了多少个码元,接收端必须产生同样多的判决脉冲。同相指的是判决脉冲应该对准最佳取样判决位置,否则在接收过程中会造成

判决时刻相对于理想时刻的偏离，从而导致误码的增加。

在数字传输设备中需要对接收到的信号进行判决，在程控交换机中需要进行时隙交换，在复用设备中需要把低速的数字信号复用成较高速率的群路信号。在这些信号的接收、交换和复用过程中，位同步是保证这些过程顺利进行的前提。

（2）帧同步

帧同步是指通信双方的帧定时信号的频率相同且保持一定的相位关系。在数字信道上，为了提高信道利用率，通常采用时分多路复用的方式。帧同步的作用是在同步复用的情况下，能够正确地区分每一帧的起始位置，从而确定各路信号的相应位置并正确地把它区分开来。帧同步是通过在信码中插入帧同步码来实现的，帧同步码组是一组特定的码组，接收端利用检测电路来检测这一特定的码组并以此作为基准信号来控制本地的定时产生系统，使得接收设备的帧定位信号和接收信号的帧定位信号保持一致，即在时间轴上对齐，从而实现帧同步。

帧同步是以位同步为基础的，只有在位同步的情况下，才能使得接收信号帧和接收设备帧的持续时间是相等的，才有可能实现帧同步。如果节点设备收到的数字比特流与其内部时钟位置发生偏移和错位，将会造成帧同步码的丢失，产生帧失步。

（3）网同步

网同步是指网络中各个节点的时钟信号的频率相等，也就是多个节点之间的时钟同步，从而也可以在各个节点实现帧同步。在数字通信网中，数字交换设备接收来自传输链路的数字比特流，先以发端的时钟频率写入到缓冲存储器中，再按照本交换设备的时钟频率读出缓冲器中的数据。通过这种方式进行交换后送给用户终端或其他交换设备。如果数字交换设备之间的时钟频率不一致，就会在数字交换系统的缓冲存储器中产生码元的丢失或重复，造成误码，影响通信质量。

随着通信网的发展，在网络中运行的设备的种类不断增加，除了数字程控交换机外，还逐步引入了 SDH 传输设备、数字交叉连接设备、DDN 设备、No.7 信令网设备，数字信号以更高的速率交换和传输，时钟信号的相位偏移所造成的影响日益明显和严重，对于各个节点之间时钟信号的同步需求也就越加迫切。

2. 数字同步网的同步方式

同步方式是指用什么方法、使用何种设备和如何组织通信网内的数字设备，使其时钟相互同步。目前，网同步的方法可分为准同步和同步两大类，同步又有主从同步、时间基准同步、外部基准同步和互同步，互同步可包括单端控制法和双端控制法。网同步的方法如图 3-8-1 所示，图中的圆圈表示交换节点，带箭头的实线表示时钟信号或控制信号的传输途径。交换节点中的同步控制信号来自线条中的时钟信号和节点本地时钟信号之间的相位差值，或者直接来自线条中的控制信号。

不同的同步技术对节点时钟的控制将采用不同的方法。

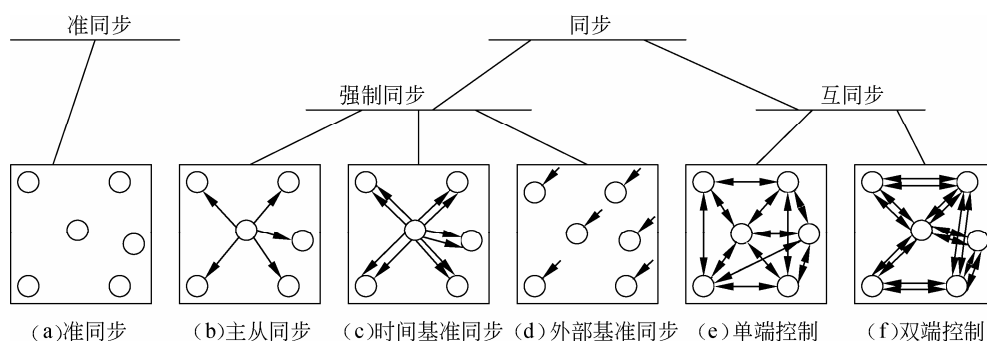


图 3-8-1 网同步的方法

- 单向控制

单向控制是指对同步的控制仅在传输链路的一个方向上进行，或者说仅对链路的一侧有效，如图 3-8-1 (b)、图 3-8-1 (c)、图 3-8-1 (d) 所示。强制同步都是单向控制的。主从同步是指网中指定一个主时钟节点，所有其他从时钟节点都受主时钟节点的控制；时钟基准分配是指从节点都接受时间基准的同步控制；外部基准是指利用通信网外的基准时钟来控制网中所有的节点。

- 双向控制

双向控制是指网同步的控制传输在传输链路的两个方向上都使用，也就是链路两侧都受到控制。互同步方法中节点之间的控制是双向的，如图 3-8-1 (e)、(f) 所示。

- 单端控制

单端控制是指节点时钟的同步控制信号来自输入时钟信号和本地时钟的差值，也就是来自节点的本端。图 3-8-1 (b) 的主从同步必然是单端的，图 3-8-1 (e) 所示为单端互同步方式。

- 双端控制

双端控制是指节点时钟的同步控制信号除来自本段输入时钟信号和本地时钟的相位差值外，还将发送时钟信号对端所得到的相位差值通过线路传送到本端作为控制信号。因为控制信号利用了两端的相位差值，所以称为双端控制。双端技术可以抵消传输链路时延变化的影响，提高网络的同步质量。时间基准分配和双端互同步方式都采用了双端控制，如图 3-8-1 (c) 和 (f) 所示。图中除时钟信号传送线外，还多了一条控制信号的传送线。

(1) 准同步方式

在准同步方式中，各交换节点都具有独立的时钟，且互补控制，但它们的频率精度要求保持在极窄的频率容差之中，网络接近于同步工作状态。为了使两个节点之间的滑动率低到可以接受的程度，应要求各节点都采用高精度与高稳定度的原子钟。

准同步方式的优点是网络结构简单，交换局将不需要有控制信号来校准时钟精度，不受其他交换局时钟障碍的影响，工作稳定、可靠，网络的增设和变动都很灵活。缺点是对

时钟源性能要求高、价格昂贵；另外，准同步方式工作时由于没有时钟的相互控制，节点间的时钟总会有差异，故准同步工作方式时总会发生滑动，从而对通信业务的质量造成损伤。为了减小对通信业务的损伤，要求时钟必须具有很高的精度，一般采用高精度的铯（或铷）原子钟，它的频率精度为 1×10^{-11} 。

目前，国际数字网的连接是采用准同步方式运行。各国军用战术移动通信网，为提高网同步的抗毁能力，也采用准同步方式工作。各国军用数字通信网，为提高网同步的可靠性，通常要求在所选用的网同步技术出现故障时利用准同步工作方式来过渡。

(2) 主从同步方式

主从同步方式是目前得到广泛应用的一种同步方式。这种方式是在数字网内某一交换局设置高精度和高稳定度的时钟源，并以其作为主基准时钟的频率控制其他各局从时钟的频率，也就是数字网中的同步节点和数字传输设备的时钟都受控于主基准同步信息。主从同步方式中同步信息按规定的顺序从一个时钟传到另一个时钟，同步信息可以从包含在传送业务的数字信号的时标中提取，也可以用指定的专用链路传送，从上级时钟送出的定时信号中提取。

主从同步方式又可分为直接主从同步方式和等级主从同步方式两种。

直接主从同步方式是在数字通信网中选择一个交换局为主局，主局以外的各交换局均为从局。主局内设置一个高精度的铯（或铷）原子钟，以它作为基准时钟，通过数字链路传送定时基准信息，用它来强制各从局的晶体时钟与主局的基准时钟同步，使整个数字通信网内所有交换局时钟都统一于主局基准时钟的频率，从而达到网同步，如图 3-8-2（a）所示。

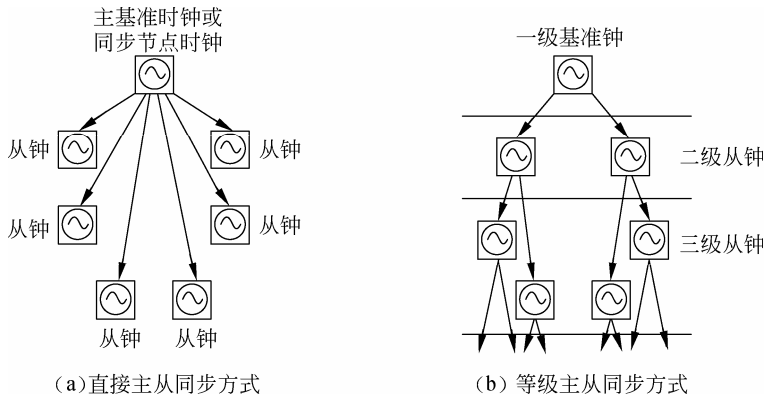


图 3-8-2 主从同步方式示意图

等级主从同步方式是将基准时钟通过树型时钟分配网络逐级向下传输。在正常运行时通过各级时钟的逐级控制就可以达到网内各节点时钟都锁定于基准时钟，从而达到全网时钟统一，如图 3-8-2（b）所示。

主从同步方式的优点主要有：

- 各同步节点和设备的时钟都直接或间接地受控于主时钟源的基准时钟，在正常情况下能保持全网的时钟统一，因而在正常情况下可以不产生滑动。
- 除对作为基准时钟的主时钟源的性能要求较高之外，其余的从时钟源与准同步方式的独立时钟相比，对性能要求都较低，所以可以降低网络的建设费用。
- 从节点的控制过程较为简单，适用于树型或星型网络，这与当前电信网的结构是一致的。

主从同步方式的主要缺点如下：

- 系统采用单端控制，定时信号传输链路上的扰动将会导致定时基准信号的扰动，在等级主从同步方式中，这种扰动还会沿传输途径逐段积累，影响网中定时信号的质量。
- 一旦主节点的基准时钟或定时信号传输链路发生故障，将会导致全系统或局部系统丧失同步能力。为此，主节点基准时钟需采用多重备份手段以提高可靠性，而定时基准分配链路采用备用路由的时钟或者在从节点设置具有存储功能的松耦合锁相环路来实现同步。
- 当等级主从同步方式用于较复杂的数字网络时，必须避免造成定时环路，特别是用于 SDH 传输系统的环形网或网状的传输网时。加上保护切换和主备用定时信号的切换，同步网的规划与设计变得很复杂。

虽然主从同步方式有缺点，但网络系统灵活，时钟费用低，滑动性能好，目前已被一些国家广泛采用。我国的国内同步网采用的就是等级主从同步方式。

（3）外时间基准同步方式

外时间基准同步方式是指数字通信网中所有节点的时间基准依赖于该节点所能接收到的外来基准信号，通过将本地时钟信号锁定到外来时间基准信号的相位上，来达到全网定时信号的同步。

目前常用的外时间基准信号是 GPS（Global Positioning System，全球定位系统）系统或 GLONASS（Global Navigation Satellite System，全球导航卫星系统）系统。

外时间基准同步方式的优点是时间基准信号的频率精度很高（大都采用铯钟），传输路径与数字信息通路无关。缺点是这种信号只有在外时间基准信号的覆盖区才能使用，非覆盖区无法采用。同时，外时间基准信号还得采用专门的接收设备。

（4）互同步方式

互同步方式指在数字网中不单设主基准时钟，数字设备或交换节点的时钟通过锁相环路受所有接收到的定时信号的共同加权控制，因此时钟的锁相环路是一个具有多输入信号的环路，构成将多输入锁相环相互连接的一个复杂的多路反馈系统。在各时钟的相互作用下，如果网络参数选择合适，则可使网中时钟达到一个稳定的系统频率，实现网内时钟的同步。

互同步的控制方式可以分为单端控制和双端控制两种，但两者都属于双向控制。单端控制中传输的是两个节点的时钟频率，而双端控制除了传输两个节点的时钟频率之外，还传送了两个节点的时钟频率经相位比较器比较后的输出信号，因此可以消除传输链路时延变化的影响，适用于较大的区域网。与之相比，单端控制方式只适用于局部地区的小网。

互同步方式的优点是网内局部故障不影响其他部分的工作，从而提高了通信网的工作可靠性，并且时钟稳定度原则上低于主从同步法所要求的时钟稳定度，因此设备较便宜。缺点是同步系统较为复杂。随着高稳定高可靠基准时钟的出现，大部分系统趋向采用主从同步方式，互同步方式很少在实际中应用。

3. 数字同步网的结构

利用上述基本网络同步技术，可采用下列结构组建同步网。

(1) 全同步网

在全同步方式下，同步网接受一个或几个基准时钟控制。

当同步网内只有一个基准时钟时，同步网内的其他时钟就都同步到该基准时钟上。如图 3-8-3 所示。

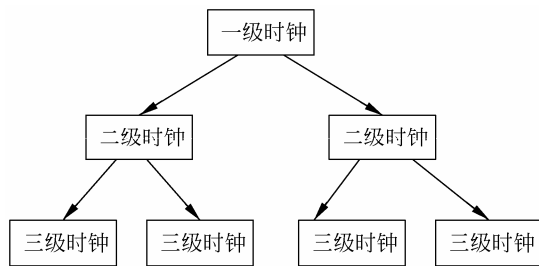


图 3-8-3 主从全同步网

在这种类型的同步网中，最高一级时钟为符合 G811 规定的性能的时钟，即基准时钟，也称为一级时钟。它作为主钟为网络提供基准定时信号，该信号通过定时链路传递到全网。二级时钟是它的从钟，从与之相连的定时链路提取定时，并滤除由于传输带来的损伤，然后将基准定时信号向下级时钟传递。三级时钟从二级时钟中提取定时，这样就形成了主从全同步网结构。

全同步网的另一种类型是在同步网中，存在着几个基准时钟，网络中的其他时钟接受这几个基准时钟的共同控制，典型结构如图 3-8-4 所示。

在这种结构的同步网中，存在着多个符合 G811 建议的基准时钟。在基准时钟层面上，需要采用一定的方法对基准时钟进行校验，以保证基准时钟间的同步。目前，一般采用两种方法：

- 在所有的基准时钟上装配 GPS 接收机，使所有基准时钟通过 GPS 系统跟踪 UTC，对基准钟不断进行调整，使之与 UTC 保持一致的长期频率准确度，从而达到全网

同步运行的目的。

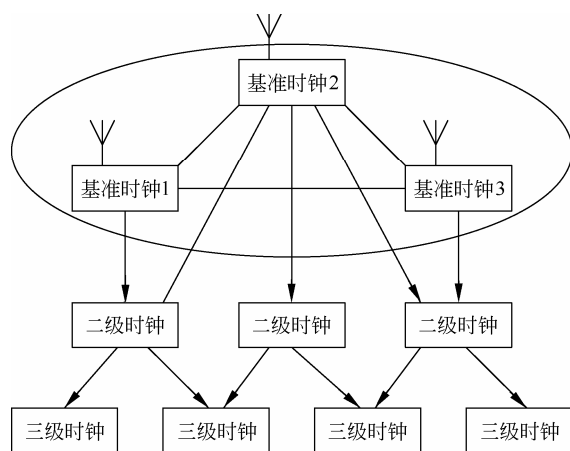


图 3-8-4 多基准时钟的全同步网

- 在基准时钟层面上，基准时钟间采用类似互同步的方法，每个基准时钟都与其他基准时钟相连，并进行对比计算，以获得一个更为准确的综合频率基准，然后去调整每个基准时钟，使网络同步运行。

第二种方法比较复杂，首先要通过地面链路将基准时钟组成网络；其次要对基准时钟进行长期的性能监测；然后再通过一套复杂的算法对网络进行加权计算；最后再对各个基准时钟进行控制调整。其优点是可靠性高，自主性强，不依赖于 GPS 等外界手段。

由于 GPS 的广泛应用，第一种方法被大量采用。其优点是实现方法简单，只需配备 GPS 接收机即可，并且成本低。但其缺点是可靠性低。由于 GPS 系统归美国政府所有，受控于美国国防部，对世界各地的 GPS 用户未有任何政府承诺，且用户只付了购买 GPS 接收机的费用，并未支付 GPS 系统的使用费用，因此这种方法的可靠性低、自主性差。

(2) 全准同步网

在全准同步方式下，网内的所有时钟都独立运行，不接受其他时钟的控制。网络采用分布式结构，如图 3-8-5 所示。

网络内时钟没有高级和低级之分，同步网以各个时钟为中心，划分为多个独立的同步区，各时钟负责本区内设备的同步。在各个时钟之间不需要定时链路的连接，没有局间定时分配。

全准同步网要求网内各个时钟都具有很高的准确度和稳定度，时钟具有相同的级别，以保证业务网的同步性能。因此全准同步网应用不太普遍，只有一些地域小的国家采用这种方式。当网络规模较大时，这种结构的网络不仅成本高，而且难以控制管理，网络的同步性能难以保证。

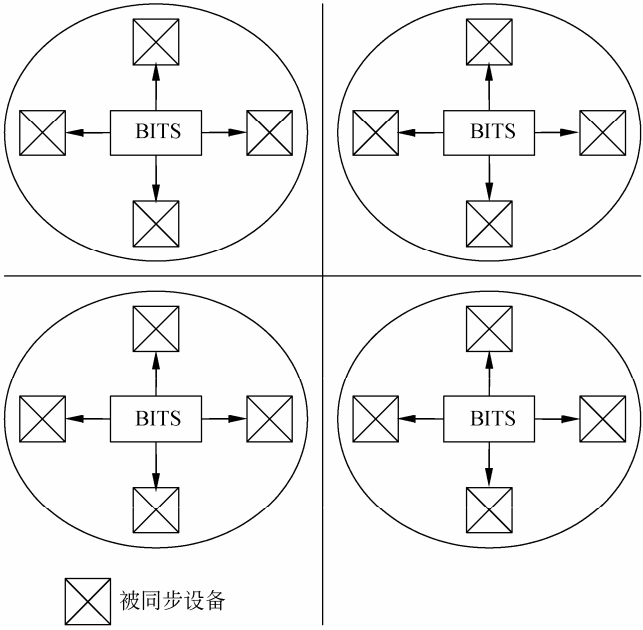


图 3-8-5 全准同步网

(3) 混合同步网

在混合同步方式下，将同步网划分为若干个同步区，每个同步区是一个子网，在子网内采用全同步方式，在子网间采用准同步方式，如图 3-8-6 所示。

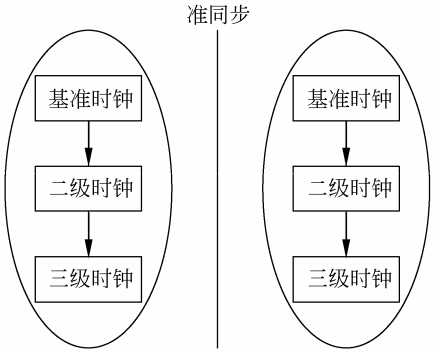


图 3-8-6 混合同步网

在每个子网中，采用主从同步方式。一般设置一个基准时钟（为了提高网络的可靠性，在一个子网内也可以设置多个基准时钟）为网络提供基准定时。各级时钟提取定时，并逐级向下传递，在各个子网间采用准同步方式。

混合同步网与多基准时钟控制的全同步网的区别是：在全同步网内，各个基准时钟之间通过一定的方式（如通过 GPS 跟踪 UTC 或各基准时钟间的比对调整）使各个基准时钟同步运行。全网具有很高的同步性能。而在混合方式下，子网与子网的基准时钟间不需要进行同步，它们是独立运行的。

（4）我国同步网的网络结构

我国数字同步网采用多基准的全同步网方案，按照时钟性能可划分为四级。

第一级：基准时钟，是数字网中最高质量的时钟，是网内唯一的主控时钟源，采用高稳定度和高精度的铯原子钟组。国家数字同步网在北京国际通信大楼安装了3组铯钟，武汉长话大楼安装了两组超高精度铯钟及两个GPS，这些都是超高精度一级基准时钟，称为PRC（Primary Reference Clock）。

第二级：具有保持功能的高稳定度时钟，由受控的铷钟或高稳定度晶体钟实现，分为A类和B类。上海、南京、西安、沈阳、广州、成都等6个大区中心及乌鲁木齐、拉萨、昆明、哈尔滨、海口等5个边远省会中心配置地区级基准时钟，称为LPR（Local Primary Reference）。LPR属于A类时钟，它们作为省、自治区内的二级基准时钟源，可以接收GPS信号和PRC信号。当GPS信号正常时，各省中心的二级时钟以GPS信号为主构成LPR，作为省内同步区的基准时钟源。当GPS信号故障或质量下降时，各省的LPR则转为经地面数字电路跟踪北京或武汉的PRC，实现全网同步。全国各省、市、自治区中心的长途通信大楼内安装的大楼综合定时供给系统，以铷钟或高稳定度晶体钟作为二级B类标准时钟，它通过同步链路受A类时钟控制，间接地与基准时钟源同步。

第三级：具有保持功能的高稳晶体时钟，其频率稳定度可低于二级时钟，通过同步链路受二级时钟控制并与之同步。三级时钟设置于汇接局和本地网端局。

第四级：一般晶体时钟，它通过同步链路受第三级时钟控制并与之同步。第四级时钟设置在远端模块、数字终端设备和数字用户交换设备。

为了加强管理，我国的同步网划分为若干个同步区，同步区是同步网的子网。同步区是以省和自治区来划分的。各省和自治区中心设二级基准时钟源作为省内和自治区的基准时钟源，组成省内和自治区的数字同步网。各省和自治区中心的二级基准时钟源除了与第一级的基准时钟同步外，不同的同步区之间，按同步时钟等级也可设置同步链路，用来传递同步基准信息作为备用。因此我国的数字同步网是一个“多基准钟、分区等级主从同步”的网络。

4. 数字同步网节点时钟

同步网节点是同步网上设置各级时钟的地方，一般是在各个通信中心或通信楼内。在同步网节点上，各种通信设备可以直接从节点时钟上获取同步网定时。数字同步网节点时钟设备包括两种：独立型定时供给单元和混合型定时供给单元。独立型定时供给单元（即通信楼综合定时供给系统BITS）是数字同步网专用设备，主要包括铯原子钟，铷原子钟，晶体钟以及由全球定位系统（GPS和GLONASS）组成的定时系统。混合型定时供给单元

是指通信设备中的定时单元，它的性能满足同步网设备的指标要求，可以承担定时分配的任务，例如交换机时钟，数字交叉连接设备 DXC 等。混合型定时供给单元不便于维护和管理，一般在数字同步网中不推荐使用。

（1）铯钟

铯原子钟简称铯钟，是利用铯原子的能级跃迁制造的频率源。铯钟的主要部件是铯素管，利用铯原子的固有特征，根据能级跃迁的谐振特性，产生固定的谐振频率。铯钟的优点是长期稳定性非常好，其长期频率偏离低于 1×10^{-11} ，可以作为自主运行的基准参考时钟。铯钟的缺点是体积大、能耗高、价格贵，并且铯素管的寿命为 5~8 年，维护费用大。

为了提高可靠性，通常需要采用三套铯钟及其相应配套装置，组成基准时钟源。各套铯钟独立工作，由频率测量单元对其输出信号进行比较或采用三中取二的大数判决方式选一套铯钟作为基准时钟。

（2）铷原子钟

铷钟的工作原理与铯钟相似，也是利用能级跃迁的谐振特性产生固定的频率。与铯钟相比，铷钟的长期稳定性差，但是具有体积小，预热时间短，短期稳定性高，价格偏移等优点，在同步网中普遍作为地区级参考频率标准。如果利用 GPS 校正铷钟的长期稳定性，也可以达到一级时钟的标准，因此配置了 GPS 的铷钟系统常用作一级基准源。

（3）晶体钟

晶体钟是以石英晶体为振荡源，利用晶体的谐振特性，产生振荡频率，再通过锁相环技术根据需要输出相应的频率。晶体钟长期稳定性和短期稳定性比原子钟差，但晶体钟的体积小、重量轻、耗电少、价格便宜，因此在通信领域得到广泛应用，在同步网中一般作为从钟使用。

（4）GPS 系统和 GLONASS 系统

● GPS 系统

全球定位系统 GPS 是美国国防部组织建立并控制的卫星定位系统，它可以提供三维定位（经度、纬度、高度）、时间同步和频率同步，是一套覆盖全球的全方位导航系统。

早期的 GPS 系统主要用于导航定位，主要为美国军方服务。20 世纪 90 年代初，由于 GPS 接收机价格低廉，不向用户收取使用费，并且能够提供高性能的频率同步和时间同步，因此，GPS 开始在通信领域使用，并且随着近几年通信的迅猛发展，GPS 的应用越来越广泛。

GPS 系统由卫星部分、地面控制部分和用户接收机三部分组成。

- 卫星系统包括 24 颗卫星，分布在 6 个圆形轨道上，每个轨道有 4 颗卫星，实际供定位用户使用的有 21 颗，另 3 颗为备用卫星。卫星的设计寿命为 7.5 年，轨道平均高度为 20200km 以上，运行周期为 11 小时 58 分。在全球任何地方、任何时刻平均能看到 4~8 颗卫星，足以提供给全球任一地点的移动和固定用户作为连续实时的三维定位导航使用。每颗卫星上都载有铷钟，称为卫星钟，接受

地面主钟的控制。

- 地面控制部分是整个 GPS 系统的神经中枢, 是保证整个系统协调运行的核心, 它由 1 个主控站、5 个监控站和 3 个地面站组成。监控站分布在不同地域, 是无人值守站, 对卫星跟踪测轨, 接收卫星的测试数据, 进行轨道预报, 并收集当地气象及大气和对流层对信号的传播时延数据连同时钟修正、轨道预报参数一起传输给主控站。主控站设有工作人员, 负责根据收集来的数据估算出每个卫星的位置和时间参数, 并且与地面基准相对比, 然后形成对卫星的指令。这些新的数据和指令被送往卫星地面站, 通过卫星地面站发送出去, 卫星按这些新的数据和指令进行工作, 并把有关数据发送给用户。在主控站中用于比对的同步基准由美国海军天文台控制, 它是原子钟与协调世界时 (Coordinated Universal Time, UTC) 比对后的信号, 这样就使卫星钟与 GPS 主时钟之间保持精确同步。
- 用户接收机包括天线、馈线和中央处理单元。其中中央处理单元由高稳晶振和锁相环组成, 它对接收信号进行处理, 经过一套严密的误差校正, 使输出的信号达到很高的长期稳定性。定时精度能够达到 300ns 以内。

GPS 卫星发射的信号有两种, 即通用码 (C/A 伪随机码) 和专用码 (P 伪随机码), 这两种信号使用的对象是不同的, 发射使用的频率也不同。一般用户只能接收到 C/A 码信号, 在 C/A 码信号中, 被施加了称作“选择性供给”的干扰, 使 GPS 信号的质量较之 P 码有明显的下降。发射两种信号的频率分别为:

L1 波段: 1575.42MHz

L2 波段: 1227.26MHz (仅用于 P 码)

由于通过卫星传输信号的固有缺点和选择性供给的影响, 地面接收站接收到的定时信号短期稳定性比较差。因此在通信网中, 常将 GPS 与铷钟配合使用, 利用 GPS 的长期稳定性, 结合铷钟的短稳特性, 得到准确度和稳定度都很高的同步信号。该信号可作为基准源使用。

- GLONASS 系统

GLONASS 系统是前苏联紧跟美国 GPS 系统研究发展的卫星导航定位系统。GLONASS 系统由 24 颗卫星组成, 它们均匀分布在三个轨道平面上, 轨道倾角为 64.8° , 轨道平面相互间隔为 120° 。GLONASS 的支撑系统由 5 个跟踪站和 9 个监测站组成, 用来支持 GLONASS 系统的信号。GLONASS 系统工作原理与 GPS 相似, 但目前的应用没有 GPS 广泛。

- (5) 通信楼综合定时供给系统

早期的数字同步网, 用数字交换机的内部时钟作为节点时钟使用。随着通信技术的发展, 局内通信设备的类型不断地增加, 在这种多通信设备的环境中, 解决同步问题的有效方法是引入通信楼综合定时供给系统, 简称 BITS (Building Integrated Timing Supply)。BITS

是一种承上启下的设备，一方面它受上一级时钟的控制，输出信号锁定于上一级基准信号，另一方面它又作为一个时钟源，向局内的各种设备统一提供时钟信号。

BITS 可以向各种数字交换设备（电路交换、分组交换、ATM 交换），SDH 数字传输设备，数字交叉连接设备，No.7 信令网设备，智能网设备提供统一的时钟信号，还可以向下级 BITS 或专网 BITS 提供定时基准用的专线。

BITS 的引入不仅提高了同步的准确性和可靠性，也降低了对通信设备内置时钟准确度的要求，同时减少了进行通信枢纽的传输链路的数量，有利于对整个同步系统进行维护和管理。

5. 定时分配

为了同步通信网中的各种设备，需要将基准定时信号逐级传递下去，这就需要进行定时分配。定时分配包括局内定时分配和局间定时分配。

（1）局内定时分配

局内定时分配是指在同步网节点上直接将定时信号送给各个通信设备。即在通信楼内直接将同步网设备（BITS）的输出信号连接到通信设备上。此时，BITS 跟踪上游时钟信号，并滤除传输所带来的各种损伤，如抖动和漂移，重新产生高质量的定时信号，并用此信号同步局内通信设备。

局内定时分配一般采用星型结构，如图 3-8-7 所示。从 BITS 到被同步设备之间的连线采用 2Mbps 或 2MHz 的专线。

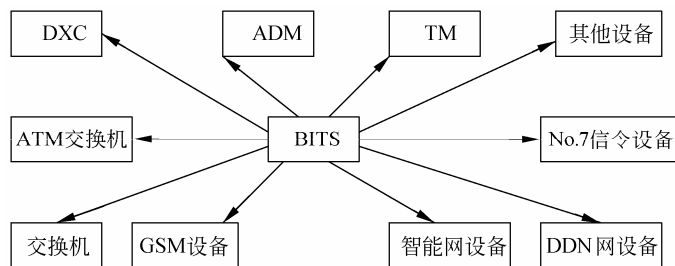


图 3-8-7 局内定时分配

在通信楼内需要同步的设备主要包括程控交换机、异步传送模式交换机（ATM）、No.7 信令转接点设备、数字交叉连接设备（DXC）、SDH 网的终端复用设备（TM）、分插复用设备（ADM）、DDN 网设备和智能网设备等，另外还有一些其他需要同步的设备。

这些设备都具有单独的外时钟输入口和外时钟输出口。接口类型包括 2Mb/s 或 2MHz。因此，BITS 提供的定时信号可以通过 2Mb/s 专线或 2MHz 专线直接连到设备的外时钟输入口上，然后通过设备的管理系统将设备的同步方式设置为外同步，这样该设备就可以直接同步于同步网了。

这种星型结构的优点是同步结构简单、直观、便于维护；缺点是外连线较多，发生故

障的概率增大。同时，由于每个设备都直接连到同步设备上，这样就占用了较多的同步网资源。因此在实际网络中对这种星型结构进行了一些改进。当局内的设备较多时，对同一类设备或组成系统的设备，可以通过业务线串接，也可以通过外同步接口连接，如图 3-8-8 所示。

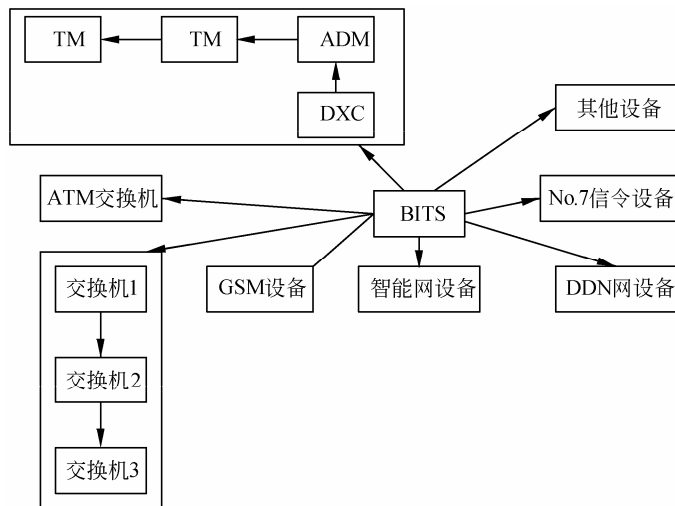


图 3-8-8 改进的局内定时分配

例如，局中有些 SDH 设备，包括 DXC、ADM、TM，组成局内传输系统，可以将 BITS 的定时信号直接连到 DXC 设备的外时钟输入口，DXC 将同步网定时承载到业务线上，传递给 ADM、TM 等设备，这些设备从业务信号中提取定时。另外，若局内有几个相同的设备（例如交换机），并且有业务关系，那么，可以将一个交换机的外时钟输入口连到 BITS 上，其他交换机从相连的业务线中提取同步网定时。

这样连接的优点是节省了同步网资源，降低了由于外连线带来的故障，方便了维护。

（2）局间定时分配

局间定时分配是指在同步网节点间的定时传递。

根据同步网结构，局间定时传递采用树状结构，通过定时链路在同步网节点间，将来自基准钟的定时信号逐级向下传递。上游时钟通过定时链路将定时信号传递给下游时钟。下游时钟提取定时，滤除传输损伤，重新产生高质量信号提供给局内设备，并再通过定时链路传递给它的下游时钟。

目前采用的定时链路主要有两种：PDH 定时链路和 SDH 定时链路。

① PDH 定时链路

传统的同步网建立在 PDH 环境下，采用 PDH 的 2Mb/s 通道传递同步网定时信号，定时链路包括 2Mb/s 专线和 2Mb/s 业务线。

传输系统对 2Mb/s 信号进行正码速调整,比特复接至高次群(8Mb/s, 34Mb/s, 140Mb/s 等),通过 PDH 线路系统传递下去。传输设备不受该 2Mb/s 时钟同步,因此,传输系统所引入的抖动和漂移损伤较小,PDH 传输设备的 2Mb/s 通道适合传送同步网定时。同时,由于在同步网节点间无传输系统时钟介入,当定时链路发生故障时,下游时钟可以迅速发现故障,进入保持工作状态或切换到备用参考定时信号,即可以很快地进行定时恢复。

PDH 传递同步网定时的特点如下:

- PDH 系统对同步网定时损伤小,适合长距离传递定时。
- PDH 传输网结构多为树型,定时链路的规划设计简单。
- 当定时链路发生故障时,便于定时恢复。

② SDH 定时链路

SDH 定时链路是指利用 SDH 传输链路传送同步网定时。

与 PDH 定时链路不同,由于 SDH 采用指针调整技术,2Mb/s 支路信号不适于传递同步网定时,一般采用 STM-*N* 信号传递定时。在定时链路始端的 SDH 网元通过外时钟信号输入接收同步网定时,并将定时信号承载到 STM-*N* 上。在 SDH 系统内,STM-*N* 信号是同步传输的,SDH 网元时钟接收线路信号定时,并为发送的线路信号提供定时。特殊情况下,经过再定时处理的 2Mb/s 信号可以在局部范围内传递定时,大规模使用前,必须解决时延问题。

采用 SDH 系统传递同步网定时信号时,SDH 网元时钟将串入到定时链路中,这样 SDH 网元时钟和传输链路成为同步网的组成部分。

在 SDH 定时链路上,除了定时信号的传递,还包括同步状态信息(Synchronization Status Message, SSM)的传递。SSM 用于传递定时信号的质量等级。同步网中的节点时钟通过对 SSM 的解读获得上游时钟等级信息后,可对本节点时钟进行相应操作(例如跟踪倒换或转入保持状态)。

另外,由于 SDH 网复杂的网络结构和灵活的网络保护功能,使定时链路的规划设计变得复杂,同时给定时链路的恢复带来一些困难。因此采用 SDH 网传送同步定时信号要注意以下几点。

- SDH 网多采用环形结构,当上游定时链路故障时,会出现高级时钟受低级时钟同步的现象。
- 当同步网定时链路规划不合理,或定时参考信号的来源及时钟信号等级不明时,会在同步网内形成定时环。
- ITU-T 标准规定,基准定时链路上 SDH 网元时钟个数不能超过 60 个。这样定时传递距离就会受到限制。

6. 同步网的技术指标

在数字传输、复用和交换组成的数字通信网中,对所传送的数字信息会引入各种各样的数字损伤。为此,ITU-T 建议用误码、抖动、漂移、滑动、延时和帧失步等表示数字网

中的传输损伤。对于网同步装置来说（包括节点时钟和帧调整器），所引入的传输损伤将包括抖动、漂移、滑动和延时。

（1）滑动

① 滑动的产生

在同步传输或准同步传输的数字码流中，由于缓冲存储器的读和写的速率不一致造成一组比特丢失或重复插入的现象，称为滑动。

滑动产生的原理如图 3-8-9 所示。图中数字交换局 A 和 B 的数字信号到达 C 局，它们的时钟信号频率分别为 f_a 、 f_b 和 f_c ，并且在同一基准频率上下略有偏差。C 局的缓冲存储器是按入局时钟 f_a 、 f_b 写入，按本局时钟 f_c 读出，当 f_a 、 f_b 和 f_c 之间误差积累到一定程度时，在数字信号流中就会产生滑码。

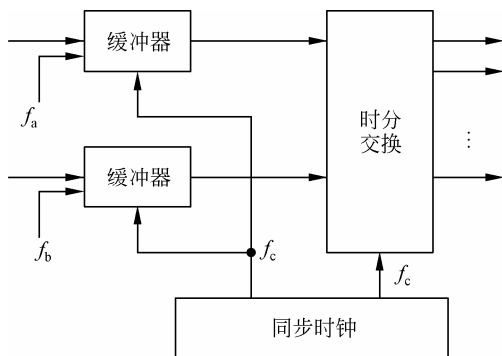


图 3-8-9 滑动产生的原理

以缓冲器的容量为 $1b$ 为例来讨论滑码的产生。图 3-8-10 是由于时钟频率偏差引起滑码的示意图。在图 3-8-10 中，时间轴上方是读时钟脉冲，下方是写时钟脉冲，写脉冲和读脉冲之间的时间间隔称为读写时差 T_d 。当写时钟频率 f_a 大于读时钟频率 f_c 时（如图 3-8-10 (a) 所示），读写时差随时间的增加而增加。当它超过 $1b$ 时，则产生一次漏读现象，这时将丢失这个码元（图中的第 7 个码元），同时读写时差将产生一个跳跃。图 3-8-10 (b) 是写时钟频率 f_b 小于读时钟频率 f_c 的情况，当读写时差减少至 0 时则产生一次重读现象，这时将增加一个码元。这种数码的丢失或增加就称为滑码。

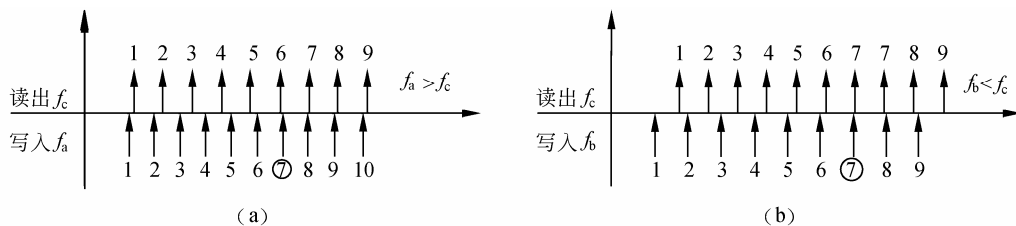


图 3-8-10 缓冲器容量为 $1b$ 时的滑码

当缓冲器的容量为 $1b$ 时, 滑码一次丢失或增加的码元数为 $1b$, 这时将引起帧失步, 从而造成在失步期间全部信息码元的丢失。解决的方法是扩大缓冲器的容量。当缓冲器的容量为 1 帧时产生滑码, 若 $f_a > f_c$, 即对于缓冲器是写得快而读得慢, 缓冲器存储的码元逐渐增加, 当增加至 1 帧时, 将产生一次滑码, 从而丢失 1 帧的码元; 若 $f_b < f_c$, 这时滑码一次, 码元将增加 1 帧。

在实际的数字交换机中, 缓冲器的容量可为 1 帧或大于 1 帧, 把滑码一次丢失或增加的码元数控制为 1 帧。这样做的优点一是减少了滑码的次数, 二是由于滑码一次丢失或增加的码元数量为 1 帧, 防止了帧失步的产生。这种滑码一次丢失或增加一个整帧的码元常称为滑帧, 由于滑码一次丢失或增加的码元数是确定的, 因此也常称其为受控滑码。

② 滑动的影响

滑动对通信的影响主要由通信的服务性质确定, 滑动对语音通信和数据传输所造成的后果是不同的。一般来讲, 码率越低, 代表那种服务的编码冗余度越高, 滑动的影响越小, 反之则越大。

滑动对语音通信的影响不大。由于语音波形的频带很宽, 而且动态变化, 所以能够有效地掩盖这种滑动的影响。对于 64kb/s 的语音信号, 一次滑动仅会丢失或增加一个取样值, 产生一个轻微的“喀哒”噪声。对于电话而言, 每分钟可以允许滑动 5 次。

对于 PCM 系统中的随路信令信号而言, 滑动将造成复帧失步, 需要 5ms 才能重新实现复帧定位。因此, 一次滑码将造成 5ms 的短时中断。对于公共信道信令, 因为采用了检错重发机制, 发生滑动以后只会因信令重发而使呼叫接续的速度变慢, 不致造成接续的错误。

对于数据传输, 当发生滑动时可用纠错码检出受到影响的数据块, 一经检出就重新发送该数据块, 因此, 产生的后果就是引起数据传输的时延, 降低了数据传输的效率。对有些编码数据, 滑动的影响较大, 它会导致整个编码的重传, 从而降低了可靠性和传输效率。

对于传真和图像信号, 任何时候只要发生一次滑动, 就要引起整幅图像余留部分线条的轻微位移, 导致整幅图像被破坏, 需要进行重新传输。

③ 滑码率的计算

数字网中滑动产生的传输损伤可用滑码率来表示, 也就是单位时间内滑动的次数。

当读写时差 T_d 大于 NT_0 (N 为滑码一次增加或丢失的码元数, T_0 是码元周期) 或者小于 0 时就产生滑码, 因此滑码速率也就是读写时差超过门限值的速率。设 f 表示基准时钟频率, Δf 表示时钟频率与基准频率之间的偏差, 则 $\Delta f/f$ 是节点时钟频率的相对误差, $2\Delta f/f$ 是两个节点之间的最大频率相对误差, 读写时差等于频率相对误差与时间的乘积。因此, 两次滑码之间的时间间隔 T_s 可以表示为

$$T_s = \frac{NT_0}{2|\Delta f/f|} = \frac{N}{2|\Delta f/f|f}$$

因此滑码速率 R_s 可以表示为

$$R_s = \frac{2|\Delta f / f|f}{N} = 2|\Delta f / f|F_s$$

式中 F_s 为帧频。

假设两个时钟的相对频差为 1×10^{-11} ，滑码一次增加或丢失的码元数为 256 b，对 2048kb/s 的基群码流，最大可能的滑码速率为

$$R_s = 2|\Delta f / f| \cdot F_s = \frac{1}{6250000}(\text{s}) = \frac{1}{72.34}(\text{d})$$

④ 滑码率的分配

ITU-T 对于 64kb/s 的国际数字连接的滑码率的指标如表 3-8-1 所示。

表 3-8-1 64kb/s 链路的滑码率指标

性能级别	平均滑码率	时间百分比（1 年）
a 级	≤5 次/24h	>98.9%
b 级	>5 次/24h ≤30 次/h	<1.0%
c 级	>30 次/h	<0.1%

表 3-8-1 所列的滑码率性能考虑了满足 ISDN 中一个 64kb/s 数字连接上的电话及非话业务的要求，而且参照 27500km 长的标准数字假象参考连接的规定，该连接包括 5 个国际局，6 个国内长途局和 2 个市话局。表 3-8-1 中的滑动性能指标分为 a、b、c 三个级别。要求一年内绝大多数时间（98.9%）都工作在 a 级范围内，此时各种业务的质量可以得到保证。工作在 b 级范围时，某些业务质量将变劣，但可勉强工作。在 c 级范围内，虽然业务仍可保持，但质量严重下降，就认为这是不允许的。

以上给出的是滑码率的全程性能指标，必须把指标分配到每一个部分。在分配时，考虑到在一个 64kb/s 的数字连接中，不同部分的链路出现滑码时造成的影响是不同的，因此，分配给国际中继链路的滑码指标要少，而分配给本地链路的最多，因为在本地链路上的滑码只带有局部性的影响。ITU-T 建议的分配比例如表 3-8-2 所示。

表 3-8-2 滑码率的分配

国际数字连接各部分	各部分滑码率分配百分比	不同性能级别 1 年允许的时间百分比	
		b 级	c 级
国际部分	8.0%	0.08%	0.008%
国内长途部分	6.0%	0.06%	0.006%
本地部分	40.0%	0.4%	0.04%

（2）抖动和漂移

抖动和漂移是反映网络同步性能的两个主要指标。抖动是指数字信号的各个有效瞬间相对其理想位置的短期变化，其变化频率大于或等于 10Hz。漂移是指数字信号的有效瞬间

相对其理想位置的长期变化，长期意味着相位变化的频率很慢，其变化频率小于 10Hz。抖动和漂移都是指信号相位变化，只是变化的频率不同，因此二者具有同样的性质。

产生抖动的主要原因是设备的内部噪声引起的过零点随机变化，例如振荡器输出信号的相位噪声，数字逻辑电路开关时刻的不确定性等。产生漂移的主要原因是网络中的时延变化，例如温差引起的日漂移，时钟产生的相位噪声等。一般在节点设备中对抖动具有良好的过滤功能，但是漂移是非常难以滤除的。

（3）时钟的准确度和稳定度

时钟的准确度是以时钟信号相对于理想值的长期偏离衡量的一个技术指标，可以表示为

$$\text{时钟的准确度} = \frac{f - f_d}{f_d}$$

式中， f 是时钟的实际数值， f_d 是时钟的理想值。

时钟的稳定度是衡量时钟随时间变化的另一技术指标，仍可用上述公式来估算，但公式中的 f_d 表示时钟的期望值而不是理想值。

一般来说，准确度用来衡量时钟在自由运行模式下的性能指标，而稳定度则用来衡量时钟在保持模式下的性能指标。

（4）时间间隔误差

时钟准确度是一个长期平均值，不足以反映时钟随时间变化的规律，因此引入了时间间隔误差（Time Interval Error, TIE）这一指标。

时间间隔误差定义为在一个特定的时间间隔内，给定的时钟信号相对于理想时钟信号的延迟时间，通常用 ns、 μ s 或单位时间间隔（UI）来表示。

考虑到在较长的测量周期内时间间隔误差主要是由定时信号的频率误差引起的，而在较短的测量周期内时间间隔误差主要是由定时信号的抖动和漂移等因素引起的。因此，时间间隔误差用频率误差和抖动（或漂移）成分两项内容之和来描述：

$$\text{TIE}(s) = (\Delta f / f) \times s + \tau$$

其中， $\Delta f / f$ 为相对频偏， τ 为时间抖动和漂移， s 为观察时间。

3.8.2 考试要点

- （1）了解数字通信网中的同步技术。
- （2）掌握数字同步网的同步方式。
- （3）掌握数字同步网的结构。
- （4）熟悉我国同步网的组成结构。
- （5）了解数字同步网中节点时钟的主要类型。

(6) 掌握同步网的主要技术指标。

3.8.3 习题集精粹及答案

一、判断题

1. 同步是指信号之间频率和相位均保持完全一致。

【参考答案】×

【分析】同步是指信号之间在频率和相位上保持某种严格的特定关系，而不需要完全一致。

2. 我国的数字同步网是一个“多基准钟，主从同步”的网络。

【参考答案】×

【分析】该说法不准确。我国的数字同步网应当是一个“多基准钟，分区等级主从同步”的网络。

二、单项选择题

1. 基准时钟由（ ）组成。

- A. GPS B. 铷原子钟 C. 铯原子钟 D. 晶体钟

【参考答案】C。

【分析】基准时钟是同步网内的主时钟源，对其性能要求较高。铯原子钟的长期稳定性非常好，因而可以作为自主运行的基准参考时钟。铷钟的长期稳定性差，GPS 的短期稳定性差，将 GPS 与铷钟配合，也可作为基准源使用。晶体钟的长期稳定性和短期稳定性都不及原子钟，一般作为从钟使用。

2. 数字同步网结构主要包括全同步网、全准同步网和（ ）。

- A. 半同步网 B. 半准同步网 C. 伪同步网 D. 混合同步网

【参考答案】D。

【分析】参见本节 3。

三、简答题

1. 同步网的主要技术指标有哪些？

【参考答案】同步网的主要技术指标包括抖动、漂移、滑动和延时。

2. 简述我国同步网的等级和结构。

【参考答案】我国数字同步网采用多基准的全同步网方案。第一级是基准时钟，由铯原子钟组成。第二级为有保持功能的高稳时钟（受控铷钟和高稳定度晶体钟），分为 A 类和 B 类。各省内设置在汇接局和端局的时钟是第三级时钟，采用具有保持功能的高稳晶体时钟。第四级时钟是一般晶体时钟，设置在远端模块、数字终端设备和数字用户交换设备。

3.9 管理网

3.9.1 基础知识

1. 网络管理的基本概念

随着科学技术的进步，网络技术正处在快速发展之中。通信网络的规模越来越大，结构越来越复杂，多种通信业务网之间的互联越来越紧密，社会各方面对通信网络的依赖越来越大，要求也越来越高。保障通信网络的畅通与安全是对通信的基本要求。通信网络对公众提供的服务的优劣，一方面与网络的基础设施有关，另一方面与网络的管理密不可分。因此必须建设一个完整、先进和统一的网络管理系统进行有效地网络管理，保证网络可靠、高效地运行。

（1）网络管理的定义

网络管理就是对网络的运行状态进行实时或近实时的监视与测量，及时发现异常情况，并在必要时采取调控措施和维护手段，以保证在任何情况下最大限度地保持网络的正常运行和有效利用。其包含两层含义：

- ① 实现对网络运行状态的监测，来了解网络运行状态是否正常，是否存在潜在危险。
- ② 在监测的基础上，实现对网络运行状态的控制，提高网络运行性能，保证网络服务质量。

（2）网络管理的目标

网络管理的目标是最大限度地利用网络资源，提高网络运行质量与效率，向用户提供高质量的通信服务。即满足运营者及用户对网络的有效性、可靠性、开放性、综合性、安全性和经济性的要求。

① 有效性：网络要能准确及时的传送信息，提供有质量保证的服务。例如，人们打电话要求相互能够听清对方在正常语速下的谈话内容，能够辨认对方的声音。通过网络观看活动图像，图像不能有过的时延和抖动等。

② 可靠性：网络能够稳定的运转，对各种障碍及自然灾害有较强的抵御能力和一定的自愈能力；网络运营者应该在可靠性和成本之间权衡，以获得较好的经济效益。

③ 开放性：网络要能够接受多厂商生产的异种设备，这是现代网络发展速度快、生产厂商多、设备更新换代周期短的特点所要求的。因此国际标准化组织（ISO）早在 20 世纪 70 年代就提出了开放系统互联（OSI）参考模型，并在此基础上提出了基于远程监控的系统管理模型。

④ 综合性：网络业务不能单一化，要综合多种不同的业务，使人们的通信方式更加多样、灵活、便捷，也同样会给网络运营者带来更大的经济效益。

⑤ 安全性：用户要求有高的安全性，包括通话保密性、企业客户连接到网络上的计

算机系统的安全保障、数据库不被非法访问和破坏、计算机系统不被病毒侵蚀、专网用户不侵入等。

⑥ 经济性：同时保证网络经营者和用户的经济性。

(3) 网络管理的范围

对“网络”的理解有狭义和广义两种。狭义的理解是网络本身，广义的理解是不仅包括网络本身，还包括基于网络提供的业务、保证和支撑网络运行的各种基础设施，运行网络的电信企业的各种事务或商务的活动等。

狭义的网络管理范围仅包括一般意义下的网络管理和安全管理，一般意义下的网络管理通常指的是网络本身的配置管理、故障管理和性能管理。

广义的网络管理范围除了包括网络本身的管理外，还包括与之相关的计费管理、安全管理、业务管理、基础设施管理、运行网络的电信企业的各种事务和商务的活动的管理。总之，和电信运营有关的一切事务都属于网络管理的范围。

2. 网络管理的基本功能

(1) 基本概念

网络管理的两大主要内容包括体系结构和管理功能。对于网管系统来讲，实现管理功能的标准化比较困难，主要原因有两个：一是网络和设备的多样性；二是管理功能需求的不确定性。网管系统在实现管理功能时的基本流程是：首先获取网络的运行状态，然后在获取的基础上实现对网络状态的分析，最后根据分析结果实施对网络的控制。

为了获取网络运行状态，必须确定反映网络运行状态的相关参数，并能够对这些参数进行管理。因此，网管系统的管理功能基本上分为 5 个部分：

① 确定“管理参数”：管理参数是网络管理的基础，是衡量一个网络运行状况和运行质量的指标。经过分析和抽象，管理参数应做到与具体的业务网无关。

② “管理参数”的管理：通过对管理参数的修改、分析等管理手段，达到不断调整和提高网络运行质量的目的。

③ 获取网络运行状态：即从各种设备上采集网络管理参数。作为采集数据，可以做到与具体的业务网无关。

④ 分析网络运行状态：就是处理采集到网络管理参数，也可以做到与具体的业务网无关。

⑤ 实施对网络的控制：根据网络运行状态的分析结果，通过对管理参数相应的设备状态进行设置完成对网络的控制。

基于以上讨论，国际标准化组织 ITU-T 和 ISO 为了对网络管理的功能进行标准化，提出了一组各种网管系统共同的管理功能：配置管理、性能管理、故障管理、安全管理和财务管理。它们具有两个基本的特性：完整性和无关性。完整性是指该组管理功能覆盖各种业务网网管系统所需的各种管理功能，即一个具体的网管系统的网络管理功能只能是这一组管理功能的一个子集。无关性是指该组管理功能与具体的网络管理系统和具体的被管网

络无关。

（2）配置管理

配置管理是网络管理的一项基本功能，它对网络中的通信设备和设施进行控制时，需要利用配置管理功能来实现。配置管理负责建立配置管理信息库（**Management Information Base, MIB**），达到管理网络的建立、扩充、改造和提供的目的。通过配置管理，主要提供以下管理功能：

① 资源清单管理功能：用来提供网络中所含资源（包括设备、器材、电路、网络、提供的服务、客户、厂商、地点、软件和联系人）的网络管理所需要的数据，即对这些被管对象进行提取、增加、删除、修改、检索、查询和汇总等操作，并通过文字、图形、图像等形式显示或打印，以便网络管理者随时、方便地掌握和了解网络配置及资源利用状况。

② 资源提供功能：在保证客户的业务需求的前提下，经济合理地供应、开发和配置所需的资源，这里的资源主要是指提供接入、交换、传输、**MIB** 等功能的网络元素（**NE**）。

③ 业务提供功能：业务的提供从客户要求业务时开始，到网络实际提供业务时结束，包括网络装载和管理业务所需的过程；业务的提供也具有向各个客户或客户组分配物理或逻辑资源的能力。

④ 网络拓扑服务功能：提供网络及其构成的各个层次布局的显示功能，显示的网络布局有物理布局、逻辑布局和电气布局。

（3）性能管理

网络管理是对网络的运行状态进行管理，当网络没有发生故障，但由于各种原因导致网络质量或服务质量的下降时，就要使用性能管理。性能管理在保证各种业务的服务质量（**QoS**）的同时，可尽量提高网络资源的利用率。

性能管理包括以下功能：

① 性能监测功能：是对网络的性能数据进行连续的采集，是对单位时间内性能低于设定阈值的异常事件的数量进行检测。通过对网络中的设备进行测试，来获取关于网络运行状态的各种性能参数。对于不同类型的网络，可以监测各种不同的性能参数，例如对交换网可监测接通率、吞吐量、时间延迟等，对传输网可监测误码率、误码秒百分数、滑码率等。

② 性能分析功能：在对通信设备采集有关性能参数的基础上，创建性能统计日志，对网络或某一具体设备的性能进行分析，若存在性能异常，则产生性能告警并分析原因，同时对当前和以前的性能进行比较以预测未来的趋势。

③ 性能管理控制功能：在性能分析的基础上，根据性能分析的结果进行的改善网络性能的操作。例如，设置性能参数门限值，当实际的性能参数超出门限，则进入异常情况，从而采取措施来加以控制。

性能管理指标可分为：

- 面向服务质量的指标：有效性、响应时间和差错率。

- 面向网络效率的指标：吞吐量、利用率。

(4) 故障管理

对网络发生异常情况（故障）时所采取的一系列管理活动，包括：

① 故障管理有关的管理参数：主要包括故障类型、故障原因、故障级别和故障时间等参数。常见的故障类型有通信告警、设备告警、业务质量告警、处理机告警和环境告警。故障原因是指产生故障的可能原因。故障级别定义为6级：严重告警、重大告警、次要告警、警告告警、不确定和已消除。故障时间需要给出故障发生的时间。

② 故障指标管理：包括与故障管理有关的管理参数的管理和网络可用性指标的管理。前者是对与故障管理有关的管理参数中的故障级别、故障恢复参数等进行动态管理，后者是对网络各个层次上的可用性指标进行管理。在实际使用中，常用网络的不可用指标，比如设备终端指标、网络中断指标、业务中断指标等。

③ 告警监测：主要完成网络状态监督和故障检测两个功能，故障监测指在对网络运行状态进行监视的过程中或者接收从其他管理功能域发来的故障通报中检测出故障信息。其关键是确定有效的故障检测手段，以产生正确、及时、清楚的告警信息。

④ 故障定位：主要通过诊断、试运行和软件检查等手段，来确定设备中故障的位置。故障诊断和定位的功能是首先启用一备份的设备来代替出故障的设备，然后再启动故障诊断系统对发生故障的部分进行测试和分析，以便能够确定故障的位置和故障的程度。

⑤ 电路测试：测试一般在业务开通和维护时进行，常常涉及位于不同物理位置的多个系统。开通测试是检验功能和设备是否正常，最有效的方式是端到端测试；维护测试是检验故障和检验修复，测试可在电路、通道、传输线等各种层次上进行，可以是打扰性的，也可以是非打扰性的。

⑥ 业务恢复：是指在网络发生故障后，利用迂回路由或备用资源等手段继续提供业务的功能。恢复策略主要有：隔离包含故障的设备，利用其余资源继续维持业务；将业务从故障设备切换到预备设备；使用环或网状网本身的异径功能。

(5) 安全管理

安全管理的功能是保护网络资源，提供信息的保密、认证和完整性保护机制，使网络中的服务、数据以及系统免受侵扰和破坏，使之处于安全运行状态。一般的安全管理系统包含以下功能：

① 风险分析功能：它要连续不断的对网络中的消息和事件进行检测，对系统受到侵扰和破坏的风险进行分析。进行风险分析的方法是构造威胁矩阵，显示各个部分潜在的非攻击性或攻击性威胁。

② 安全服务功能：网络安全服务通过网络安全机制实现，OSI 系统管理标准中定义了8种网络安全机制：加密、数字签名、访问控制、数据完整性、认证、伪装业务流、路由控制、公证。

③ 告警、日志和报告功能：该功能以大量的侵扰检测器为基础，在发现侵入者进入

网络时触发告警过程，登录安全日志并向安全中心报告发生的事件。

④ 网络管理系统的保护功能：网络管理系统是网络的中枢，大量的关键数据，例如用户口令、计费数据、路由数据、系统恢复和重启规程都存放在这里，因此网络管理系统是安全管理的重点。

（6）财务管理

财务管理的主要目的是正确地计算和收取用户使用网络服务的费用，同时还要进行网络资源利用率的统计和网络的成本效益核算。其功能主要包括：

① 费率管理功能：应根据资费政策进行，服务计费的主要方式有按流量计费、按时间计费、按次计费和包租计费。

② 账单管理功能：主要作用是收集计费数据、计算客户应付的网络服务费用、保存和维护账单。

3. 电信管理网

（1）电信管理网概要

传统网络管理系统将整个电信网络分成了不同的“专业业务网”，在此基础上，分别建立诸如接入网、信令网、交换网、传输网等不同网络的专业网管系统，分别对各个专业网进行管理。这些不同的网管系统往往属于不同的管理部门，缺乏统一的目标，使得网管系统之间很难完全兼容与互通，造成各网的运行状态数据和管理信息不能共享，导致故障的排除速度缓慢、效率低下，影响全网的协调运行。

为解决传统网络管理方法的缺陷，现代网络管理思想采用了系统控制的观点，将整个电信网络看作是一个由一系列传送业务相互连接的动态子系统构成的模型。网络管理的目标就是通过实时监测和控制各子系统资源，以确保端到端用户业务的质量。

为了有效、可靠、安全、经济的进行现代电信网络的管理，ITU-T 根据 OSI 系统管理框架提出了具有标准协议、接口和体系结构的管理网络——电信管理网（TMN）。TMN 的基本思想是提供一个有组织的体系结构，实现各种运营系统（Operating System, OS）以及电信设备之间的互联，利用标准接口所支持的体系结构交换管理信息，从而为管理部门和厂商在开发设备以及设计、管理电信网络和业务的基础结构时提供参考。

TMN 标准的目标是提供一个电信管理框架，在通用网络管理模型的概念下，采用标准信息模型的标准接口完成不同设备的一般管理。

TMN 的应用可以涉及电信网及电信业务管理的许多方面，从业务预测到网络规划，从电信工程、系统安装到维护、网络组织，从业务控制和质量保证到电信企业的事物管理等，都是它的应用范围。TMN 的主要应用范围包括以下 10 方面的内容：

- 公用网和专用网（包括 ISDN）。
- 传输终端（复用设备、交叉连接设备、通路变频设备等）。
- 数字和模拟传输系统（电缆、光缆、微波卫星系统等）。
- 备用系统。

- 数字和模拟交换设备。
- 电路交换和分组交换网。
- 信令终端和包括信令转接点（STP）的信令系统及实时数据库。
- 用户交换机（PBX）和用户终端。
- ISDN 用户终端。
- 相关的支持系统（测试组件、供电系统、空调单元、建筑物告警系统等）。

（2）TMN 功能体系结构

TMN 功能体系结构包括运营系统功能（OSF）、网元功能（NEF）、中介功能（MF）、工作站功能（WSF）、适配器功能（QAF）和数据通信功能（DCF），功能块之间通过数据通信功能（DCF）进行信息的传递。

① 运营系统功能（OSF）块：完成 TMN 的管理功能，包括网络资源管理和通信业务管理。按照功能的抽象程度，OSF 分为商务 OSF、业务（客户）OSF、网络 OSF、基层 OSF 四类。

② 网元功能（NEF）块：提供电信功能和管理电信网所需要的支持功能，是为了使 NE 得到检测和控制与 TMN 进行通信的功能块。

③ 工作站功能（WSF）块：为管理信息的用户提供解释 TMN 信息的手段，将管理信息由 F 接口形式转换为管理信息用户可理解的 G 接口形式。

④ 中介功能（MF）块：当两个功能块所支持的信息模型不同时，需要用中介模块进行中介。

⑤ Q 适配器功能（QAF）块：其作用是连接那些类 NEF 和类 OSF 的非 TMN 实体，完成 TMN 参考点和非 TMN 参考点之间的转换。

（3）TMN 信息体系结构

① 面向对象的方法

为了有效地定义被管资源，TMN 运用了 OSI 系统管理中被管对象的概念。由被管对象表示资源在管理方面特性的抽象视图。被管对象也可以表示资源或资源组合（如网络）之间的关系。

② 管理者和代理者

因为电信网络环境是分散的，所以电信网络管理是一个分散的信息处理过程，监视和控制各种物理逻辑网络资源的管理进程之间需要交换的管理信息。对于一个特定的管理联系，管理进程将担当管理者角色或代理者角色。管理者和代理者之间的管理信息交换都要利用公共管理信息协议 CMIP（Common Management Information Protocol）来实现。

③ 共享的管理知识

为了互通，通信系统之间一般要有一个公共的视图，包含以下信息：支持的协议、支持的管理对象、支持的被管对象类、可用的被管对象实例、授权的能力以及对象之间的包含关系。这些信息称为共享的管理知识（SMK）。

（4）TMN 物理体系结构

TMN 物理体系结构定义了网络管理所需要的信息传递与处理手段,物理体系结构包含的元素有:运营系统(OS)、数据通信网(DCN)、中介设备(MD)、工作站(WS)、网元(NE)和Q适配器(QA),参考点表现在Q、F、G、X接口。

① 运营系统(OS):物理上包括应用层支持程序、数据库管理系统、用户终端支持程序、分析程序、数据格式化和报表程序,其功能是完成OSF的系统。

② 中介设备(MD):是完成中介功能(MF)的设备,可对NEF或QAF与OSF之间传送的信息进行中介,对NE提供本地管理功能。

③ Q适配器(QA):是将具有非TMN兼容接口的NE或OS连接到Qx或Q3接口上的设备,QAF提供非标准和标准接口之间的转换功能。

④ 数据通信网(DCN):实现OSI的1~3层的功能,是TMN中支持DCF的通信网。

⑤ 网元(NE):由电信设备构成,支持设备完成NEF。NE中主要的网络管理功能有协议转换、地址映射、消息变换、数据收集与存储、数据备份、自愈、自动测试、自动故障隔离、故障分析与操作数据传送等。

⑥ 工作站(WS):完成WSF的系统,WSF将f参考点的信息转变为在g参考点可显示的格式。

3.9.2 考试要点

- (1) 掌握网络管理的定义、目标;了解网络管理的范围。
- (2) 掌握网络管理的基本流程。
- (3) 理解网管系统的配置、性能、故障、安全和财务管理功能。
- (4) 掌握电信管理网(TMN)的基本思想和目标。
- (5) 了解电信管理网的功能体系结构、信息体系结构和物理体系结构。

3.9.3 习题集精粹及答案

一、判断题

1. 和电信运营有关的大部分事务都属于网络管理的范围。

【参考答案】×

【分析】和电信运营有关的一切事务都属于网络管理的范围。

2. 从各种设备上采集网络管理参数以获取网络运行状态,这些采集数据与具体的业务网相关。

【参考答案】×

【分析】从各种设备上采集网络管理参数以获取网络运行状态。作为采集数据,可以做到与具体的业务网无关。

3. 财务管理的功能主要包括费率管理功能和账单管理功能。

【参考答案】√

【分析】参见本节2。

4. 电信管理论坛是一个官方组织，由一系列的运营商和系统集成商组成，主要致力于按 TMN 的框架规划和指导电信运营支撑系统的开发。

【参考答案】×

【分析】官方组织改为民间组织。

5. 定义一套与各业务网和各种设备无关的管理功能是比较困难的。

【参考答案】√

【分析】参见本节1。

6. TMN 为电信网和业务提供管理功能并能提供与电信网和业务进行通信的能力。

【参考答案】√

【分析】参见本节3。

7. 网络管理的目标是最大限度地利用电信网络资源，提高网络运行质量与效率，向用户提供高质量的通信服务。

【参考答案】√

【分析】参见“网络管理目标”。

二、单项选择题

1. 网络管理的两大主要内容包括（ ）和管理功能。

- A. 故障管理 B. 性能管理 C. 体系结构 D. 配置管理

【参考答案】C。

【分析】网络管理的两大主要内容包括体系结构和管理功能。

2. 网络管理的两大主要内容包括（ ）和体系结构。

- A. 故障管理 B. 性能管理 C. 管理功能 D. 配置管理

【参考答案】C。

【分析】网络管理的两大主要内容包括体系结构和管理功能。

3. （ ）功能是配置管理的基本功能，用来提供网络中所含资源的网络管理所需要的数据。

- A. 资源清单管理 B. 资源提供 C. 业务提供 D. 网络拓扑服务

【参考答案】A。

【分析】参见本节2。

4. （ ）的功能是为提高全网质量和充分利用网络设备而设置的。它可以实时或近实时地监控网络的运行，必要时采取控制措施，以达到在任何情况下，最大限度地保持网络的正常运行和有效利用。

- A. 信令网 B. 同步网 C. 管理网 D. 智能网

【参考答案】C。

【分析】参见本节 1。

5. 性能管理在保证各种业务的（ ）的同时，尽量提高网络资源的利用率。

- A. 差错率 B. 服务质量 (QoS) C. 有效性 D. 可靠性

【参考答案】B。

【分析】性能管理在保证各种业务的服务质量 (QoS) 的同时，尽量提高网络资源的利用率。

6. 性能管理指标中的面向网络效率的指标有（ ）和利用率。

- A. 有效性 B. 吞吐量 C. 响应时间 D. 差错率

【参考答案】B。

【分析】性能管理指标中的面向网络效率的指标有吞吐量和利用率。

7. 性能管理指标中的面向网络效率的指标有（ ）和吞吐量。

- A. 有效性 B. 利用率 C. 响应时间 D. 差错率

【参考答案】B。

【分析】性能管理指标中的面向网络效率的指标有吞吐量和利用率。

8. 故障管理所完成的主要功能是在电信网中检测（ ），确定其性质和位置，将故障隔离并设法校正等。

- A. 故障 B. 统计数据 C. 告警信息 D. 异常现象

【参考答案】D。

【分析】故障管理是对网络发生异常情况时所采取的一系列管理活动。

9. 故障管理中定义的故障级别有（ ）级。

- A. 4 B. 5 C. 6 D. 7

【参考答案】C。

【分析】参见本节 2。

10. 安全管理的功能是保护（ ），使其处于安全运行状态。

- A. 传输线路 B. 交换设备 C. 监控系统 D. 网络资源

【参考答案】D。

【分析】安全管理的功能是保护网络资源，使之处于安全运行状态。

11. 电信管理网的基本概念是提供一个有组织的（ ），以取得各种类型的运营系统 (OS) 之间、运营系统和电信设备之间的互联。

- A. 网元结构 B. 网络 C. 体系结构 D. 告警系统

【参考答案】C。

【分析】参见本节 3。

12. 电信管理论坛是（ ），由一系列的运营商和系统集成商组成，主要致力于按 TMN 的框架规划和指导电信运营支撑系统的开发。

- A. 一个国际刊物 B. 国际电信联盟

C. 民间组织

D. 官方组织

【参考答案】C。

【分析】这是常识。

三、多项选择题

1. 网络管理的目标是满足运营者及用户对网络的（ ）、开放性和综合性的要求。

A. 有效性

B. 可靠性

C. 安全性

D. 经济性

【参考答案】ABCD。

【分析】参见本节1。

2. 国际标准化组织 ITU-T 和 ISO 为了对网络管理的功能进行标准化，提出了一组各种网管系统共同的管理功能，它们具有（ ）特性。

A. 完整性

B. 不完整性

C. 无关性

D. 相关性

【参考答案】AC。

【分析】参见本节2。

3. 国际标准化组织 ITU-T 和 ISO 为了对网络管理的功能进行标准化，提出了一组各种网管系统共同的管理功能，包含（ ）、故障管理和安全管理。

A. 配置管理

B. 性能管理

C. 财务管理

D. 网络管理

【参考答案】ABC。

4. 性能管理包括（ ）功能。

A. 性能监测

B. 性能采集

C. 性能分析

D. 性能管理控制

【参考答案】ACD。

5. 性能管理指标中的面向服务质量的指标有（ ）和差错率。

A. 有效性

B. 吞吐量

C. 响应时间

D. 利用率

【参考答案】AC。

【分析】性能管理中面向服务质量的指标：有效性、响应时间和差错率。

6. 故障管理中的告警监测主要完成（ ）两个功能。

A. 网络状态监督

B. 网络状态采集

C. 故障定位

D. 故障检测

【参考答案】AD。

【分析】故障管理中的告警监测主要完成网络状态监督和故障检测两个功能。

7. 故障管理有关的管理参数主要包括（ ）内容。

A. 故障类型

B. 故障原因

C. 故障级别

D. 故障时间

【参考答案】ABCD。

【分析】参见本节2。

8. 电信管理网（TMN）的基本概念是提供一个有组织的网路结构，以取得各种类型的（ ）的互联。

- A. 用户接入网之间
- B. 运营系统（OS）之间
- C. 电信设备之间
- D. 传输网之间

【参考答案】BC。

【分析】参见本节 3。

9. TMN 的管理功能主要有（ ）和安全管理。

- A. 性能管理
- B. 故障管理
- C. 配置管理
- D. 账务管理

【参考答案】ABCD。

【分析】参见本节 3。

四、简答题

1. 网络管理的定义及包含的含义是什么？

【参考答案】网络管理就是对网络的运行状态进行实时或近实时的监视与测量，及时发现异常情况，并在必要时采取调控措施和维护手段，以保证在任何情况下最大限度地保持网络的正常运行和有效利用。

其包含两层含义：

- ① 实现对网络运行状态的监测，了解网络运行状态。
- ② 对网络运行状态的控制，提高网络运行性能，保证网络服务质量。

2. 网络管理的目标是什么？

【参考答案】网络管理的目标是最大限度地利用网络资源，提高网络运行质量与效率，向用户提供高质量的通信服务。即满足运营者及用户对网络的有效性、可靠性、开放性、综合性、安全性和经济性的要求。

3. 网管系统在实现管理功能时的基本流程是什么？

【参考答案】① 首先获取网络的运行状态。

② 实现对网络状态的分析。

③ 实施对网络的控制。

4. 网管系统共同的基本管理功能是什么？

【参考答案】网管系统共同的基本管理功能是：确定管理参数、管理参数的管理、获取网络运行状态、分析网络运行状态和实施对网络的控制。

5. 故障管理中常见的故障类型有哪些？故障级别有几级，分别是什么？

【参考答案】常见的故障类型有通信告警、设备告警、业务质量告警、处理机告警和环境告警。

故障级别定义为 6 级：严重告警、重大告警、次要告警、警告告警、不确定和已消除。

6. 一般的安全管理系统包含什么功能？

【参考答案】安全管理的功能是保护网络资源，提供信息的保密、认证和完整性保护机制，使网络中的服务、数据以及系统免受侵扰和破坏，使之处于安全运行状态。一般的安全管理系统包含以下功能：①风险分析功能。②安全服务功能。③告警、日志和报告功

能。④网络管理系统的保护功能。

7. 电信管理网（TMN）的基本思想和目标是什么？

【参考答案】电信管理网（TMN）的基本思想是提供一个有组织的体系结构，实现各种运营系统（Operating System, OS）以及电信设备之间的互联，利用标准接口所支持的体系结构交换管理信息，从而为管理部门和厂商在开发设备以及设计、管理电信网络和业务的基础结构时提供参考。

TMN 标准的目标是提供一个电信管理框架，在通用网络管理模型的概念下，采用标准信息模型的标准接口完成不同设备的一般管理。