

第5章

物联网通信技术

可靠传递是物联网的主要特征,其核心技术就是通信。因物联网感知节点的多样性,导致了物联网通信方式的多样性。本章讲述物联网的主要通信技术,包括近距离无线通信技术、移动通信技术、卫星通信技术和以太网技术等。

5.1 近距离无线通信技术

近距离无线通信技术是实现无线局域网和无线个人局域网中节点、设备组网的常用通信技术,用于将传感器、RFID及手机等移动感知设备的感知数据进行数据汇聚,并通过网关传输到上层网络中。近距离无线通信技术通常有 WiFi、蓝牙和 ZigBee 技术。

5.1.1 WiFi 技术

WiFi(Wireless Fidelity,无线保真)技术是一种将 PC、笔记本电脑、移动手持设备(如 PDA、手机)等终端以无线方式互相连接的短距离无线电通信技术,由 WiFi 联盟于 1999 年发布。WiFi 联盟最初为无线以太网相容联盟(Wireless Ethernet Compatibility Alliance, WECA),因此,WiFi 技术又称无线相容性认证技术。

1. WiFi 采用的协议标准

WiFi 联盟主要针对移动设备,规范了基于 IEEE 802.11 协议的数据连接技术,用以支持包括本地无线局域网(Wireless Local Area Network,WLAN)、个人局域网(Personal Area Network,PAN)在内的网络。因此,WiFi 常用的协议标准如下。

- (1) 工作于 2.4GHz 频段,数据传输速率最高可达 11Mb/s 的 IEEE 802.11b 标准。
- (2) 工作于 5GHz 频段,数据传输速率最高可达 54Mb/s 的 IEEE 802.11a 标准。
- (3) 工作于 2.4GHz 频段,数据传输速率最高可达 54Mb/s 的 IEEE 802.11g 标准。
- (4) 工作于 2.4GHz/5GHz 频段,数据传输速率最高可达 450Mb/s 的 IEEE 802.11n 标准。

2. WiFi 的特点

与其他短距离通信技术相比,WiFi 技术具有以下特点。

- (1) 覆盖范围广。开放性区域的通信距离通常可达 305m,封闭性区域的通信距离通常在

76~122m。特别是基于智能天线技术的 IEEE 802.11n 标准,可将覆盖范围扩大到 10km^2 。

(2) 传输速率快。基于不同的 IEEE 802.11 标准,传输速率可从 11Mb/s 到 450Mb/s 。

(3) 建网成本低,使用便捷。通过在机场、车站、咖啡店、图书馆等人员较密集的地方设置“热点”(HotSpot),即无线接入点(Access Point, AP),任意具备无线接入网卡的设备均可利用 WiFi 技术实现网络访问。

(4) 更健康、更安全。WiFi 技术采用 IEEE 802.11 标准,实际发射功率为 $60\sim 70\text{mW}$,与 $200\text{mW}\sim 1\text{W}$ 的手机发射功率相比,辐射更小,更加安全。

3. WiFi 组网技术

利用 WiFi 技术组建的网络称为无线 LAN。无线 LAN 有两种模式。一种是没有接入点的 Ad Hoc 模式:它利用 WiFi 技术实现设备间的连接,通常用在掌上游戏机、数码相机和其他电子设备上以实现数据的相互传输;另一种是接入点模式:它利用无线路由器作为访问接入点,具有无线网卡的台式机、笔记本电脑以及具有 WiFi 接口的手机均可作为无线终端接入,形成一个由无线终端与接入点组成的无线局域网,如图 5-1 所示。后一种模式较常用,通常和 ADSL、小区宽带等技术相结合,实现无线终端的互联网访问。



图 5-1 基于接入点模式的 WiFi 组网示意图

在接入点模式中,WiFi 的设置至少需要一个接入点和一个或一个以上的终端。接入点每 100ms 将服务集标识(Service Set Identifier, SSID)经由信号台(beacons)分组广播一次,beacons 分组的传输速率是 1Mb/s ,并且长度很短,所以这个广播动作对网络性能的影响不大。因为 WiFi 规定的最低传输速率是 1Mb/s ,所以可确保所有的 WiFi 终端都能收到这个 SSID 广播分组。基于收到的 SSID 分组,终端可以自主决定连接对应的访问点。同样,用户也可以预先设置要连接访问点的 SSID。

4. WiFi 的安全技术

任何终端在接入到 WiFi 所组成的无线局域网之前需要进行身份认证。IEEE 802.11b 标准定义了开放式和共享密钥式两种身份认证方法。身份认证必须在每个终端上进行设

置,并且这些设置应该与通信的所有访问点相匹配。认证过程包括两个通信步骤。

(1) 请求认证的站点 STA 向 AP 发送一个含有本站身份的认证请求帧。

(2) AP 接收到请求后,向 STA 返回一个认证结果,如果认证成功,则返回该 AP 的 SSID。

下面介绍 IEEE 802.11 共享密钥认证方式。共享密钥认证方式以有线等价保密(Wired Equivalent Privacy, WEP)为基础,认证过程基于请求-应答模式,具体步骤如下。

(1) 请求认证的站点 STA 向 AP 发送认证请求。

(2) AP 接收到该认证请求后,向 STA 返回 128 字节的认证消息作为请求的验证。此验证消息由 WEP 的伪随机数生成器产生,包括认证算法标识、认证事务序列号、认证状态码和认证算法依赖信息四部分。如果认证不成功,则表明认证失败,整个认证结束。

(3) 请求认证的 STA 收到认证消息后,使用共享密钥 k 对认证消息中的认证算法依赖信息进行加密,并将所得的密文以及认证算法标识、认证事务序列号组成认证消息发送给 AP。

(4) AP 接收到 STA 返回的认证消息后,使用共享密钥 k 解密认证算法依赖信息,并将解密结果与早先发送的验证帧数据比对。如果比对成功,AP 向 STA 发送一个包含“成功”状态码的认证结果,则认证成功;如果比对失败,AP 向 STA 发送一个包含“失败”状态码的认证结果,则认证失败。

在这里,WEP 协议是 IEEE 802.11 协议 1999 年的版本中所规定的,用于在 IEEE 802.11 的认证和加密中保护无线通信信息。在 IEEE 802.11 系列标准中,802.11b 和 802.11g 也采用 WEP 加密协议。WEP 的核心加密算法是 RC4 序列密码算法。WEP 采用对称加密机制,数据的加密和解密使用相同的密钥和算法。WEP 支持 64 位和 128 位加密。对于 64 位加密,加密密钥为 10 个十六进制字符或 5 个 ASCII 字符。对于 128 位加密,加密密钥为 26 个十六进制字符或 13 个 ASCII 字符。WEP 依赖通信双方共享的密钥来保护所传的加密数据帧。

采用 RC4 算法的 WEP 加密过程如下。

(1) 计算明文消息 M 的完整性校验值,由原始明文消息和完整性校验值组成新的明文消息 P 。

(2) 使用私密密钥 k 和随机选择的一个 24 位的初始向量 IV 作为随机密钥生成种子,通过 RC4 随机密钥生成算法,生成一个 64 位密钥,作为通信密钥,将密钥和明文消息 P 进行异或运算生成密文。

(3) 将生成的密文和初始向量 IV 一起发送给接收方。

在实际应用中,RC4 算法目前广泛采用 104 位密钥以代替 40 位密钥,以提高安全性。与加密过程对应,WEP 解密过程如下。

(1) 从接收到的数据包中提取出初始向量 IV 和密文。

(2) 将初始向量 IV 和私密密钥 k 送入采用 RC4 算法的伪随机数发生器得到解密密钥。

(3) 将解密密钥与密文进行异或运算得到明文和它的 CRC 校验和 ICV。

(4) 对得到的明文采用相同的 CRC 表达式计算校验和 ICV,比较两个 CRC 结果,如果相等,说明接收的协议数据正确,否则丢弃数据。

由于 WEP 加密方案存在容易破解的缺点,目前 WiFi 网络中普遍使用无线保护访问(Wireless Protected Access, WPA)协议。WPA 是由 WiFi 联盟提出的一个无线安全访问

保护协议。WPA 使用更强大的加密算法和用户身份验证方法来增强 WiFi 的安全性,提供更高级别的保障,始终严格地保护用户的数据安全,确保只有授权用户才可以访问网络。

5. WiFi 的应用

近年来,随着电子商务和移动办公的进一步普及,WiFi 正成为无线接入的主流标准。基于 WiFi 技术的无线网络使用方便、快捷高效,使得无线接入点数量迅猛增长。其中,家庭和小型办公网络用户对移动连接的需求是无线局域网市场增长的主要动力。许多国家在公共场所集中建立热点的基础上,积极着手建设城域网。目前,WiFi 技术的商用化进程碰到了许多困难。一方面是受制于 WiFi 技术自身的限制,如其漫游性、安全性和如何计费等都还没有得到妥善的解决;另一方面,WiFi 的赢利模式不明确,如果将 WiFi 作为单一网络来经营,商业用户的不足会导致网络建设的投资收益比较低,因此也影响了电信运营商的积极性。但是,作为一种方便、高效的接入手段,WiFi 技术正逐渐和 4G/5G 等其他通信技术相结合,成为现代短距离通信技术的主流。

5.1.2 蓝牙技术

蓝牙(bluetooth)是一种支持设备短距离通信(10cm~10m)的无线电技术,能在包括移动电话、PDA、无线耳机、笔记本电脑、相关外设等众多设备之间进行无线信息交换。利用蓝牙技术能够有效地简化移动通信终端设备之间的通信,也能够简化设备与 Internet 之间的通信,从而使数据传输变得更加迅速、高效。蓝牙技术最初由爱立信公司提出,后与索尼爱立信、IBM、英特尔、诺基亚及东芝等公司联合组成蓝牙技术联盟(Bluetooth Special Interest Group,SIG),并于 1999 年公布 1.0 版本。

蓝牙技术是一种无线数据与语音通信的开放性全球规范,最初以去掉设备之间的线缆为目标,为固定与移动设备通信环境建立一个低成本的近距离无线连接。采用蓝牙技术的适配器和蓝牙耳机如图 5-2 所示。随着应用的扩展,蓝牙技术可为已存在的数字网络和外设提供通用接口,组建一个远离固定网络的个人特别连接设备群,即无线个人局域网(Wireless Personal Area Network,WPAN)。



图 5-2 蓝牙技术的适配器和蓝牙耳机

1. 蓝牙协议栈

蓝牙联盟针对蓝牙技术制定了相应的协议结构,IEEE 802.15 委员会对物理层和数据链路层进行了标准化,于 2002 年批准了第一个 PAN 标准 IEEE 802.15.1。基于 IEEE 802.15 版本的蓝牙协议栈结构如图 5-3 所示,协议栈描述如下。

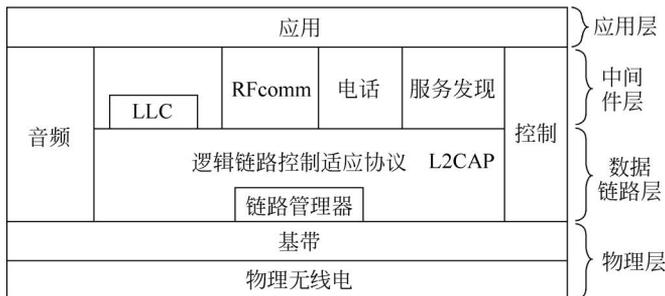


图 5-3 基于 IEEE 802.15 版本的蓝牙协议栈结构示意图

(1) 协议栈最底层是物理无线电层,处理与无线电传送和调制有关的问题。蓝牙是一个低功率系统,通信范围在 10m 以内,运行在 2.4GHz ISM 频段上。该频段分为 79 个信道,每个信道 1MHz,总数据率为 1Mb/s,采用时分双工传输方案实现全双工传输。

(2) 蓝牙基带层将原始位流转变成帧,每一帧都是在一个逻辑信道上进行传输的,该逻辑信道位于主节点与某一个从节点之间,称为链路。蓝牙标准中共有两种链路。一种是 ACL 链路(Asynchronous Connection Less,异步无连接链路),用于无时间规律的分组交换数据。在发送方,这些数据来自数据链路层的逻辑链路控制适应协议(Logical Link Control Adaptation Protocol,L2CAP);在接收方,这些数据被递交给 L2CAP。ACL 链路尽量采用投递机制发送信包,帧存在丢失的可能性。另一种是 SCO 链路(Synchronous Connection Oriented,面向连接的同步链路),用于实时数据传输,如电话。

(3) 链路管理器负责在设备之间建立逻辑信道,包括电源管理、认证和服务质量。逻辑链路控制适应协议为上面各层屏蔽传输细节,主要包含三个功能:第一,在发送方,接收来自上面各层的分组,分组最大为 64KB,将其拆散到帧中;在接收方,重组为对应分组。第二,处理多个分组源的多路复用。当一个分组被重组时,决定由哪一个上层协议来处理它。例如,由 RFcomm 或者电话协议来处理。第三,处理与服务质量有关的需求。此外,音频协议和控制协议分别处理音频和控制相关的事宜,上层应用可略过 L2CAP 直接调用这两个协议。

(4) 中间件层由许多不同的协议混合组成。无线电频率通信/射频通信(Radio Frequency Communication,RFcomm)是指模拟连接键盘、鼠标、MODEM 等设备的串口通信;电话协议是一个用于语音通信的实时协议;服务发现协议用来查找网络内的服务。

(5) 应用层包含特定应用的协议子集。

2. 蓝牙组网技术

蓝牙系统的基本单元是微微网(piconet),包含一个主节点以及 10m 距离内的至多 7 个处于活动状态的从节点。多个微微网可同时存在,并通过桥节点连接,如图 5-4 所示。

在一个微微网中,除了允许最多 7 个活动从节点外,还可有多达 255 个静态节点。静态节点是处于低功耗状态的节点,可节省电源能耗。静态节点除了响应主节点的激活或者指示信号外,不再处理任何其他事情。微微网中主、从节点构成一个中心化的 TDM 系统,由主节点控制时钟,决定每个时槽相应的通信设备(从节点)。通信仅发生在主、从节点间,从节点间无法直接通信。

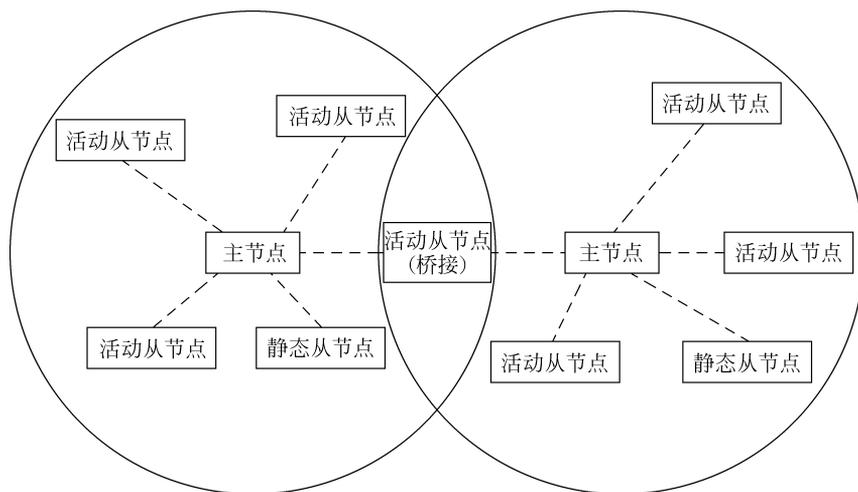


图 5-4 蓝牙组网示意图

3. 蓝牙应用服务

蓝牙在其 1.1 版本中规范了 13 种应用服务,如表 5-1 所示。

表 5-1 蓝牙应用服务

应用名	说明
一般访问(Generic Access)	针对链路管理的应用
服务发现(Service Discovery)	用于发现所提供的服务
串行端口(Serial Port)	用于代替串行端口电缆
一般的对象交换(Generic Object Exchange)	为对象移动过程定义客户-服务器关系
LAN 访问(LAN Access)	移动计算机和固定 LAN 之间的协议
拨号联网(Dial-up Networking)	计算机通过移动电话呼叫
传真(Fax)	传真机与移动电话建立连接
无绳电话(Cordless Telephony)	无绳电话与基站间建立连接
内部通信联络系统(Intercom)	数字步话机
头戴电话(Headset)	允许免提的语音通信
对象推送(Object Push)	提供交换简单对象的方法
文件传输(File Transfer)	提供文件传输
同步(Synchronization)	PDA 与计算机间进行数据同步

其中,一般访问和服务发现是蓝牙设备必须实现的应用,其他应用则为可选。

4. 蓝牙技术的安全措施

蓝牙规范定义了三种不同的安全模式,即非安全模式、业务层安全模式和链路层安全模式。

(1) 非安全模式。此模式不采用信息安全管理也不执行安全保护以及处理,当设备上运行一般应用时使用此种模式。该模式中,设备避开链路层的安全功能,可以访问不敏感信息。

(2) 业务层安全模式。蓝牙设备在逻辑链路层建立信道之后采用信息安全管理机制,

并执行安全保护功能。这种安全机制建立在 L2CAP 和它之上的协议中,该模式可为多种应用提供不同的访问策略,并且可以同时运行安全需求不同的应用。

(3) 链路层安全模式。链路层安全模式是指蓝牙设备在连接管理协议层建立链路的同时,采用信息安全管理模式来执行安全保护的方式,它建立在连接管理协议基础之上。在该模式中,链路管理器在同一层面上对所有的应用强制执行安全措施。

业务层安全模式和链路层安全模式的本质区别在于在业务层安全模式下的蓝牙设备是在信道建立以前启动的安全性过程,也就是说,它的安全性过程在较高层协议中进行,链路层安全模式下的蓝牙设备在信道建立后启动安全性过程,它的安全性过程在较低层协议实施。

链路层安全模式包括验证和加密两个功能。两个不同的蓝牙设备第一次连接时,需要验证两个设备是否具有互相连接的权限,用户必须在两个设备上输入 PIN(Personal Identification Number,个人识别码)作为验证的密码,称为配对(pairing)过程。配对过程中的两个设备分别称为 Verifier 与 Claimant。在配对过程中并不是 Verifier 与 Claimant 直接比较两者的 PIN,因为 Verifier 与 Claimant 还没有建立共同的秘密通信方式,若是 Claimant 直接传送未加密的 PIN 给 Verifier,机密性非常高的 PIN 容易被在线侦听而遭泄露。所以当 Verifier 对 Claimant 验证时,中间传送的并不是 PIN。链路层的通信流程包括以下四个步骤。

(1) 产生初始密钥。当两个不同的蓝牙设备第一次连接时,用户在两个设备中输入相同的 PIN,接着 Verifier 与 Claimant 都产生一个相同的初始化密钥,称为 KINIT,长度为 128 位;KINIT 是由设备地址 BD_ADDR、PIN、PIN 的长度及一个随机数 IN_RAND 经过计算得到的。这样 Verifier 与 Claimant 可以通过双方都拥有的相同初始密钥 KINIT 进行连接,并对传递的参数进行加密,以保证不被他人侦听。

(2) 产生设备密钥。每个蓝牙设备在第一次开机操作完成初始化的参数设置后,设备将产生一个设备密钥(Unit Key,KA)。KA 保存在设备的内存中,KA 是由 128 位的随机数 RAND 与 48 位的 BD_ADDR 经过 E21 算法计算而来的。一旦设备产生 KA 后,便一直保持不变,因为有多数 Claimant 共享同一个 Verifier,若是 Verifier 内的 KA 改变,则以前所有与其相连接过的 Claimant 都必须重新进行初始化的程序以得到新的链路密钥。

(3) 产生链路密钥。链路密钥由设备密钥和初始化密钥产生。Verifier 与 Claimant 间以设备内的链路密钥作为验证和比较的根据,双方必须拥有相同的链路密钥,Claimant 才能通过 Verifier 的验证。每当 Verifier 与 Claimant 间进行验证时,链路密钥作为加密过程中产生加密密钥的输入参数,链路密钥的功能和 KINIT 的功能相同,只是 KINIT 是初始化时的临时性密钥,存储在设备的内存中,当链路密钥产生时,设备就将 KINIT 丢弃。

依据设备存储能力的不同,链路密钥有两种产生方式。当设备的存储容量较小时,可以直接把 Claimant 的 KA 作为链路密钥,经过 KINIT 的编码后传递到 Verifier 上;当设备的存储容量足够时,则结合 Verifier 与 Claimant 两个设备内的 KA 产生 KAB,Verifier 与 Claimant 分别产生随机数 LK_RANDA 和 LK_RANDB,这两个随机数经过 KINIT 的编码后,互相传给对方,Verifier 与 Claimant 即根据随机数 LK_RANDA 和 LK_RANDB 与 BD_ADDR 运用算法计算出相同的 KAB。

链路密钥究竟是采用 KA 还是 KAB 取决于具体的应用。对于存储容量较小的蓝牙设

备或者对于处于大用户群中的设备,适合采用 KA,此时只需存储单一密钥;对于安全等级请求较高的应用,适合采用 KAB,但此时设备必须拥有较大的存储空间。

(4) 验证。在 Verifier 和 Claimant 都拥有一个相同的链路密钥 KAB 后,Verifier 利用链路密钥 KAB 验证 Claimant 是否能够与其相连,如果双方根据 KAB 生成的验证码相同,则 Verifier 接受 Claimant 的连接请求,否则 Verifier 将拒绝 Claimant 的连接请求。

为了防止非法的入侵者不断地尝试以不同的 PIN 连接 Verifier,当某次 Claimant 请求验证而被 Verifier 拒绝时,Claimant 必须等待一定的时间间隔才能再次请求 Verifier 的验证,Verifier 将记录验证失败的 Claimant 的 BD_ADDR。当同一个验证失败的 Claimant 一直不断地重复验证,则每次验证间的等待时间将以指数的速率一直增加。在 Verifier 内记录了每一个 Claimant 的验证时间间隔表以控制 Claimant 的验证时间间隔,这将更有效地阻止不当或非法的入侵者。

5. 蓝牙技术的应用环境

(1) 居家。在现代家庭,通过使用蓝牙技术的产品,可以免除设备电缆缠绕的苦恼。鼠标、键盘、打印机、耳机和扬声器等均可以在 PC 环境中无线使用。通过在移动设备和家用 PC 之间同步联系人和日历信息,用户可以随时随地存取最新的信息。此外,蓝牙技术还可以用在适配器中,允许人们从相机、手机、笔记本电脑向电视发送照片。

(2) 工作。除实现设备的无线连接之外,启用蓝牙的设备能够创建自己的即时网络,让用户能够共享演示文稿或其他文件,不受兼容性或电子邮件访问的限制。蓝牙设备还能方便地召开小组会议,通过无线网络与其他办公室进行对话,并将白板上的构思传送到计算机。现在有越来越多的移动设备支持蓝牙功能,销售人员可使用手机进行连接并通过 GPRS 移动网络传输信息。

(3) 通信及娱乐。目前,蓝牙技术在日常生活中应用最广的就是支持蓝牙的设备与手机相连,如蓝牙耳机、车载免提蓝牙。蓝牙耳机使驾驶更安全,同时能够有效减少电磁波对人体的影响。此外,内置了蓝牙技术的游戏设备,能够在蓝牙覆盖范围内与朋友展开游戏竞技。

5.1.3 ZigBee 技术

ZigBee 技术作为短距离无线传感器网络的通信标准,由于复杂程度低、能耗低、成本低,广泛应用于家庭居住控制、商业建筑自动化、工厂车间管理和野外监控等领域。ZigBee 技术标准由 ZigBee 联盟于 2004 年推出,该联盟是一个由半导体厂商、技术供应商和原始设备制造商加盟的组织。

1. ZigBee 技术的主要特征

ZigBee 技术相对于其他的无线通信技术具有以下特点。

(1) 功耗低。由于 ZigBee 的传输速率低,传输数据量小,并且采用了休眠模式,因此 ZigBee 设备非常省电。据估算,ZigBee 设备仅靠两节 5 号电池就可以维持长达六个月到两年时间。

(2) 成本低。ZigBee 技术协议简单,内存空间小,专利免费,芯片价格低,使得 ZigBee 设备成本相对低廉。

(3) 传输范围小。ZigBee 技术的室内传输距离在几十米以内,室外在几百米内。

(4) 时延短。ZigBee 从休眠状态转入工作状态只需要 15ms,搜索设备时延为 30ms,活动设备信道接入时延为 15ms。相对而言,蓝牙需要 3~10s、WiFi 则需要 3s。

(5) 网络容量大。ZigBee 的节点编址为 2 字节,其网络节点容量理论上达 65 536 个。

(6) 可靠性较高。ZigBee 技术中避免碰撞的机制可以通过为宽带等预留时隙而避免发送数据时发生竞争或是冲突;通过 ZigBee 技术发送的每个数据包无论是否被对方接收都必须得到完全的确认。

(7) 安全性好。ZigBee 提供鉴权和认证,采用 AES-128 高级加密算法来保护数据载荷和防止攻击者冒充合法设备。

2. ZigBee 协议标准

ZigBee 针对低速率无线个人局域网,基于 IEEE 802.15.4 介质访问控制层和物理层标准,开发了一组包含组网、安全和应用软件方面的技术标准。ZigBee 是建立在 IEEE 802.15.4 标准之上的,它确定了可在不同制造商之间共享的应用纲要。ZigBee 协议栈的体系结构模型如图 5-5 所示。IEEE 802.15.4 标准定义了物理(PHY)层和媒体访问控制(MAC)层,ZigBee 联盟定义了网络(NWK)层和应用(APL)层框架的设计。



图 5-5 ZigBee 协议栈体系结构模型

(1) 物理层。ZigBee 产品工作在 IEEE 802.15.4 的物理层上,可工作在 2.4GHz(全球通用标准)、868MHz(欧洲标准)和 915MHz(美国标准)三个频段上,并且在这三个频段上分别具有 250kb/s(16 个信道)、20kb/s(1 个信道)和 40kb/s(10 个信道)的最高数据传输速率。在使用 2.4GHz 频段时,ZigBee 技术室内传输距离为 10m,室外传输距离则能达到 200m;在使用其他频段时,室内传输距离为 30m,室外传输距离则能达到 1000m。在实际传输中,其传输距离根据发射功率确定,可变化调整。

ZigBee 为避免设备互相干扰,各个频段均采用直接序列扩频技术。物理层的直接序列扩频技术允许设备无须闭环同步,在这三个不同频段都采用相位调制技术。在 2.4GHz 频段采用较高阶的 QPSK 调制技术,以达到 250kb/s 的速率。在 915MHz 和 868MHz 频段则采用 BPSK 的调制技术。

(2) MAC 层。IEEE 802.15.4 的 MAC 层能支持多种标准,其协议包括以下功能:①设备间无线链路的建立、维护和结束;②确认模式的帧传送与接收;③信道接入控制;④帧校验;⑤预留时隙管理;⑥广播信息管理。同时,使用 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)机制和应答重传机制,实现了信道的共享及数据帧的可靠传输。

(3) 网络层。ZigBee 网络层(NWK)主要功能是负责拓扑结构的建立和网络连接的维

护,包括设计连接和断开网络时所采用的机制,帧信息传输过程中所采用的安全性机制,设备的路由发现,路由维护和转交机制等。

(4) 应用层。应用层主要为用户提供 API 函数和一些网络管理方面的函数。ZigBee 应用层主要负责把不同的应用映射到 ZigBee 网络,包括与网络层连接的应用支持(APS)层、ZigBee 设备对象(ZDO)以及 ZigBee 的应用层架构(AF)。

3. ZigBee 组网技术

ZigBee 可以采用星形、网状、树状拓扑,如图 5-6 所示,也允许采用三者的组合。

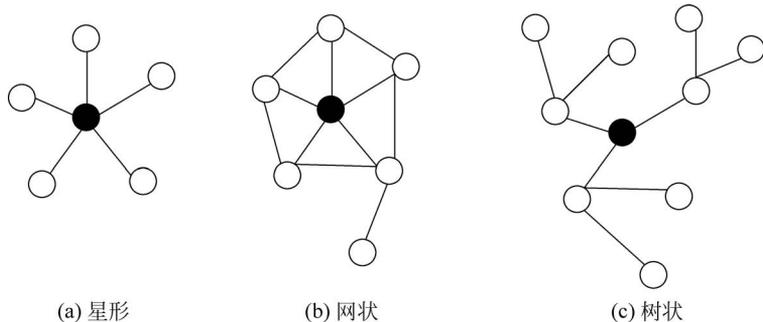


图 5-6 ZigBee 网络拓扑

在 ZigBee 技术的应用中,具有 ZigBee 协调点功能且未加入任一网络的节点可以发起建立一个新的 ZigBee 网络,该节点就是该网络的 ZigBee 协调点,如图 5-6 中的实心点所示。ZigBee 协调点首先进行 IEEE 802.15.4 中的能量探测扫描和主动扫描,选择一个未探测到网络的空闲信道或探测到网络最少的信道,然后确定自己的 16bit 网络地址、网络的 PAN 标识符(PAN ID)、网络的拓扑参数等,其中 PAN ID 是网络在此信道中的唯一标识,因此 PAN ID 不应与此信道中探测到的网络的 PAN ID 冲突。各项参数选定后,ZigBee 协调点便可以接收其他节点加入该网络。

当一个未加入网络的节点要加入当前网络时,要向网络中的节点发送关联请求,收到关联请求的节点如果有能力接收其他节点为其子节点,就为该节点分配一个网络中唯一的 16bit 网络地址,并发出关联应答。收到关联应答后,此节点成功加入网络,并可接收其他节点的关联。节点加入网络后,将自己的 PAN ID 标识设为与 ZigBee 协调点相同的标识。一个节点是否具有接收其他节点并与其关联的能力,主要取决于此节点可利用的资源,如存储空间、能量等。

如果网络中的节点想要离开网络,同样可以向其父节点发送解除关联的请求,收到父节点的解除关联应答后,便可以成功地离开网络。但如果此节点有一个或多个子节点,在其离开网络之前,需要解除所有子节点与自己的关联。

5.1.4 6LoWPAN 技术

6LoWPAN 是一种基于 IPv6 的低速无线个域网标准,即 IPv6 over IEEE 802.15.4。6LoWPAN 技术得到学术界和产业界的广泛关注,包括美国加州大学伯克利分校、瑞典计算机科学院以及思科(Cisco)、霍尼韦尔(Honeywell)等知名企业,并推出了相应的产品。

6LoWPAN 协议已经在许多开源软件上实现,比较著名的是 Contiki、Tinyos。

早期,将 IP 协议引入无线通信网络一直被认为是不现实的(不是完全不可能)。迄今为止,无线网只采用专用协议,因为 IP 协议对内存和带宽要求较高,要降低它的运行环境要求以适应微控制器及低功率无线连接很困难。基于 IEEE 802.15.4 实现 IPv6 通信的 IETF 6LoWPAN 草案标准的发布,改变了这一局面。6LoWPAN 所具有的低功率运行的潜力使它适合应用在手持设备中,而其对 AES-128 加密的内置支持为 6LoWPAN 认证和安全性打下了坚实基础。

IETF 组织于 2004 年 11 月正式成立了 IPv6 over LR-WPAN(简称 6LoWPAN)工作组,着手制定基于 IPv6 的低速无线个域网标准,即 IPv6 over IEEE 802.15.4,旨在将 IPv6 引入以 IEEE 802.15.4 为底层标准的无线个域网。其出现推动了短距离、低速率、低功耗的无线个人区域网络的发展。

由于 IEEE 802.15.4 只规定了物理层和媒体访问控制层标准,没有涉及网络层以上规范。为了满足不同设备制造商的设备间的互联和互操作性,需要制定统一的网络层和应用层标准。

随着 6LoWPAN 技术的快速发展,使得人们通过互联网实现了对大规模传感器网络的控制,并将其广泛应用于智能家居、环境监测等多个领域成为可能。例如,在智能家居中,可将 6LoWPAN 节点嵌入家具和家电中,通过无线网络与 Internet 互联,实现智能家居环境的管理。

作为短距离、低速率、低功耗的无线个域网领域的新兴技术,6LoWPAN 以其廉价、便捷、实用等特点,向人们展示了广阔的市场前景。凡是要求设备具有价格低、体积小、省电、可密集分布特征,而不要求设备具有很高传输速率的应用,都可以应用 6LoWPAN 技术来实现。例如,用于建筑物状态监控、空间探索等方面。因此,6LoWPAN 技术的普及,必将给人们的工作、生活带来极大的便利。

5.2 远距离无线通信技术

远距离无线通信技术常被用在偏远山区、岛屿等有线通信设施(如光缆等)因地域、条件、费用等因素可能无法铺设的区域,以及船、人等需要数据通信却又在实时移动的物体上。远距离无线通信技术与 Internet 技术相结合,成为网络骨干通信技术的补充。常规远距离无线通信技术有卫星通信技术、移动通信技术和微波通信技术。

5.2.1 卫星通信技术

卫星通信是指利用人造地球卫星作为中继站转发无线电信号,在两个或多个地面站之间进行的通信过程或方式。卫星通信属于宇宙无线电通信的一种形式,工作在微波频段。卫星通信是在地面微波中继通信和空间技术的基础上发展起来的。微波中继通信是一种“视距”通信,即只有在“看得见”的范围内才能通信。而通信卫星相当于离地面很高的微波中继站,因此经过一次中继转接之后即可进行长距离的通信。

1. 卫星通信技术原理

图 5-7 是一种简单的卫星通信系统示意图,它是由一颗通信卫星和多个地面通信站组成的。地面通信站通过卫星接收或发送数据,实现数据的传递。

如图 5-8 所示,在离地面高度为 h_e 的卫星中继站,看到地面的两个极端点是 A 点和 B 点,即地面上最大通信距离 S 将是卫星为中继站所能达到的最大通信距离。其计算公式如下:

$$S = R_0 \theta = R_0 \left(2 \arccos \frac{R_0}{R_0 + h_e} \right) \quad (5-1)$$

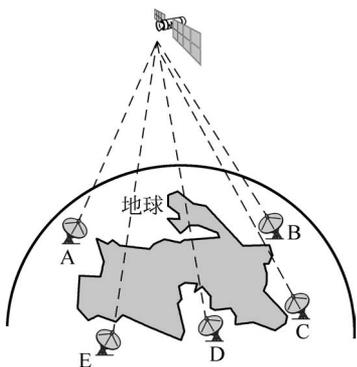


图 5-7 卫星通信系统示意图

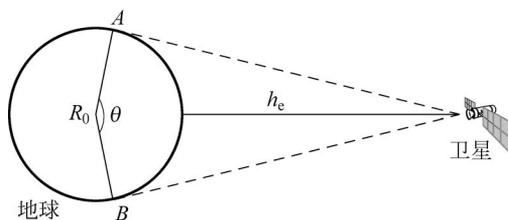


图 5-8 卫星通信原理示意图

式(5-1)中, R_0 为地球半径, $R_0 = 6378\text{km}$; θ 为 AB 所对应的圆心角(弧度); h_e 为通信卫星到地面的高度,单位为 km。式(5-1)说明, h_e 越高,地面上最大通信距离越大。

由于卫星处于外层空间,即在电离层之外,地面上发射的电磁波必须能穿透电离层才能到达卫星;同样,从卫星到地面上的电磁波也必须穿透电离层。而在无线电频段中只有微波频段恰好具备这一条件,因此卫星通信使用微波频段。

卫星通信系统选择的主要工作频段如表 5-2 所示。其中,C 频段被最早用于商业卫星,较低的频率范围用于下行流量(从卫星发出),较高的频率用于上行流量(发向卫星)。为了能够同时在两个方向上传输流量,要求使用两个信道,每个方向一个信道。

表 5-2 卫星通信频段

频段	下行链路/GHz	上行链路/GHz	带宽/MHz	问 题
L	1.5	1.6	15.0	低带宽、拥挤
S	1.9	2.2	70.0	低带宽、拥挤
C	4.0	6.0	500.0	地面干扰
K_u	11.0	14.0	500.0	雨水
K_a	20.0	30.0	3500.0	雨水、设备成本

2. 通信卫星的种类

目前,通信卫星的种类繁多,按不同的标准有不同的分类。下面给出几种常用的卫星种类。

(1) 按卫星的供电方式划分。按卫星是否具有供电系统,可将其分为无源卫星和有源卫星两类。无源卫星是运行在特定轨道上的球形或其他形状的反射体,没有任何电子设备,它是靠其金属表面对无线电波进行反射来完成信号中继任务的。在 20 世纪五六十年代进行卫星通信试验时,曾利用过这种卫星。目前,几乎所有的通信卫星都是有源卫星,一般多采用太阳能电池和化学能电池作为能源。这种卫星装有收、发信机等电子设备,能将地面站发来的信号进行接收、放大、频率变换等其他处理,然后再发回地球。这种卫星可以部分地补偿信号在空间传输时造成的损耗。

(2) 按通信卫星的运行轨道角度划分。按卫星的运行轨道角度可将其划分为三类。①赤道轨道卫星:指轨道平面与赤道平面夹角 φ 为 0° 的卫星;②极轨道卫星:指轨道平面与赤道平面夹角 φ 为 90° 的卫星;③倾斜轨道卫星:指轨道平面与赤道平面夹角为 φ ($0^\circ < \varphi < 90^\circ$) 的卫星。所谓轨道就是卫星在空间运行的路线,见图 5-9。

(3) 按卫星距离地面的最大高度划分。按卫星距离地面最大高度的不同可分为①低轨道卫星,是指距离地表在 5000km 以内的卫星;②中间轨道卫星,是指距离地表 5000km~20 000km 的卫星;③高轨道卫星,是指距离地表在 20 000km 以上的卫星。

(4) 按卫星与地球上任一点的相对位置的不同划分。按卫星与地球上任一点的相对位置的不同可划分为同步卫星和非同步卫星。①同步卫星是指在赤道上空约 35 800km 高的圆形轨道上与地球自转同向运行的卫星。由于其运行方向和周期与地球自转方向和周期均相同,因此从地面上任一点看上去,卫星都是“静止”不动的,所以把这种相对地球静止的卫星简称为同步(静止)卫星,其运行轨道称为同步轨道。②非同步卫星的运行周期不等于(通常小于)地球自转周期,其轨道倾角、高度和轨道形状(圆形或椭圆形)可因需要而不同。从地球上,这种卫星以一定的速度在运动,故又称为移动卫星或运动卫星。

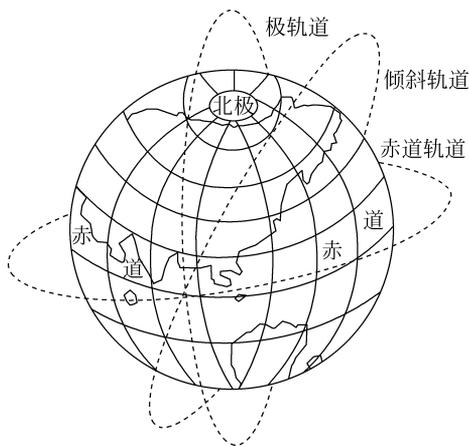


图 5-9 卫星运行轨道示意图

不同类型的卫星有不同的特点和用途。在卫星通信中,同步卫星使用得最为广泛,其主要原因如下。

第一,同步卫星距地面高达 35 800km,一颗卫星的覆盖区(从卫星上能“看到”的地球区域)可达地球总面积的 40%左右,地面最大跨距可达 18 000km。因此只需三颗卫星适当配置,就可建立除两极地区(南极和北极)以外的全球性通信,如图 5-10 所示。

第二,由于同步卫星相对于地球是静止的,因此,地面站天线易于保持对准卫星,不需要复杂的跟踪系统;通信连续,不像相对于地球以一定速度运动的卫星那样,在变更转发信号卫星时会出现信号中断;信号频率稳定,不会因卫星相对于地球运动而产生多普勒频移。

当然,同步卫星也有一些缺点,主要表现在:两极地区为通信盲区;卫星离地球较远,故传输损耗和传输时延都较大;同步轨道只有一条,能容纳卫星的数量有限;同步卫星的发射和在轨测控技术比较复杂。此外,在春分和秋分前后,还存在着星蚀(卫星进入地球的

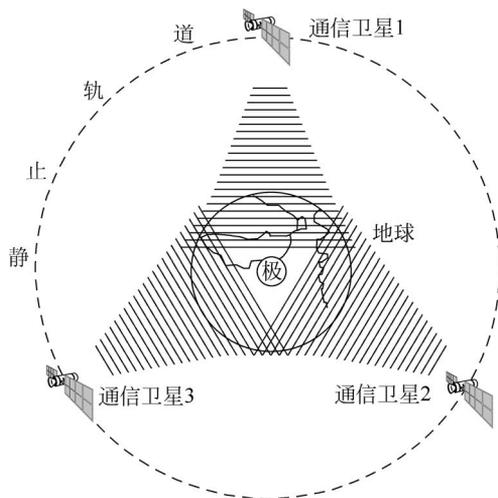


图 5-10 同步卫星通信系统示意图

阴影区)和日凌中断(卫星处于太阳和地球之间,受强大的太阳噪声影响而使通信中断)现象。

非同步卫星的主要优缺点基本上与同步卫星相反。由于非同步卫星的抗毁性较高,因此也有一定的应用。

3. 卫星通信系统的分类

目前世界上建成了数以百计的卫星通信系统,归结起来可进行如下分类。

(1) 按卫星制式可分为静止卫星通信系统、随机轨道卫星通信系统和低轨道卫星(移动)通信系统。

(2) 按通信覆盖区域的范围可划分为国际卫星通信系统、国内卫星通信系统和区域卫星通信系统。

(3) 按用户性质可分为公用(商用)卫星通信系统、专用卫星通信系统和军用卫星通信系统。

(4) 按业务范围可分为固定业务卫星通信系统、移动业务卫星通信系统、广播业务卫星通信系统和科学实验卫星通信系统。

(5) 按基带信号体制可分为模拟制卫星通信系统和数字制卫星通信系统。

(6) 按多址方式可分为频分多址(FDMA)、时分多址(TDMA)、空分多址(SDMA)和码分多址(CDMA)卫星通信系统。

(7) 按运行方式可分为同步卫星通信系统和非同步卫星通信系统。目前国际和国内的卫星通信大都是同步卫星通信系统。

4. 卫星通信的特点

卫星通信系统以通信卫星为中继站,与其他通信系统相比较,卫星通信有如下特点。

(1) 覆盖区域大,通信距离远。一颗同步通信卫星可以覆盖地球表面的三分之一区域,因而利用三颗同步卫星即可实现全球通信。它是远距离越洋通信和电视转播的主要手段。

(2) 具有多址连接能力。地面微波中继的通信区域基本上是一条线路,而卫星通信可在通信卫星所覆盖的区域内,所有四面八方的地面站都能利用这一卫星进行相互间的通信。我们称卫星通信的这种能同时实现多方向、多个地面站之间相互联系的特性为多址连接。

(3) 频带宽,通信容量大。卫星通信采用微波频段,传输容量主要由终端站决定。卫星通信系统的传输容量取决于卫星转发器的带宽和发射功率,而且一颗卫星可设置多个(如 IS-Ⅶ有 46 个)转发器,故通信容量很大。例如,利用频率再用技术的某些卫星通信系统可传输 30 000 路电话和 4 路彩色电视信号。

(4) 通信质量好,可靠性高。卫星通信的电波主要在自由(宇宙)空间传播,传输电波十分稳定,而且通常只经过卫星一次转接,其噪声影响较小,通信质量好,通信可靠性超过 99.8%。

(5) 通信机动灵活。卫星通信系统的建立不受地理条件的限制,地面站可以建立在边远山区、海岛、汽车、飞机和舰艇上。

(6) 电路使用费用与通信距离无关。地面微波中继或光缆通信系统,其建设投资和维持使用费用都随距离的增加而增加。而卫星通信的地面站至空间转发器这一区间并不需要投资,因此线路使用费用与通信距离无关。

(7) 卫星通信系统的一些特殊要求。一是由于通信卫星的一次投资费用较高,在运行中难以进行检修,故要求通信卫星具备高可靠性和较长的使用寿命;二是卫星上能源有限,卫星的发射功率只能达到几十至几百瓦,因此要求地面站要有大功率发射机、低噪声接收机和高增益天线,这使得地面站比较庞大;三是由于卫星通信传输距离很长,使信号传输的时延较大,其单程距离(地面站 A→卫星转发→地面站 B)长达 80 000km,需要时间约 270ms;双向通信往返约 160 000km,延时约 540ms,所以,在通过卫星打电话时,通信双方会感到很不习惯。

5. 卫星通信新技术

随着卫星通信技术的发展,出现了多种卫星通信新技术。

(1) VSAT 卫星通信系统。VSAT 是 Very Small Aperture Terminal(小天线地面站)的英文缩写。对于一般的卫星通信系统,用户利用卫星通信必须要通过地面通信网汇接到地面站后才能进行,这对于有些用户,如银行、航空公司、汽车运输公司、饭店等就显得很不方便,这些用户希望能自己组成一个更为灵活的卫星通信网并且各自能够直接利用卫星来进行通信,即把通信终端直接延伸到办公室,甚至面向个人进行通信。这样就产生了 VSAT 系统。VSAT 系统代表了当今卫星通信发展的一个重要方向,它的产生和发展奠定了卫星通信设备向多功能化、智能化、小型化的方向发展。

VSAT 是由一个主站和若干 VSAT 终端组成的卫星通信系统。主站也称为中心站或枢纽站,它是一个较大的地球站,具有全网的出/入站信息传输、交换和控制功能。VSAT 系统终端,通常指天线尺寸小于 2.4m,由主站应用管理软件高度监测和控制的小型地面站。

VSAT 系统主要用来进行 2Mb/s 以下低速率数据的双向通信。VSAT 系统中的用户小站对环境条件要求不高,可以直接安装在用户屋顶上,不必汇接中转,可由用户直接控制电路,安装组网方便、灵活,因而 VSAT 系统的发展非常迅速。

VSAT 系统工作在 14/11GHz 的 K_u 频段以及 C 频段。系统中综合了分组信息传输与

交换、多址协议、频谱扩展等多种先进技术,可以进行数据、语言、视频图像、传真、计算机信息等多种信息的传输。

(2) 低轨道(Low Earth Orbit,LEO)移动卫星通信系统。低轨道移动卫星通信系统的目的是实现全球个人通信。美国摩托罗拉公司在1991年提出用77颗卫星覆盖全球的移动电话系统,这个方案和铱原子外围包围着77个电子的原子结构很相似,所以被称为“铱系统”。这77颗卫星分成7组,每组11颗,分布围绕在地球上空、经度上距离相等的7个平面内的低轨道上。此后,又改为66颗小型智能卫星在地面上空765km处围绕6条极地轨道运行,卫星与卫星之间可以接力传输,从而使卫星天线的波束覆盖全球表面。这样,在地面的任何地点、任何时间,总有一颗卫星在视线范围内,以此来实现全球个人通信。

这种系统中的卫星离地面高度较低,约为765km,所以称为低轨道卫星。由于卫星离地球表面较近,卫星与移动通信用户之间的最大通信距离不超过2315km,在这样的距离内,可以使用小天线、小功率、重量轻的移动通信电话机,通过卫星直接通话。

低轨道移动卫星通信系统与地面蜂窝式移动电话系统的基本原理相似,都采用划分小区和重复使用频率的方法进行通信。不同的是,低轨道卫星移动通信系统相当于把地面蜂窝式移动电话系统的基站安装在卫星上。低轨道卫星体积小、重量轻,只有500kg左右,利用小型火箭就可以发射,便于及时更换有故障的卫星,有利于提高系统的通信质量和可靠性。

(3) 中轨道(Medium Earth Orbit,MEO)移动卫星通信系统。低轨道(LEO)移动卫星通信系统易于实现手持机个人通信,但由于系统中卫星数量多、寿命短,运行期间要及时补充替代卫星,使系统投资较高。因此,许多中轨道移动卫星通信系统的设计方案便应运而生。具有代表性的MEO卫星系统主要有Inmarsat-P(中高度圆形轨道,ICO)、TRW公司提出的Odyssey(奥德赛)和欧洲宇航局开发的MAGSS-14等。

(4) 静止轨道(Geosynchronous Earth Orbit,GEO)移动卫星通信系统。静止轨道移动卫星通信系统与低轨道移动卫星通信系统的区别在于,它是利用静止卫星进行移动通信。用户可以使用便携式的移动终端,通过同步通信卫星和地面站,并经由通信网中转进行全球范围的电话、传真和数据通信。

(5) 海事卫星通信(Maritime Satellite Communication,MSC)系统。海事卫星通信系统是使用通信卫星作为中继站的船舶无线电通信系统。其特点是质量高、容量大,可全球、全天候、全时通信。美国于1976年先后向大西洋、太平洋和印度洋上空发射了三颗海事通信卫星,建立了世界上第一个海事卫星通信站,主要容量服务于海军。国际海事卫星组织(INMARSAT)成立于1979年7月,总部设在英国伦敦,并于1982年建立了国际海事卫星通信系统,成为第一代国际海事卫星通信系统。INMARSAT现拥有美国、英国、日本、挪威等87个成员国,我国在1979年参加该组织。经过近20年的发展,全球使用INMARSAT的国家超过160个,用户已有16万多个。海事卫星通信系统虽然造价昂贵,但因其有许多优点而发展前景广阔。

海事卫星通信系统是由通信卫星、岸站和船站三大部分组成的。

- 通信卫星。它是系统的中继站,用以收、发岸站和船站的信号。卫星布设于太平洋、大西洋和印度洋三个洋区,采用静止轨道卫星。卫星可提供电话、电报、传真和共用呼叫服务。
- 岸站。它是设在海岸上的海事卫星通信地球站,起通信网的控制作用,设有天线等

设备。岸站可与陆上其他通信网相联通。

- 船站。它是装在船上的海事卫星通信地球站,是系统的通信终端,装备有抛物面天线等设备。

电话通信采用调频方式,电报通信采用移相键控调制方式。每颗通信卫星的通信容量的分配是由指定岸站的网络协调站负责分配卫星通信信道。电报信道预先分配给各岸站,由其负责分配与船站进行电报通信的时隙。电话信道由网络协调站控制,由船站、岸站进行申请后分配。

INMARSAT 海事卫星系统是世界上能对海、陆、空中的移动体提供静止卫星通信的唯一系统。INMARSAT 系统的地面站有岸站和大量的船站,船站之间通信时经岸站双跳中继。星船之间的工作频率是 1.5~1.6GHz,星岸之间用 6/4GHz。

除上述介绍的卫星通信系统以外,卫星通信在军事、气象、资源探测、侦察、宇宙通信、科学实验、业务广播、全球定位等其他领域的应用也十分广泛。此外,卫星也是未来个人通信的核心基础。

5.2.2 移动通信技术

移动通信是指通信双方或至少一方是在运动中实现信息传输的过程或方式。例如移动体(车辆、船舶、飞机、人)与固定点或移动体之间的通信等。移动通信可以应用在任何条件之下,特别是在有线通信不可及的情况下(如无法架线、埋电缆等),更能显示出其优越性。

1. 移动通信分类

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,其分类方法也多种多样。

1) 按设备的使用环境分类

按设备的使用环境分类主要有陆地移动通信、海上移动通信和航空移动通信三种类型。对于特殊的使用环境,还有地下隧道、矿井、水下潜艇和太空、航天等移动通信。

2) 按服务对象分类

按服务对象分类可分为公用移动通信和专用移动通信两种类型。例如,我国的中国移动、中国联通等经营的移动电话业务就属于公用移动通信。由于是面向社会各阶层人士的,因此称为公用网。专用移动通信是为保证某些特殊部门的通信所建立的通信系统。由于各个部门的性质和环境有很大区别,因而各个部门使用的移动通信网的技术要求也有很大差异,例如公安、消防、急救、防汛、交通管理、机场调度等。

3) 按系统组成结构分类

(1) 蜂窝状移动电话系统。蜂窝状移动电话是移动通信的主体,它是用户容量最大的全球移动电话网。

(2) 集群调度移动电话。它可将各个部门所需的调度业务进行统一规划建设,集中管理,每个部门都可建立自己的调度中心台。它的特点是共享频率资源,共享通信设施,共享通信业务,共同分担费用,是一种专用调度系统的高级发展阶段,具有高效、廉价的自动拨号系统,频率利用率高。

(3) 无中心个人无线电话系统。它没有中心控制设备,这是与蜂窝网和集群网的主要

区别。它将中心集中控制转换为电台分散控制。由于不设置中心控制,故可以节约建网投资,并且频率利用率最高。系统采用数字选呼方式,采用共用信道传送信令,接续速度快。由于系统没有蜂窝移动通信系统和集群系统那样复杂,故建网简易、投资低、性价比最高,适合个人业务和小企业的单区组网分散小系统。

(4) 公用无绳电话系统。公用无绳电话是公共场所使用的电话系统,例如商场、机场、火车站等。加入无绳电话系统的手机可以呼入市话网,也可以实现双向呼叫。它的特点是不适用于乘车使用,只适用于步行。

(5) 移动卫星通信系统。21世纪通信的最大特点是卫星通信终端手持化,个人通信全球化。所谓个人通信,是移动通信的进一步发展,是面向个人的通信,其实质是任何人在任何时间、任何地点,可与任何人实现任何方式的通信。只有利用卫星通信覆盖全球的特点,通过卫星通信系统与地面移动通信系统的结合,才能实现名副其实的全球个人通信。近年来移动卫星通信系统发展最快的是低轨道的铱系统和全星系统以及中轨道的国际移动通信卫星系统和奥德赛系统。

本书以蜂窝移动电话系统为基础介绍移动通信技术。

2. 移动通信的发展

移动通信目前处于5G时代,未来5年即将进入6G时代。按照移动通信的发展过程,可划分为如下几个阶段。

1) 第一代(1G)模拟移动通信系统

从1946年美国使用150MHz单个汽车无线电话开始到20世纪90年代初,是移动通信发展的第一阶段。因为调制前信号都是模拟的,也称模拟移动通信系统。第一代移动通信的主要特征为模拟技术,可分为蜂窝、无绳、寻呼和集群等多类系统,每类系统又有互不兼容的技术体系。

2) 第二代(2G)数字移动通信系统

这时的移动通信系统的主要特征是采用了数字技术。虽然仍是多种系统,但每种系统的技术体制有所减少。主要包括GSM、CDMA和GPRS等几种模式。

GSM: GSM是全球移动通信系统的简称。自20世纪90年代中期投入商用以来,被全球超过100个国家采用。

CDMA: CDMA是码分多址访问(Code Division Multiple Access)的简称。CDMA允许所有使用者同时使用全部频带(1.2288MHz),且把其他使用者发出的信号视为杂讯,完全不必考虑信号碰撞问题。

GPRS: GPRS是通用分组无线服务技术(General Packet Radio Service)的简称,是GSM移动电话用户可用的一种移动数据业务,传输速率可提升为56kb/s至114kb/s。GPRS通常被描述成“2.5G通信技术”,它介于第二代(2G)和第三代(3G)移动通信技术之间。

3) 第三代(3G)移动通信

3G移动通信的标准有WCDMA、CDMA2000与TD-SCDMA三种。WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access,宽带码分多址)是由欧洲提出的宽带CDMA技术,是在GSM的基础上发展而来的;CDMA2000由美国主推,是基于IS-95技术发展起来的3G技术规范;TD-SCDMA(Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access,

时分同步 CDMA 技术)则是由我国自行制定的 3G 标准。

4) 第四代(4G)移动通信

4G 集 3G 与 WLAN 于一体,具备传输高质量视频图像的能力,其图像质量与高清晰度电视的图像质量不相上下。4G 系统能够以 100Mb/s 的速度下载,比拨号上网快 2000 倍,上传的速度也能达到 20Mb/s,并能够满足大部分用户对于无线服务的要求。

国际电信联盟(ITU)已经将 WiMAX、HSPA+、LTE 正式纳入 4G 标准里,加上之前就已经确定的 LTE-Advanced 和 WirelessMAN-Advanced 这两种标准,目前 4G 标准已经达到了 5 种。

5) 第五代(5G)移动通信

2016 年 11 月,举办于乌镇的第三届世界互联网大会上,高通公司带来的可以实现“万物互联”的 5G 技术原型入选 15 项“黑科技”——世界互联网领先成果。目前,5G 向千兆移动网络和人工智能迈进,中国华为、韩国三星电子、日本、欧盟都在投入相当的资源研发 5G 网络。2017 年 2 月 9 日,国际通信标准组织 3GPP 宣布了 5G 的官方 Logo。

我国 5G 技术研发分为 5G 关键技术试验、5G 技术方案验证和 5G 系统验证三个阶段实施。2018 年 6 月 28 日,中国联通公布了 5G 部署,5G 网络正式商用。

3. 移动通信系统的组成

移动通信系统一般由移动终端(Mobile Set,MS)、基站(Base Station,BS)、控制交换中心(Control Switch Center,CSC)和有线电话网等组成,其中,移动终端包括车载终端和手持终端;不同基站覆盖不同区域,如无线小区 1、2、3 等,如图 5-11 所示。

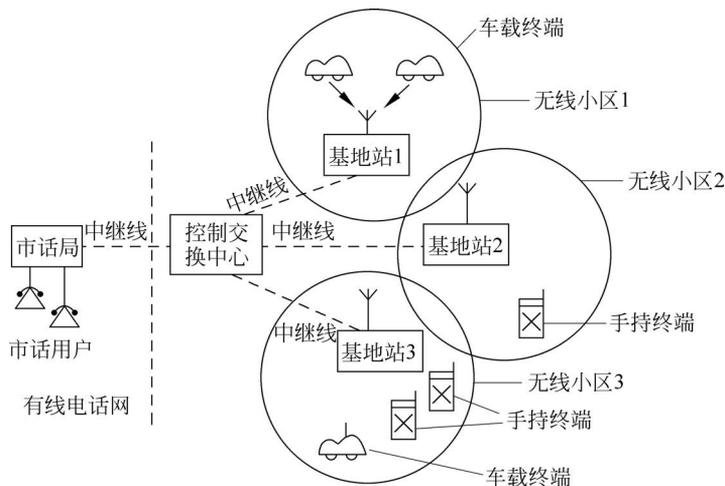


图 5-11 移动通信系统示意图

基站和移动终端设有收、发信机和天线等设备。每个基站都有一个可靠通信的服务范围,称为无线小区(通信服务区)。无线小区的大小主要由发射功率和基站天线的高度决定。根据服务面积的大小可将移动通信网分为大区制、中区制和小区制(Cellular System)三种。

大区制是指一个通信服务区(如一个城市)由一个无线区覆盖,此时基站发射功率很大(50W 或 100W 以上,对手机的要求一般为 5W 以下),无线覆盖半径可达 25km 以上。其基本特点是,只有一个基站,覆盖面积大,信道数有限,一般只能容纳数百到数千个用户。大区

制的主要缺点是系统容量不大。为了克服这一限制,适合更大范围(大城市)、更多用户的服务,就必须采用小区制。

小区制一般是指覆盖半径为 2~10km 的多个无线区链合而形成的整个服务区的制式,此时的基站发射功率很小(8~20W)。由于通常将小区绘制成六角形(实际小区覆盖地域并非六角形),多个小区结合后看起来很像蜂窝,因此称这种组网形式为蜂窝网。用这种组网方式可以构成大区域、大容量的移动通信系统,进而形成全省、全国或更大的系统。小区制有以下四个特点:①基站只提供信道,其交换、控制都集中在一个移动电话交换局(Mobile Telephone Switching Office,MTSO),或称为移动交换中心,其作用相当于一个市话交换局。而大区制的信道交换、控制等功能都集中在基站完成。②具有“过区切换功能”(handoff),简称“过区”功能,即一个移动终端从一个小区进入另一个小区时,要从原基站的信道切换到新基站的信道上,而且不能影响正在进行的通话。③具有漫游(roaming)功能,即一个移动终端从本管理区进入另一个管理区时,其电话号码不能变,仍然像在原管理区一样能够被呼叫到。④具有频率再用的特点。所谓频率再用是指一个频率可以在不同的小区重复使用。由于同频信道可以重复使用,再用的信道越多,用户数也就越多。因此,小区制可以提供比大区制更大的通信容量。小区制几种频率的组网方式见图 5-12。目前发展方向是将小区划小,成为微区、宏区和毫区,其覆盖半径降至 100m 左右。

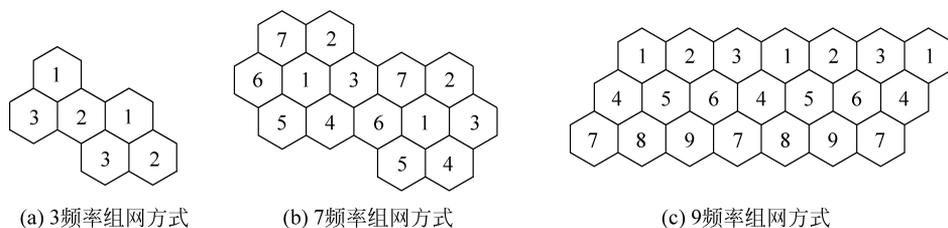


图 5-12 小区频率再用示意图

中区制则是介于大区制和小区制之间的一种过渡制式。

移动交换中心主要用来处理信息和整个系统的集中控制管理。因系统不同而有几种名称,如在美国的 AMPS 系统中被称为 MTSO,而在北欧的 NMT-900 系统中被称为 MTX。

5.2.3 微波通信技术

微波(microwave)的发展是与无线通信的发展分不开的。1901年,马克尼使用 800kHz 中波信号进行了从英国到北美纽芬兰的世界上第一次横跨大西洋的无线电波的通信试验,开创了人类无线通信的新纪元。无线通信初期,人们使用长波及中波来通信。20世纪20年代初人们发现了短波通信,直到20世纪60年代卫星通信的兴起,它一直是国际远距离通信的主要手段,并且对目前的应急和军事通信仍然很重要。

用于空间传输的电波是一种电磁波,其传播的速度等于光速。无线电波可以按照频率或波长来分类和命名。把频率高于 300MHz 的电磁波称为微波。由于各波段的传播特性各异,因此,可以用于不同的通信系统。例如,中波主要沿地面传播,绕射能力强,适用于广播和海上通信;而短波具有较强的电离层反射能力,适用于环球通信;超短波和微波的绕射能力较差,可作为视距或超视距中继通信。

1931年,在英国多佛与法国加莱之间建起了世界上第一条微波通信电路。第二次世界

大战后,微波接力通信得到迅速发展。1955年,对流层散射通信在北美试验成功。20世纪50年代开始进行卫星通信试验,20世纪60年代中期投入使用。由于微波波段频率资源极为丰富,而微波波段以下的频谱十分拥挤,为此移动通信等也向微波波段发展。

微波是波长在1mm~1m(不含1m)的电磁波,是分米波、厘米波、毫米波和亚毫米波的统称,其频谱示意图如图5-13所示。微波频率比一般的无线电频率高,通常也称为“超高频电磁波”。微波作为一种电磁波也具有波粒二象性。微波的基本性质通常呈现为穿透、反射、吸收三个特性。对于玻璃、塑料和瓷器,微波几乎是穿越而不被吸收;对于水和食物等就会吸收微波而使自身发热;而对金属类的物质,微波则会被反射。

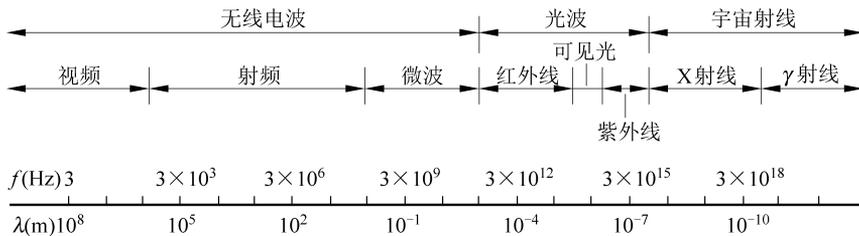


图 5-13 频谱示意图

微波通信(Microwave Communication)是使用微波进行的通信。微波通信不需要固体介质,当两点间无障碍时就可以使用微波传送。利用微波进行通信,具有容量大、质量好、传输距离远的特点。微波通信是在第二次世界大战后期开始使用的无线电通信技术,经过几十年的发展已经获得广泛的应用。微波通信分为模拟微波通信和数字微波通信两类。模拟微波通信早已发展成熟,并逐渐被数字微波通信取代。数字微波通信已成为一种重要的传输手段,并与卫星通信、光纤通信一起作为当今的三大传输手段。

1. 微波类型

根据微波的波长,可以将微波分为分米波、厘米波、毫米波等类型,如表5-3所示。

表 5-3 微波类型

波 段	波 长	频率/GHz	频段名称
分米波	1m~10cm	0.3~3	特高频(UHF)
厘米波	10cm~1cm	3~30	超高频(SHF)
毫米波	1cm~1mm	30~300	极高频(EHF)

2. 微波通信的方式及其特点

中国微波通信广泛使用L、S、C、X和K等几种频段进行通信,每个频段适合的应用场景各有差异。由于微波的频率极高,波长又很短,其在空中的传播特性与光波相近,也就是直线前进,遇到阻挡就被反射或被阻断,因此微波通信的主要方式是视距通信,超过视距以后需要中继转发。微波通信的主要特点如下。

- (1) 微波频带宽,通信容量大。
- (2) 微波中继通信抗干扰性能好,工作较稳定、可靠。
- (3) 微波中继通信灵活性较高。

(4) 天线增益高、方向性强。

(5) 投资少、建设快。

一般说来,由于地球曲面的影响以及空间传输的损耗,每隔 50km 左右,就需要设置中继站,将电波放大转发来延伸。这种通信方式也称为微波中继通信或称微波接力通信。长距离微波通信干线可以经过几十次中继传至数千千米仍可保持很高的通信质量。其接力通信示意图如图 5-14 所示。

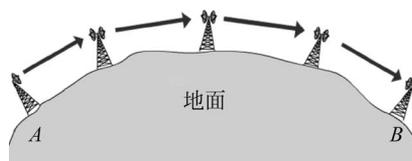


图 5-14 微波通信示意图

3. 微波通信系统

微波通信系统由发信机、收信机、天馈线系统、多路复用设备及用户终端设备等组成,其中,发信机由调制器、上变频器、高功率放大器组成;收信机由低噪声放大器、下变频器、解调器组成;天馈线系统由馈线、双工器及天线组成;用户终端设备把各种信息转换成电信号;多路复用设备则将多个用户的电信号构成共享一个传输信道的基带信号。在发信机中调制器把基带信号调制到中频再经上变频变至射频,也可直接调制到射频。在模拟微波通信系统中,常用的调制方式是调频;在数字微波通信系统中,常用多相数字调相方式,大容量数字微波则采用有效利用频谱的多进制数字调制及组合调制等调制方式。发信机中的高功率放大器用于把发送的射频信号提高到足够的电平,以满足经信道传输后的接收场强。收信机中的低噪声放大器用于提高收信机的灵敏度;下变频器用于中频信号与微波信号之间的变换以实现固定中频的高增益稳定放大;解调器的功能是进行调制的逆变换。微波通信天线一般为强方向性、高效率、高增益的反射面天线,常用的有抛物面天线、卡塞格伦天线等,馈线主要采用波导或同轴电缆。在地面接力和卫星通信系统中,还需以中继站或卫星转发器等作为中继转发装置。

4. 微波通信的传播方式

微波通信中电波所涉及的媒质有地球表面、地球大气(对流层、电离层和地磁场等)及星际空间等。按媒质分布对传播的作用可分为连续的(均匀的或不均匀的)介质体,如对流层、电离层等;离散的散射体,如雨滴、冰雹、闪电、雷鸣、飞机及其他飞行物等。微波通信中的电波传播可分为视距传播及超视距传播两大类。

视距传播时,发射点和接收点双方都在无线电视范围内,利用视距传播的有地面微波接力通信、卫星通信、空间通信及微波移动通信。其特点是信号沿直线或视线路径传播,信号的传播受自由空间的衰耗和媒质信道参数的影响。如地-地传播的影响包括地面、地物对电波的绕射、反射和折射,特别是近地对流层对电波的折射、吸收和散射;大气层中水气、凝结体和悬浮物对电波的吸收和散射。它们会引起信号幅度的衰落、多径时延、传播角的起伏和去极化(即交叉极化率的降低)等效应。在地-空和空-空视距传播中,主要考虑大气和大气层中沉降物的影响,而地面、地物和近地对流层对地-空、空-空传播的影响则比对地面视距传播的影响小,有时可以忽略不计。

对流层超视距前向散射传播是利用对流层近地折射率梯度及介质的随机不连续性对入射无线电波的再辐射将部分无线电波前向散射到超视距接收点的一种传播方式。前向散射

衰耗很大,且衰落深度远大于地面视距微波通信,从而使可用频带受到限制,但站距则远大于地面视距通信。

5.3 有线通信技术

有线通信技术是局域网、城域网、广域网的常用组网技术。在面向物联网的应用中,常被用在局域网组网以及与 Internet 网络的互联。本节介绍典型的双绞线和光纤通信技术,并以此为基础详述以太网的概念。

5.3.1 双绞线

双绞线(Twisted Pair Wire)是综合布线工程中最常用的一种传输介质。双绞线由两根具有绝缘保护层的铜导线组成。把两根绝缘的铜导线按一定密度互相绞合在一起,每一根导线在传输中辐射的电波会被另一根线上发出的电波抵消,可降低信号干扰的程度。双绞线一般由两根 22~26 号绝缘铜导线相互缠绕而成。如果把一对或多对双绞线放在一个绝缘套管中便形成了双绞线电缆。在双绞线电缆(也称双扭线电缆)内,不同线对具有不同的扭绞长度。一般来说,扭绞长度在 38.1cm 至 14cm,按逆时针方向扭绞,相邻线对的扭绞长度在 12.7cm 以上。双绞线分为屏蔽双绞线(Shielded Twisted Pair,STP)与非屏蔽双绞线(Unshielded Twisted Pair,UTP)。屏蔽双绞线在双绞线与外层绝缘封套之间有一个金属屏蔽层。屏蔽层可减少辐射,防止信息被窃听,也可阻止外部电磁干扰的进入,使屏蔽双绞线比同类的非屏蔽双绞线具有更高的传输速率。非屏蔽双绞线是一种数据传输线,由四对不同颜色的传输线所组成,广泛用于以太网路和电话线。非屏蔽双绞线电缆最早在 1881 年被用于贝尔发明的电话系统中。双绞线示意图如图 5-15 所示。

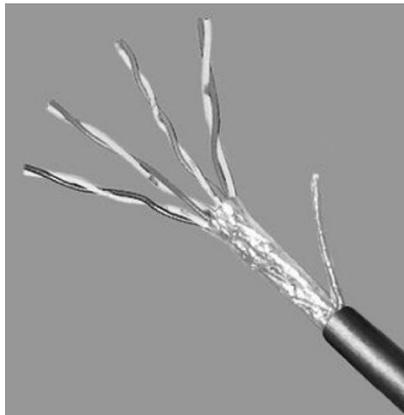


图 5-15 双绞线示意图

双绞线常见的有三类线、五类线和超五类线,以及最新的六类线,前者线径细而后者线径粗,介绍如下。

(1) 一类线(CAT1)。线缆最高频率带宽是 750kHz,用于报警系统,或只适用于语音传输(一类线主要用于 20 世纪 80 年代初之前的电话线缆),不用于数据传输。

(2) 二类线(CAT2)。线缆最高频率带宽是 1MHz,用于语音传输和最高传输速率 4Mb/s 的数据传输,常见于使用 4Mb/s 规范令牌传递协议的旧令牌网。

(3) 三类线(CAT3)。它是指目前在 ANSI 和 EIA/TIA568 标准中指定的电缆,该电缆的传输频率为 16MHz,最高传输速率为 10Mb/s,主要应用于语音、10Mb/s 以太网(10BASE-T)和 4Mb/s 令牌环。其最大网段长度为 100m,采用 RJ 形式的连接器,目前已淡出市场。

(4) 四类线(CAT4)。该类电缆的传输频率为 20MHz,用于语音传输和最高传输速率 16Mb/s(指 16Mb/s 令牌环)的数据传输,主要用于基于令牌的局域网和 10BASE-T/

100BASE-T。其最大网段长为 100m,采用 RJ 形式的连接器,未被广泛采用。

(5) 五类线(CAT5)。该类电缆增加了绕线密度,外套一种高质量的绝缘材料,线缆最高频率带宽为 100MHz,最高传输速率为 100Mb/s,用于语音传输和最高传输速率为 100Mb/s 的数据传输,主要用于 100BASE-T 和 1000BASE-T 网络。其最大网段长为 100m,采用 RJ 形式的连接器,是最常用的以太网电缆。在双绞线电缆内,不同线对具有不同的绞距长度。通常,4 对双绞线绞距周期在 38.1mm 内,按逆时针方向扭绞,一对线对的扭绞长度在 12.7mm 以内。

(6) 超五类线(CAT5e)。超五类线衰减小、串扰少,并且具有更高的衰减与串扰的比值(ACR)和信噪比(SNR)、更小的时延误差,性能得到很大提高。超五类线主要用于千兆位以太网(1000Mb/s)。

(7) 六类线(CAT6)。该类电缆的传输频率为 1~250MHz。六类布线系统在 200MHz 时综合衰减串扰比(PS-ACR)应该有较大的余量,它提供 2 倍于超五类的带宽。六类线的传输性能远远高于超五类标准,最适于传输速率高于 1Gb/s 的应用。六类与超五类的一个重要的不同点在于:改善了在串扰以及回波损耗方面的性能。对于新一代全双工的高速网络应用而言,优良的回波损耗性能是极其重要的。六类标准中取消了基本链路模型,布线标准采用星形的拓扑结构,要求的布线距离为:永久链路的长度不能超过 90m,信道长度不能超过 100m。

(8) 七类线(CAT7)。带宽为 600MHz,可能用于今后的万兆位以太网。

通常,计算机网络所使用的是三类线和五类线,其中 10BASE-T 使用的是三类线,100BASE-T 使用的是五类线。

5.3.2 光纤

光纤(Optical Fiber)是光导纤维的简写,是一种利用光在玻璃或塑料制成的纤维中的



图 5-16 光纤示意图

全反射原理而制成的光传导工具。微细的光纤封装在塑料护套中,使得它能够弯曲而不至于断裂。光纤示意图如图 5-16 所示。在多模光纤中,纤芯的直径是 15~50 μm ,大致与人的头发的粗细相当。多模光纤跳纤用橙色表示,也有的用灰色表示,接头和保护套的颜色用米色或者黑色,传输距离较短。而单模光纤纤芯的直径为 8~10 μm ,单模光纤跳纤用黄色表示,接头和保护套的颜色为蓝色,传输距离较长。

1. 光纤结构

纤芯外面包围着一层折射率比纤芯低的玻璃封套(包层),以使光线保持在芯内。玻璃封套外面是一层薄的塑料外套,用来保护封套,如图 5-17 所示。光纤通常被扎成束,外面有外壳保护。纤芯通常是由石英玻璃制成的横截面积很小的双层同心圆柱体,它质地脆,易断

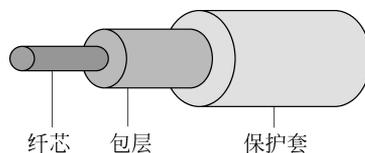


图 5-17 光纤结构示意图

裂,因此需要外加一保护层。光纤外层的保护结构可防止周围环境对光纤的伤害,如水、火、电击等。多数光纤在使用前必须由几层保护结构包覆,包覆后的缆线即被称为光缆。

2. 光纤通信

光纤通信是以光作为信息载体,以光纤作为传输媒介的通信方式。一对金属电话线至多只能同时传送一千多路电话,而根据理论计算,一对细如蛛丝的光导纤维可以同时通一亿路电话。铺设 1000km 的同轴电缆大约需要 500t 铜,改用光纤则仅需几千克石英。

光纤通信系统主要由三部分组成:光信号发送器、传送光信号的光纤和光信号接收器。发送器的核心是一个光源,其主要功能就是将一个信息信号从电子格式转换为光格式。可采用发光二极管(LED)或激光二极管(LD)作为光源。光纤通信系统中的传输介质是光纤。接收器关键设备是光检测器,其主要功能就是把光信息信号转换回电信号(光电流)。当今光纤通信系统中的光检测器是个半导体光电二极管(PD)。

光纤与包层的折射率决定了光的折射角度,当光纤内光束的入射角大于特定的临界值时,光束就会全部被反射回到光纤中,使得光束被限制在光纤内传输。图 5-18 指出了多模光纤内的光传输方式(图中折线)。单模光纤的直径小于光的波长,因此,单模光纤内光束以直线方式传播。

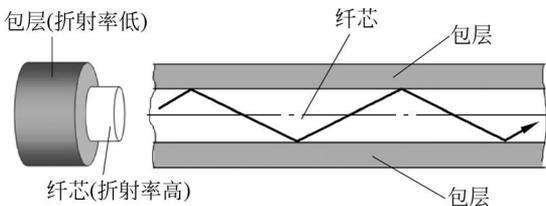


图 5-18 光纤传输示意图

在日常生活中,由于光在光导纤维的传导损耗比电在电线传导的损耗低得多,因此光纤常被用作长距离的信息传递。

3. 光纤通信的特点

(1) 频带宽。频带的宽窄代表传输容量的大小。载波的频率越高,可以传输信号的频带宽度就越大。在 VHF 频段,载波频率为 48.5~300MHz,带宽约 250MHz,只能传输 27 套电视和几十套调频广播。可见光的频率达 100 000GHz,比 VHF 频段高出一百多万倍。尽管由于光纤对不同频率的光有不同的损耗,使频带宽度受到影响,但在最低损耗区的频带宽度也可达 30 000GHz。目前单个光源的带宽只占了其中很小的一部分(多模光纤的频带为几百 MHz,好的单模光纤可达 10GHz 以上),采用先进的相干光通信可以在 30 000GHz 范围内安排 2000 个光载波进行波分复用,可以容纳上百万个频道。

(2) 损耗低。在同轴电缆组成的系统中,最好的电缆在传输 800MHz 信号时,每千米的损耗都在 40dB 以上。相比之下,光导纤维的损耗则要小得多。传输 $1.31\mu\text{m}$ 的光,每千米损耗在 0.35dB 以下;若传输 $1.55\mu\text{m}$ 的光,每千米损耗更小,可降至 0.2dB 以下。此外,光纤传输损耗还有两个特点:一是在全部有线电视频道内具有相同的损耗,不需要像电缆干线那样必须引入均衡器进行均衡;二是其损耗几乎不随温度而变,不用担心因环境温度变

化而造成干线电平的波动。

(3) 重量轻。因为光纤非常细,单模光纤芯线直径一般为 $8\sim 10\mu\text{m}$,加上防水层、加强筋、护套等,用 $4\sim 48$ 根光纤组成的光缆直径还不到 13mm ,比标准同轴电缆的直径 47mm 要小得多,加上光纤是玻璃纤维,密度小,使它具有直径小、重量轻的特点,安装十分方便。

(4) 抗干扰能力强。因为光纤的基本成分是石英,只传光,不导电,在其中传输的光信号不受电磁场的影响,故光纤传输对电磁干扰、工业干扰有很强的抵御能力。也正因为如此,在光纤中传输的信号不易被窃听,因而利于保密。

(5) 保真度高。因为光纤传输一般不需要中继放大,不会因为放大引入新的非线性失真,所以只要激光器的线性好,就可高保真地传输信号。实际测试表明,好的调幅光纤系统的载波组合三次差拍比 C/CTB 在 70dB 以上,交调指标也在 60dB 以上,远高于一般电缆干线系统的非线性失真指标。

(6) 工作性能可靠。一个系统的可靠性与组成该系统的设备数量有关。设备越多,发生故障的机会越大。因为光纤系统包含的设备数量少(不像电缆系统那样需要几十个放大器),可靠性自然也就高,加上光纤设备的寿命都很长,无故障工作时间达 $50\text{万}\sim 75\text{万 h}$,其中寿命最短的光发射机中的激光器,最低寿命也在 10万 h 以上。故一个设计良好、正确安装调试的光纤系统是非常可靠的。

(7) 成本不断下降。有人提出了新摩尔定律,也叫作光学定律(Optical Law)。该定律指出,光纤传输信息的带宽,每 6 个月增加 1 倍,而价格降低至原来的二分之一。光通信技术的发展为 Internet 宽带技术的发展奠定了非常好的基础,为大型有线电视系统采用光纤传输方式扫清了最后一个障碍。由于制作光纤的材料(石英)来源十分丰富,随着技术的进步,成本还会进一步降低;而电缆所需的铜原料有限,价格会越来越高。显然,光纤传输已经占绝对优势,成为全国有线电视网的最主要的传输手段。

4. 光纤局域网

众所周知,局域网的拓扑结构主要有星形拓扑、环形拓扑、总线型拓扑以及混合型拓扑。光纤局域网也是局域网的一种,所以其拓扑结构大致也可分为这几种。利用光纤组建局域网,常见的有两种结构,分别如图 5-19 的总线型光纤局域网和图 5-20 的环形光纤局域网所示。

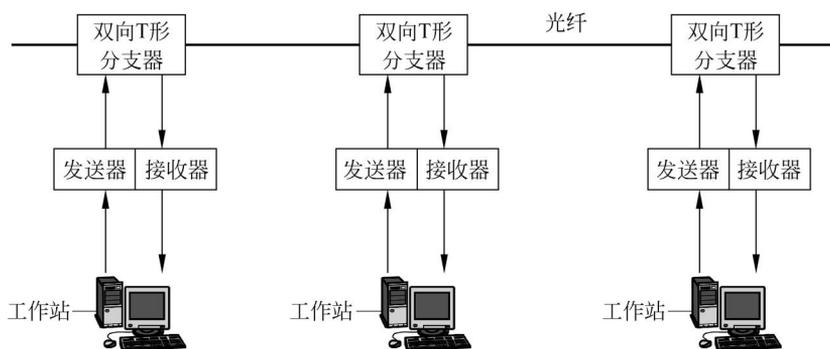


图 5-19 总线型光纤局域网

1) 总线型光纤局域网

光纤总线型拓扑有两种不同的结构,它们的区别在于采用的是有源抽头还是无源抽头。

对于有源抽头结构,从总线传来的光信号能量输入抽头,抽头将信号转换成电信号,然后送至站点。从站点输出的信号再调制成光信号,最后将光信号再送至总线上。对于无源抽头结构,抽头将总线上传送来的光能量抽取一部分到接收站点。发送时,站点直接将能量注入总线。这里,抽头的作用类似于电线总缆的中间抽头,即图中的双向 T 形分支器。对于有源总线配置,需两根光缆,每个抽头由两个有源耦合器组成,这是由设备的单方向性决定的;对于无源总线配置,每个抽头需要两次接到总线,其原因也是由无源抽头的单方向性决定的,同样也需要两根光缆。每个抽头由两个发送器和两个接收器组成,因此,信号能从两根单方向的电缆中插入和抽出。

有源光纤总线的缺点是线路复杂,接口的费用开销大,每个抽头要引入延迟;无源光纤总线的主要缺点是抽头的损耗大,这就限制了抽头数目。目前,低损耗的抽头一般可以支持 80 个抽头接入光纤线路。

2) 环形光纤局域网

环形光纤局域网的结构采用点到点的链路组成,而点到点的光纤传输技术最为成熟,所以环形光纤局域网的结构最普遍。在这种结构中,光纤的延迟小,易于配置很多站点的环形光纤局域网和高速环形光纤局域网。但是,高速环形光纤局域网的价格很贵,只能应用于有限的场合。IBM 公司开发了一种速度较低,但价格也相当便宜的环形光纤局域网,它采用 850nm 波长,以及价格低廉的 LED 发送器和 PIN 检测器,数据传输速率可达到 20Mb/s,最大的链路距离可达 1.5~2km,可以支持 250 个站点。

环形光纤局域网一般都采用双环结构,如图 5-20 所示,目的是提高可靠性,防止因一根光纤损坏造成网络瘫痪的情况出现。各相邻点都是点对点传输,传输损失比广播总线小得多,网的地域直径也比总线型光纤局域网的大。因此,光纤局域网通常采用环形结构。

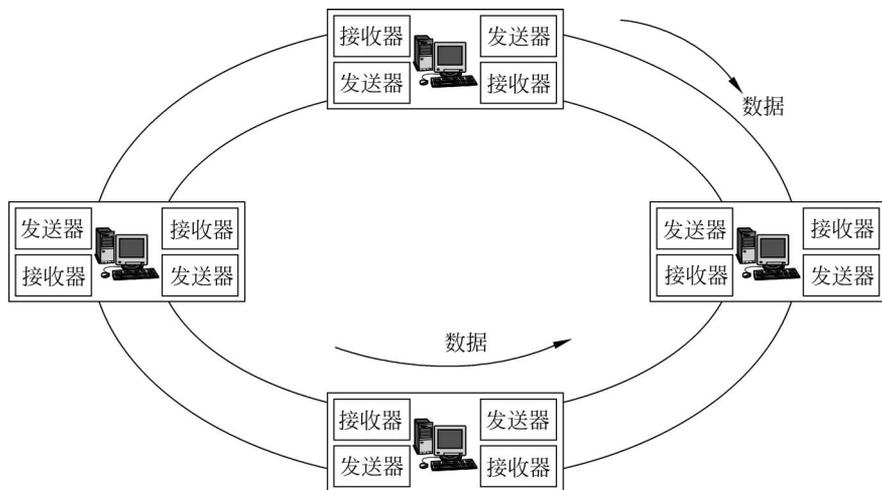


图 5-20 环形光纤局域网

3) 混合型光纤局域网

环形无源光纤总线拓扑结构是一种混合型光纤局域网,它将总线的两端连在一起,信号的传输如同双电缆总线结构,一边是信号输入,另一边是信号输出。这种结构的优点是可以省掉一半数量的发送器和接收器,从而降低成本。

5.3.3 以太网

以太网(Ethernet)是指由施乐公司(Xerox)创建并由 Xerox、Intel 和 DEC 公司联合开发的基带局域网规范,是当今局域网采用的最通用的通信协议标准。以太网络使用 CSMA/CD 技术,包括标准的以太网(10Mb/s)、快速以太网(100Mb/s)和 10G(10Gb/s)以太网,符合 IEEE 802.3 系列标准。

1. 以太网分类

(1) 标准以太网。这种以太网只有 10Mb/s 的吞吐量,使用的是带有冲突检测的载波监听多路访问(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection,CSMA/CD)的访问控制方法,这种早期的 10Mb/s 以太网称为标准以太网,可以使用粗同轴电缆、细同轴电缆、非屏蔽双绞线、屏蔽双绞线和光纤等多种传输介质进行连接。

IEEE 802.3 标准中,为不同的传输介质制定了不同的物理层标准。在这些标准中前面的数字表示传输速率,单位是 Mb/s,最后的一个数字表示单段网线长度(基准单位是 100m),Base 表示“基带”的意思,Broad 代表“宽带”。

10Base-5 使用直径为 0.4 英寸、阻抗为 50Ω 的粗同轴电缆,也称粗缆以太网,最大网段长度为 500m,基带传输方法,拓扑结构为总线型。10Base-5 组网主要硬件设备有粗同轴电缆、带有 AUI 插口的以太网卡、中继器、收发器、收发器电缆、终结器等。

10Base-2 使用直径为 0.2 英寸、阻抗为 50Ω 的细同轴电缆,也称细缆以太网,最大网段长度为 185m,基带传输方法,拓扑结构为总线型。10Base-2 组网主要硬件设备有细同轴电缆、带有 BNC 插口的以太网卡、中继器、T 形连接器、终结器等。

10Base-T 使用双绞线电缆,最大网段长度为 100m,拓扑结构为星形。10Base-T 组网主要硬件设备有 3 类或 5 类非屏蔽双绞线、带有 RJ-45 插口的以太网卡、集线器、交换机、RJ-45 插头等。

1Base-5 使用双绞线电缆,最大网段长度为 500m,传输速率为 1Mb/s。

10Broad-36 使用同轴电缆(RG-59/U CATV),网络的最大跨度为 3600m,网段长度最大为 1800m,是一种宽带传输方式。

10Base-F 使用光纤传输介质,传输速率为 10Mb/s。

(2) 快速以太网。随着网络的发展,传统的标准以太网技术已难以满足日益增长的网络数据流量速度的需求。在 1993 年 10 月以前,对于要求 10Mb/s 以上数据流量的 LAN 应用,只有光纤分布式数据接口(FDDI)可供选择,但它是一种价格非常昂贵、基于 100Mb/s 光缆的 LAN。1993 年 10 月,Grand Junction 公司推出了世界上第一台快速以太网集线器 Fastch10/100 和网络接口卡 FastNIC100,快速以太网技术正式得以应用。随后 Intel、SynOptics、3COM、BayNetworks 等公司亦相继推出自己的快速以太网装置。与此同时,IEEE 802 工程组也对 100Mb/s 以太网的各种标准,如 100BASE-TX、100BASE-T4、MII、中继器、全双工等标准进行了研究。1995 年 3 月 IEEE 宣布了 IEEE 802.3u 100BASE-T 快速以太网标准(Fast Ethernet),从而进入了快速以太网的时代。

快速以太网与原来在 100Mb/s 带宽下工作的 FDDI 相比具有许多的优点,主要体现在快速以太网技术可以有效地保障用户在布线基础设施上的投资,它支持三、四、五类双绞线

以及光纤的连接,能有效地利用现有的设施。快速以太网的不足其实也是以太网技术的不足,那就是快速以太网仍是基于 CSMA/CD 技术,当网络负载较重时,会造成效率的降低,当然这可以使用交换技术来弥补。100Mb/s 快速以太网标准又分为 100BASE-TX、100BASE-FX、100BASE-T4 三个子类。

- ▶ 100BASE-TX: 是一种使用五类数据级无屏蔽双绞线或屏蔽双绞线的快速以太网技术。它使用两对双绞线,一对用于发送数据,另一对用于接收数据。在传输中使用 4B/5B 编码方式,信号频率为 125MHz。符合 EIA586 的五类布线标准和 IBM 的 SPT 一类布线标准。使用与 10BASE-T 相同的 RJ-45 连接器。它的最大网段长度为 100m,支持全双工的数据传输。
- ▶ 100BASE-FX: 是一种使用光缆的快速以太网技术,可使用单模和多模光纤(62.5 μm 和 125 μm)。多模光纤连接的最大距离为 550m,单模光纤连接的最大距离为 3000m。在传输中使用 4B/5B 编码方式,信号频率为 125MHz。它使用 MIC/FDDI 连接器、ST 连接器或 SC 连接器。它的最大网段长度为 150m、412m、2km 或更长至 10km,这与所使用的光纤类型和工作模式有关。它支持全双工的数据传输。100BASE-FX 特别适合于有电气干扰的环境、较大连接距离或高保密环境等情况下的应用。
- ▶ 100BASE-T4: 是一种可使用三、四、五类无屏蔽双绞线或屏蔽双绞线的快速以太网技术。100Base-T4 使用 4 对双绞线,其中的 3 对用于在 33MHz 的频率上传输数据,每一对均工作于半双工模式。第 4 对用于 CSMA/CD 冲突检测。在传输中使用 8B/6T 编码方式,信号频率为 25MHz,符合 EIA586 结构化布线标准。它使用与 10BASE-T 相同的 RJ-45 连接器,最大网段长度为 100m。

(3) 千兆以太网。千兆以太网(Gigabit Ethernet)技术作为最新的高速以太网技术,带来了提高核心网络性能的有效解决方案,这种解决方案的最大优点是继承了传统以太网技术价格便宜的优点。千兆技术仍然是以太网技术,它采用了与 10M 标准以太网相同的帧格式、帧结构、网络协议、全/半双工工作方式、流控模式以及布线系统。由于该技术不改变传统以太网的桌面应用、操作系统,因此可与 10M 标准或 100M 标准以太网很好地配合工作。升级到千兆以太网不必改变网络应用程序、网管部件和网络操作系统,能够最大限度地保护投资。此外,IEEE 标准将支持最大距离为 550m 的多模光纤、最大距离为 70km 的单模光纤和最大距离为 100m 的同轴电缆。千兆以太网填补了 IEEE 802.3 标准以太网/快速以太网标准的不足。

千兆以太网支持的网络类型有如下几种。

- ▶ 1000Base-CX Copper STP 25m: 使用 150 Ω 屏蔽双绞线(STP),传输距离为 25m,最长有效距离为 25m,使用 9 芯 D 型连接器连接电缆。
- ▶ 1000Base-T Copper Cat 5 UTP 100m: 是一种使用五类 UTP 作为网络传输介质的千兆以太网技术,最长有效距离与 100BASE-TX 一样可以达到 100m。用户可以采用这种技术在原有的快速以太网系统中实现从 100Mb/s 到 1000Mb/s 的平滑升级。
- ▶ 1000Base-SX Multi-mode Fiber 500m: 是一种使用短波激光作为信号源的网络介质技术,收发器上所配置的波长为 770~860nm(一般为 800nm)的激光传输器不支持单模光纤,只能驱动多模光纤。可以采用直径为 62.5 μm 或 50 μm 的多模光纤,传输

距离为 220~550m。

► 1000Base-LX Single-mode Fiber 3000m: 可以支持直径为 $9\mu\text{m}$ 或 $10\mu\text{m}$ 的单模光纤,工作波长范围为 1270~1355nm,传输距离为 5km 左右。

千兆以太网技术有两个标准: IEEE 802.3z 和 IEEE 802.3ab。IEEE 802.3z 制定了光纤和短程铜线连接方案的标准。IEEE 802.3ab 制定了五类双绞线上较长距离连接方案的标准。

IEEE 802.3z。IEEE 802.3z 工作组负责制定光纤(单模或多模)和同轴电缆的全双工链路标准。IEEE 802.3z 定义了基于光纤和短距离铜缆的 1000Base-X,采用 8B/10B 编码技术,信道传输速率为 1.25Gb/s,去耦后可实现 1000Mb/s 传输速率。

IEEE 802.3ab。IEEE 802.3ab 工作组负责制定基于 UTP 的半双工链路的千兆以太网标准,产生 IEEE 802.3ab 标准及协议。IEEE 802.3ab 定义基于五类 UTP 的 1000Base-T 标准,其目的是在五类 UTP 上以 1000Mb/s 速率传输 100m。IEEE 802.3ab 标准的意义主要有两点: ①保护用户在五类 UTP 布线系统上的投资; ②1000Base-T 是 100Base-T 自然扩展,与 10Base-T、100Base-T 完全兼容。不过,在五类 UTP 上达到 1000Mb/s 的传输速率需要解决五类 UTP 的串扰和衰减问题,因此,IEEE 802.3ab 工作组的开发任务要比 IEEE 802.3z 复杂些。

(4) 万兆以太网。万兆以太网规范包含在 IEEE 802.3 标准的补充标准 IEEE 802.3ae 中,它扩展了 IEEE 802.3 协议和 MAC 规范,使其支持 10Gb/s 的传输速率。除此之外,通过 WAN 界面子层(WAN Interface Sublayer, WIS),万兆以太网也能被调整为较低的传输速率,如 9.584 640Gb/s(OC-192),这就允许万兆以太网设备与同步光纤网络(SONET)STS-192c 传输格式相兼容。

10GBASE-SR 和 10GBASE-SW 主要支持短波(850nm)多模光纤(MMF),光纤距离为 2m~300m。10GBASE-SR 主要支持暗光纤(Dark Fiber)。暗光纤是指没有光传播并且不与任何设备连接的光纤。10GBASE-SW 主要用于连接 SONET 设备,应用于远程数据通信。

10GBASE-LR 和 10GBASE-LW 主要支持长波(1310nm)单模光纤(SMF),光纤距离为 2m~10km(约 32 808 英尺)。10GBASE-LW 主要用来连接 SONET 设备,10GBASE-LR 则用来支持暗光纤。

10GBASE-ER 和 10GBASE-EW 主要支持超长波(1550nm)单模光纤(SMF),光纤距离为 2m~40km(约 131 233 英尺)。10GBASE-EW 主要用来连接 SONET 设备,10GBASE-ER 则用来支持暗光纤。

10GBASE-LX4 采用波分复用技术,在单对光缆上以 4 倍光波长发送信号。系统运行在 1310nm 的多模或单模暗光纤方式下。该系统的设计目标是针对 2~300m 的多模光纤模式或 2m~10km 的单模光纤模式。

2. 以太网拓扑

以太网常见的拓扑结构有总线型拓扑结构和星形拓扑结构两种。

(1) 总线型拓扑结构。总线型拓扑结构如图 5-21 所示,所需的电缆较少,价格便宜,但是管理成本高,不易隔离故障点,同时共享访问机制易造成网络拥塞。早期以太网多使用总

线型的拓扑结构,采用同轴缆以及光纤作为传输介质,连接简单,通常在小规模的网络中不需要专用的网络设备。但由于它存在的固有缺陷,已经逐渐被以集线器和交换机为核心的星形网络或者环形光纤网所代替。

(2) 星形拓扑结构。星形拓扑结构管理方便,容易扩展,但需要专用的网络设备作为网络的核心节点和更多的网线,对核心设备的可靠性要求高。采用专用的网络设备(如集线器或交换机)作为核心节点,通过双绞线或光纤将局域网中的各台主机连接到核心节点上,这就形成了星形拓扑结构,如图 5-22 所示。星形网络虽然需要的线缆比总线型的多,但布线 and 连接器比总线型的要便宜。此外,星形拓扑可以通过级联的方式很方便地将网络扩展到很大的规模,因此得到了广泛的应用,被绝大部分的以太网所采用。

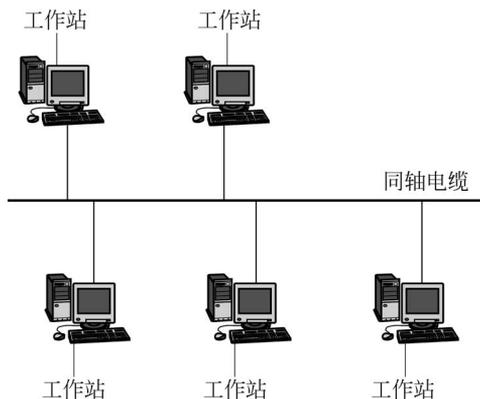


图 5-21 总线型拓扑结构

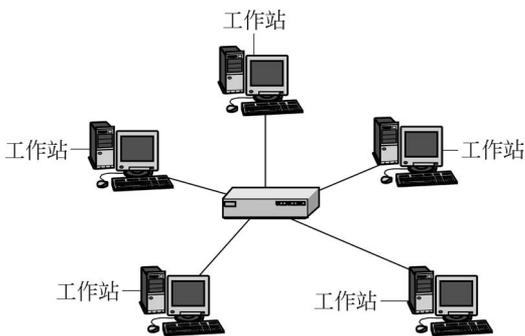


图 5-22 星形拓扑结构

5.4 Internet 技术

Internet 原意为网间网,指不同类型、不同大小的网络互联而成的网络。此处,特指 Internet,即国际互联网,是一个全球性计算机网络。通过电话线(同轴电缆)、光纤、卫星、微波等通信技术与媒介,把全世界不同国家的大学、科研部门、军事机构、政府部门、社会团体和企业组织的网络,按照一定的网络协议相互连接起来,就构成了一个巨大的计算机互联网,称为 Internet。Internet 采用 TCP/IP 网络协议栈。传输控制协议 TCP 保证数据传输的正确性,网络互联协议 IP 负责数据按地址传输。

Internet 是物联网实施通信、数据共享、决策发布的骨干网络。本节主要介绍互联网的通信协议、网络接入技术以及常用的路由方式。

5.4.1 Internet 通信协议

1. TCP/IP 协议栈

TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)即传输控制协议/Internet 互联协议,又叫网络通信协议。TCP/IP 是 Internet 最基本的协议,定义了电子设备(如计算机)接入 Internet 以及数据在电子设备间传输的标准。

(1) TCP/IP 协议栈结构。TCP/IP 是一个四层的分层体系结构,如图 5-23 所示。

各层的功能如下。

- ▶ 网络接口层。通常包括操作系统中的设备驱动程序和计算机中对应的网络接口卡,用来处理与电缆(或其他任何传输媒介)的物理接口细节。常见的接口层协议有 Ethernet 802.3、Token Ring 802.5、X.25、Frame Relay、HDLC、PPP、ATM 等。
- ▶ 网络层。也称作互联网层,处理分组在网络中的活动,主要功能为①处理来自传输层的分组发送请求,收到请求后,将分组装入 IP 数据报,填充报头,选择去往目标机的路径,然后将数据报发往适当的网络接口。②处理输入数据报,先检查其合法性,然后进行寻径。假如该数据报已到达目标机,则去掉报头,将剩下部分交给适当的传输协议;假如该数据报尚未到达目标机,则转发该数据报。③处理路径、流控、拥塞等问题。



图 5-23 TCP/IP 协议栈结构

网络层协议包括 IP(网际协议)、ICMP(Internet 互联网控制报文协议)、IGMP(Internet 组管理协议)、地址解析(Address Resolution Protocol, ARP)、反向地址解析(Reverse ARP, RARP)。其中,IP 是网络层的核心,通过路由选择将下一跳 IP 封装后交给接口层。ICMP 是网络层的补充,可以回送报文,用来检测网络是否通畅。ARP 是正向地址解析协议,通过已知的 IP 寻找对应主机的 MAC 地址。RARP 是反向地址解析协议,通过 MAC 地址确定 IP 地址。

- ▶ 传输层。主要为两台主机上的应用程序提供端到端的通信。它包含 TCP(传输控制协议)和 UDP(用户数据报协议)。TCP 为两台主机提供高可靠性的数据通信,包括把应用程序交给它的数据分成合适的小块交给下面的网络层,确认接收到的分组,设置发送最后确认分组的超时时钟等。由于传输层提供了高可靠性的端到端的通信,因此应用层可以忽略所有这些细节。UDP 则只是把称作数据报的分组从一台主机发送到另一台主机,但并不保证该数据报能到达另一端。任何必需的可靠性必须由应用层来提供。
- ▶ 应用层。应用层一般是面向用户的服务,如 FTP、Telnet、DNS、SMTP、POP3 等。FTP(File Transmission Protocol)是文件传输协议。一般上传、下载用 FTP 服务,数据端口是 20,控制端口是 21;Telnet 服务是用户远程登录服务,使用 23 端口,因为使用明码传送,保密性差但简单、方便;DNS(Domain Name Service)是域名解析服务,提供域名到 IP 地址之间的转换;SMTP(Simple Mail Transfer Protocol)是简单邮件传输协议,用来控制信件的发送、中转;POP3(Post Office Protocol 3)是邮局协议第 3 版本,用于接收邮件。

(2) 域名系统(DNS)。互联网上的每个节点都必须有一个唯一的 Internet 地址(也称作 IP 地址),作为其标识。通过 IP 地址可实现对某个节点的通信。IP 地址不易记,因此,通常用字母组合代替,称其为域名。域名系统不能直接作为节点的访问标识,因此,DNS 用来实现域名和 IP 之间的转换。它是一个分布的数据库,提供 IP 地址和主机名之间的映射信息。例如访问某个 Web 服务器时,直接给出服务器对应的域名 www.xjtu.edu.cn,DNS 会自动将该域名转换为对应的 IP 地址 202.117.1.13。

(3) TCP/IP 协议应用展示。假设某个以太网内的主机想访问位于另一个以太网内的 Web 服务器,客户机与服务器上必须要配置有 HTTP 协议、TCP 协议、IP 协议、以太网协议,才能实现两机器间的通信,如图 5-24 所示。

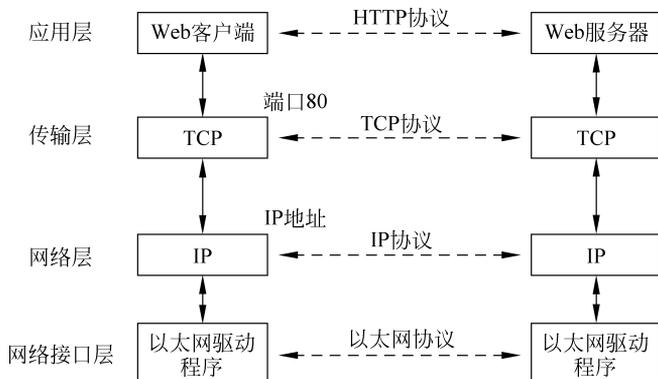


图 5-24 TCP/IP 协议应用展示

(4) 数据封装。当应用程序使用 TCP/IP 传送数据时,数据被送入协议栈中,然后逐个通过每一层直到被当作一串比特流送入网络。其中每一层对收到的数据都要增加一些首部信息(有时还要增加尾部信息),该过程如图 5-25 所示。TCP 传给 IP 的数据单元称作 TCP 报文段,IP 传给网络接口层的数据单元称作 IP 数据报(IP Datagram),通过以太网传输的比特流称作帧(Frame)。

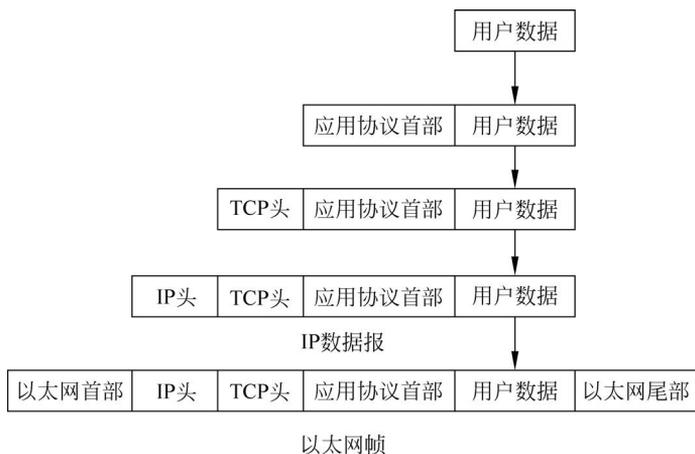


图 5-25 数据封装过程

2. IP 网际协议

IP 协议是 TCP/IP 协议族中最为核心的协议,所有的 TCP、UDP、ICMP 及 IGMP 数据都以 IP 数据报格式传输。IP 协议采用的是无连接、不可靠数据传输。

不可靠指不能保证 IP 数据报能成功地到达目的地。当发生某种错误时,如某个路由器暂时用完了缓冲区,IP 协议丢弃该数据报,然后发送 ICMP 消息报给源机器。可靠性需求必须由上层来提供(如 TCP)。

无连接指 IP 不维护任何关于后续数据报的状态信息,每个数据报的处理是相互独立

的。即 IP 数据报可以不按发送顺序接收。如果一源机器向相同的目标机发送两个连续的数据报(先是 A, 然后是 B), 每个数据报都是独立地进行路由选择, 可能选择不同的路线, 因此 B 可能在 A 到达之前先到达。

(1) IP 首部。IP 数据报首部的格式如图 5-26 所示。普通的 IP 首部长为 20 字节, 除非含有特殊的选项字段。



图 5-26 IP 数据报首部的格式

IP 首部中最高位在左边, 记为 0bit; 最低位在右边, 记为 31bit。4 字节的 32bit 值以下的次序传输: 首先是 0~7bit, 其次 8~15bit, 然后 16~23bit, 最后是 24~31bit。这种传输次序称作 Big Endian 字节序。由于 TCP/IP 首部中所有的二进制整数在网络中传输时都要求这种次序, 因此它又称作网络字节序。以其他形式存储(如 Little Endian 格式)二进制整数的机器, 则必须在传输数据之前把首部转换成网络字节序。

目前的协议版本号是 4, 因此 IP 有时也称作 IPv4。首部长度是指首部占 32bit 的数目, 包括任何选项, 由于它是一个 4bit 字段, 最大值为二进制 1111B(即十进制的 15), 因此首部最长为 60 字节。普通 IP 数据报(没有任何选择项)字段的值是 5。服务类型(TOS)字段包括一个 3bit 的优先级子字段(现在已被忽略)、4bit 的 TOS 子字段和 1bit 未用位(必须置 0)。4bit 的 TOS 分别代表: 最小时延、最大吞吐量、最高可靠性和最小费用。4bit 中只能置其中的 1bit。如果所有 4bit 均为 0, 那么就意味着是一般服务。

IP 首部定义如下:

```
typedef struct _iphdr          //定义 IP 首部
{
    unsigned char h_lenver;    // 4 位首部长度 + 4 位 IP 版本号
    unsigned char tos;        // 8 位服务类型 TOS
    unsigned short total_len;  // 16 位总长度(字节)
    unsigned short ident;     // 16 位标志
    unsigned short frag_and_flags; // 3 位标志
    unsigned char ttl;        // 8 位生存时间 TTL
    unsigned char proto;      // 8 位协议(TCP、UDP 或其他)
    unsigned short checksum;   // 16 位 IP 首部校验和
    unsigned int sourceIP;     // 32 位源 IP 地址
}
```

```
unsigned int destIP;           // 32 位目的 IP 地址
} IP_HEADER, * PIP_HEADER;
```

总长度字段是指整个 IP 数据报的长度,以字节为单位。利用首部长度和总长度字段就可以知道 IP 数据报中数据内容的起始位置和长度。由于该字段长 16 bit,所以 IP 数据报最长可达 65 535 字节。当数据报被分片时,该字段的值也随着变化。尽管可以传送一个长达 65 535 字节的 IP 数据报,但是大多数的链路层都会对它进行分片。此外,主机也要求不能接收超过 576 字节的数据报。

标识字段唯一地标识主机发送的每一份数据报。通常每发送一份报文它的值就会加 1,同时设置标识字段和偏移量。

TTL(Time-To-Live)生存时间字段设置了数据报可以经过的最多路由器数,它指定了数据报的生存时间。TTL 的初始值由源主机设置(通常为 32 或 64),一旦经过一个处理它的路由器,它的值就减去 1。当该字段的值为 0 时,数据报就被丢弃,并发送 ICMP 报文通知源主机。

协议字段用来指示调用 IP 的上层协议。首部检验和字段是根据 IP 首部计算的检验和码。它不对首部后面的数据进行计算。每一份 IP 数据报都包含源 IP 地址和目的 IP 地址,都是 32bit 的值。最后一个字段是任选项,是数据报中的一个可变长的可选信息。

(2) IP 地址。IP 地址长为 32bit,具有一定的结构,被分成五类,如图 5-27 所示。

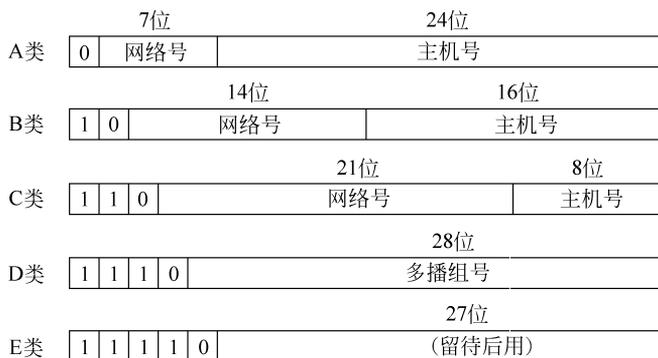


图 5-27 IP 地址格式

32 位的二进制地址通常写成 4 个十进制的数,其中每个整数对应 1 字节。这种表示方法称作点分十进制表示法(Dotted Decimal Notation)。A 类地址为 0.0.0.0~127.255.255.255,B 类地址为 128.0.0.0~191.255.255.255,C 类地址为 192.0.0.0~223.255.255.255,D 类地址为 224.0.0.0~239.255.255.255,E 类地址为 240.0.0.0~247.255.255.255。例如,某大学主机服务器地址是 202.196.96.199,为 C 类地址。区分各类地址的方法是看它的第一个十进制整数。

(3) IP 路由。如果目的主机与源主机直接相连(如点对点链路)或都在一个共享网络上(以太网或令牌环网),那么 IP 数据报就直接送到目的主机上;否则,主机把数据报发往一个默认的路由器上,由路由器来转发该数据报。

主机和路由器的区别是:主机从不把数据报从一个接口转发到另一个接口,而路由器则要转发数据报。

一般情况下,IP 从 TCP、UDP 等上层协议接收数据报,重组为 IP 包并进行发送,或者

从一个网络接口接收数据报(待转发的数据报)并进行发送。IP 层在内存中有一个路由表,当收到一份数据报并进行发送时,它都要对该表搜索一次。当数据报来自某个网络接口时,IP 首先检查目的 IP 地址是否为本机的 IP 地址之一或者 IP 广播地址。如果是,则数据报就被送到由 IP 首部协议字段所指定的协议模块进行处理;如果数据报的目的不是这些地址,而且 IP 层被设置为路由器功能,就对数据报进行转发,否则数据报被丢弃。

IP 路由表中的每一项都包含的信息为①目的 IP 地址。它既可以是一个完整的主机地址,也可以是一个网络地址,由该表目中的标识字段来指定。②下一跳路由器的 IP 地址,或者有直接连接的网络 IP 地址。下一跳路由器是指一个在直接相联网络上的路由器,通过它可以转发数据报。下一跳路由器不是最终的目的地,但是它可以把传送给它的数据报转发到最终目的地。③标识。其中一个标识指明目的 IP 地址是网络地址还是主机地址,另一个标识指明下一跳路由器是真正的下一跳路由器,还是一个直接相连的接口。④为数据报的传输指定一个网络接口。

IP 路由选择是逐跳地进行的,IP 并不知道到达任何目的地的完整路径,所有的 IP 路由选择只为数据报传输提供下一跳路由器的 IP 地址。它假定下一站路由器比发送数据报的主机更接近目的,而且下一跳路由器与该主机是直接相连的。

IP 路由选择为搜索路由表,按以下顺序进行。

(1) 寻找能与目的 IP 地址完全匹配的表项(网络号和主机号都要匹配)。如果能找到,则把报文发送给该表项指定的下一跳路由器或直接连接的网络接口(取决于标识字段的值)。

(2) 寻找能与目的网络号相匹配的表项。如果找到,则把报文发送给该表项指定的下一跳路由器或直接连接的网络接口(取决于标识字段的值)。目的网络上的所有主机都可以通过这个表项来处置。

(3) 寻找标为“默认(default)”的表项。如果找到,则把报文发送给该表项指定的下一跳路由器。

如果上面这些步骤都没有成功,那么该数据报就不能被传送。如果不能传送的数据报来自本机,那么一般会向生成数据报的应用程序返回一个“主机不可达”或“网络不可达”的错误。

3. TCP 协议

TCP 提供一种面向连接的、可靠的字节流服务。面向连接意味着两个使用 TCP 的应用(通常是一个客户和一个服务器)在彼此交换数据之前必须先建立一个 TCP 连接。这一过程与打电话很相似:先拨号振铃,等待对方接电话建立连接后,再进行通话。

1) TCP 的连接服务

TCP 的连接服务操作如下。

(1) 应用数据在发送端首先被 TCP 分割成适合发送的数据块,称为报文段或段(segment)。

(2) 当发送端 TCP 送出一个报文段后,启动一个定时器,等待目的端确认收到这个报文。如果不能及时收到确认,将重发这个报文段。

(3) 当接收端 TCP 收到发自 TCP 连接另一端的数据时,将发送一个确认。

(4) 接收端 TCP 将进行首部检验和检验。这是一个端到端的检验和,目的是检测数据

在传输过程中的任何变化。如果收到段的检验和有差错，TCP 将丢弃这个报文段并且不确认收到此报文段(希望发端超时并重发)。

此外，当 TCP 报文段因 IP 数据报的失序而导致报文段到达失序时，TCP 将对收到的数据进行重新排序，将收到的数据以正确的顺序交给应用层。TCP 还能提供流量控制。

2) TCP 头

如图 5-28 所示，每个 TCP 头都包含源端和目的端的端口号，用于寻找发端和收端应用进程。这两个值加上 IP 首部中的源端 IP 地址和目的端 IP 地址可唯一确定一个 TCP 连接。序号用来标识从 TCP 发端向 TCP 收端发送的数据字节流，它表示在这个报文段中的第一个数据字节。如果将字节流看作在两个应用程序间的单向流动，则 TCP 用序号对每个字节进行计数。序号是 32bit 的无符号数，序号到达 $2^{32}-1$ 后又从 0 开始。

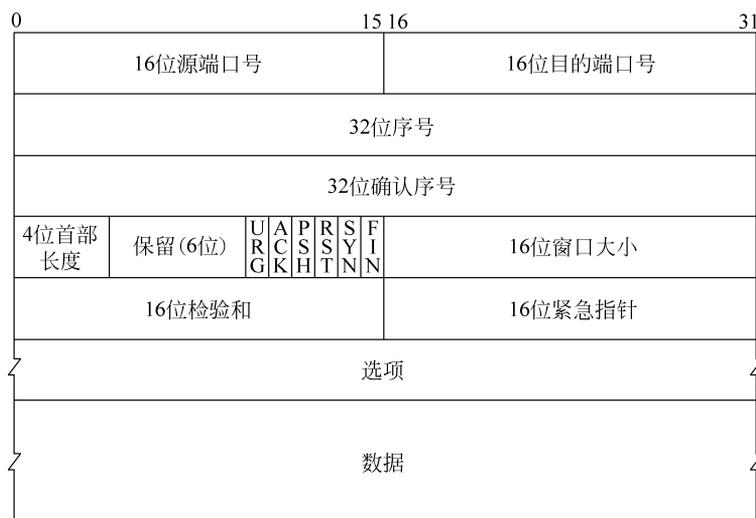


图 5-28 TCP 头格式

当建立一个新的连接时，SYN 标识设为 1。确认序号包含发送确认的一端所期望收到的下一个序号。因此，确认序号应当是上次已成功收到数据字节序号加 1。只有 ACK 标识为 1 时确认序号字段才有效。

4. UDP

UDP 是一个无连接的传输层协议，进程的每个输出操作都正好产生一个 UDP 数据报，并组装成一份待发送的 IP 数据报。它与面向流字符的 TCP 协议不同，应用程序产生的全体数据与真正发送的单个 IP 数据报可能没有什么联系。UDP 不提供可靠性，它把应用程序传给 IP 层的数据发送出去，但是并不保证它们能到达目的地。

UDP 头格式如图 5-29 所示。

端口号表示发送进程和接收进程。UDP 长度字段是指 UDP 首部和 UDP 数据的字节长度，UDP 的最小长度为 8 字节。

5. IPv6

IPv6 是 Internet 工程任务组(Internet Engineering Task Force, IETF)设计的用于替代



图 5-29 UDP 头格式

现行版本 IP(IPv4)的下一代 IP。

1) IPv6 的特点

(1) IPv6 地址长度为 128 位,与 32 位的 IPv4 相比,地址空间增加为 IPv4 地址的 2^{96} 倍,解决了原有 IPv4 中地址资源受限的问题。

(2) 灵活的 IP 报文头部格式。通过使用一系列固定格式的扩展头取代了 IPv4 中可变长度的选项字段。此外,IPv6 中选项部分的处理方式也有所变化,使路由器可以简单忽略选项而不做任何处理,加快了报文处理速度。

(3) IPv6 简化了报文头部格式,字段只有 8 个,加快了报文转发速度,提高了吞吐量。

(4) 提高了安全性。身份认证和隐私权是 IPv6 的关键特性。

(5) 支持更多的服务类型。

(6) IPv6 使用更小的路由表。IPv6 的地址分配一开始就遵循聚类(aggregation)的原则,使得路由器能在路由表中用一条记录(entry)表示一片子网,大大减小了路由器中路由表的长度,提高了路由器转发数据报的速度。

(7) IPv6 增加了对增强的多播(multicast)支持以及对流的支持(Flow Control),这使得网络上的多媒体应用有了长足发展的机会,为服务质量(Quality of Service, QoS)控制提供了良好的网络平台。

(8) IPv6 加入了对自动配置(Auto Configuration)的支持。这是对 DHCP 协议的改进和扩展,使得网络(尤其是局域网)的管理更加方便和快捷。

IPv6 报由 IPv6 报头(40 字节固定长度)、扩展报头和上层协议数据单元三部分组成。IPv6 报扩展报头中的分段报头指明了 IPv6 报的分段情况。其中不可分段部分包括 IPv6 报头、Hop-by-Hop 选项报头、目的地选项报头(适用于中转路由器)和路由报头;可分段部分包括认证报头、ESP 协议报头、目的地选项报头(适用于最终目的地)和上层协议数据单元。但是需要注意的是,在 IPv6 中,只有源节点才能对负载进行分段,并且 IPv6 超大报不能使用该项服务。

2) IPv6 头格式

IPv6 报头长度固定为 40 字节,去掉了 IPv4 中的一切可选项,只包括 8 个必要的字段,因此尽管 IPv6 地址长度为 IPv4 的 4 倍,IPv6 报头长度仅为 IPv4 报头长度的两倍。IPv6 头格式如图 5-30 所示。

其中的各个字段分别如下。

➤ 版本(Version): 4 位,IP 协议版本号,值为 6。

➤ 业务流类别(Traffic Class): 8 位,指示 IPv6 数据流通信类别或优先级。功能类似于

版本	业务流类别	流标签	
净荷长度		下一个报头	跳极限
源IP地址			
目的IP地址			
数据报的数据部分			
(净荷)			

图 5-30 IPv6 头格式

IPv4 的服务类型(TOS)字段。

- ▶ 流标签(Flow Label): 20 位, IPv6 的新增字段, 标记需要 IPv6 路由器特殊处理的数据流。该字段用于某些对连接的服务质量有特殊要求的通信, 诸如音频或视频等实时数据传输。在 IPv6 中, 同一信源和信宿之间可以有多种不同的数据流, 彼此之间以非“0”流标记区分。如果不要求路由器做特殊处理, 则该字段值置为“0”。
- ▶ 净荷长度(Payload Length): 16 位负载长度, 包括扩展头和上层 PDU, 16 位最多可表示 65 535 字节负载长度。超过这一字节数的负载, 该字段值置为“0”, 使用扩展头逐个跳段(Hop-by-Hop)选项中的巨量负载(Jumbo Payload)选项。
- ▶ 下一个头(Next Header): 8 位, 识别紧跟 IPv6 头后的报头类型, 如扩展头(有的话)或某个传输层协议头(诸如 TCP、UDP 或者 ICMPv6)。
- ▶ 跳极限(Hop Limit): 8 位, 类似于 IPv4 的 TTL(生命期)字段, 用包在路由器之间的转发次数来限定包的生命期。包每经过一次转发, 该字段减 1, 减到 0 时就把这个包丢弃。
- ▶ 源 IP 地址(Source Address): 128 位, 发送方主机地址。
- ▶ 目的 IP 地址(Destination Address): 128 位, 在大多数情况下, 目的地址即信宿地址。但如果存在路由扩展头的话, 目的地址可能是发送方路由表中的下一个路由器接口。

3) 扩展报头

IPv6 报头设计中对原 IPv4 报头所做的一项重要改进就是将所有可选字段移出 IPv6 报头, 置于扩展头中。由于除 Hop-by-Hop 选项扩展头外, 其他扩展头不受中转路由器检查或处理, 这样就能提高路由器处理 IPv6 分组的性能。

通常, 一个典型的 IPv6 报没有扩展头。仅当需要路由器或目的节点进行某些特殊处理时, 才由发送方添加一个或多个扩展头。与 IPv4 不同, IPv6 扩展头长度任意, 不受 40 字节限制, 以便于日后扩充新增选项, 这一特征加上选项的处理方式使得 IPv6 选项能得以真正利用。但是为了提高处理选项头和传输层协议的性能, 扩展头总是 8 字节长度的整数倍。目前, RFC 2460 中定义了以下 6 个 IPv6 扩展头: Hop-by-Hop(逐个跳段)选项报头、目的地选项报头、IPv6 报头结构路由报头、分段报头、认证报头和 ESP 协议报头。

4) IPv6 地址

IPv6 地址为 128 位长, 通常写为 8 组, 每组为 4 个十六进制数的形式。例如, 2001:0db8:85a3:08d3:1319:8a2e:0370:7344 是一个合法的 IPv6 地址。如果 4 个数字都是零, 可以简写为 0 或被省略。

例如:

2001:0db8:85a3:0000:1319:8a2e:0370:7344

等价于

2001:0db8:85a3::1319:8a2e:0370:7344

如果因为省略而出现了两个以上的冒号的话,可以压缩为两个连写的冒号(::),但这种零压缩在地址中只能出现一次。因此,2001:0DB8:0000:0000:0000:0000:1428:57ab、2001:0DB8:0000:0000:0000::1428:57ab、2001:0DB8:0:0:0:0:1428:57ab、2001:0DB8:0::0:0:1428:57ab、2001:0DB8::1428:57ab 都是合法的地址,并且它们是等价的。但 2001::25de::cade 是非法的。

5.4.2 Internet 接入技术

本节介绍 Internet 的常规接入方式以及网络互联设备。

1. Internet 接入方式

Internet 接入是通过特定的信息采集与共享的传输通道,完成用户与 Internet 的高带宽、高速度的物理连接。通常采用以下几种方式实现 Internet 接入。

(1) 电话线拨号。它是早期使用的窄带接入方式。它通过电话线,利用当地运营商提供的接入号码,拨号接入互联网,传输速率一般不超过 56kb/s。特点是使用方便,只需有效的电话线及自带 MODEM 的 PC 就可完成接入。主要用在一些低传输速率的网络应用(如网页浏览查询、聊天、Email 等),适合临时性接入或无其他宽带接入场所的使用。缺点是速率低,无法实现一些高速率要求的网络服务;其次是费用较高(接入费用由电话通信费和网络使用费组成)。

(2) ISDN。综合业务数字网(Integrated Service Digital Network, ISDN),俗称“一线通”。它采用数字传输和数字交换技术,将电话、传真、数据、图像等多种业务综合在一个统一的数字网络中进行传输和处理。用户利用一条 ISDN 用户线路,可以在上网的同时拨打电话、收发传真,就像两条电话线一样。ISDN 基本速率接口有两条 64kb/s 的信息通路和一条 16kb/s 的信令通路,简称 2B+D。当有电话拨入时,它会自动释放一个 B 信道来进行电话接听,主要适合于普通家庭用户使用。缺点是速率仍然较低,无法实现一些高速率要求的网络服务;其次是费用同样较高(接入费用由电话通信费和网络使用费组成)。

(3) xDSL 接入。xDSL 是各种类型数字用户线路(Digital Subscribe Line, DSL)的总称,包括 ADSL、RADSL、VDSL、SDSL、IDSL 和 HDSL 等。xDSL 中的 x 代表任意字符或字符串。根据采取调制方式的不同,获得的信号传输速率和距离以及上行信道和下行信道的对称性也不同。它是在现有的铜质电话线路上采用较高的频率及相应调制技术,利用在模拟线路中加入或获取更多的数字数据的信号处理技术来获得高传输速率。

ADSL 可直接利用现有的电话线路,通过 ADSL MODEM 进行数字信息传输,理论传输速率可达到下行 8Mb/s 和上行 1Mb/s,传输距离可达 4~5km。ADSL2+ 的传输速率可达下行 24Mb/s 和上行 1Mb/s。另外,最新的 VDSL2 技术可以达到上下行各 100Mb/s 的速率。其特点是速率稳定、带宽独享、语音数据不干扰等。适用于家庭、个人等用户的大多数网络应用,可满足一些宽带业务,包括 IPTV、视频点播(VOD)、远程教学、可视电话、多媒

体检索、LAN 互联、Internet 接入等。

(4) HFC。HFC(Hybrid Fiber-Coaxial)是一种基于有线电视网络同轴电缆的接入方式。HFC 通常由光纤干线、同轴电缆支线和用户配线网络三部分组成。从有线电视台出来的节目信号先变成光信号在干线上传输,到用户区域后把光信号转换成电信号,经分配器分配后通过同轴电缆送到用户。它与早期 CATV 同轴电缆网络的不同之处主要在于,在干线上用光纤传输光信号,在前端需完成电-光转换,进入用户区后要完成光-电转换。

HFC 的主要特点是:传输容量大,易实现双向传输,从理论上讲,一对光纤可同时传送 150 万路电话或 2000 套电视节目;频率特性好,在有线电视传输带宽内无须均衡;传输损耗小,可延长有线电视的传输距离,25km 内无须中继放大;光纤间不会有串音现象,不怕电磁干扰,能确保信号的传输质量。同传统的 CATV 网络相比,其网络拓扑结构也有些不同:第一,光纤干线采用星形或环状结构;第二,支线和配线网络的同轴电缆部分采用树状或总线结构;第三,整个网络按照光节点划分成一个服务区。这种网络结构可满足为用户提供多种业务服务的要求。随着数字通信技术的发展,特别是高速 HFC 宽带通信时代的到来,HFC 已成为现在和未来一段时期内宽带接入的最佳选择,因而 HFC 又被赋予新的含义,特指利用混合光纤同轴来进行双向宽带通信的 CATV 网络。

HFC 网络能够传输的带宽为 750~860MHz,少数达到 1GHz。根据原邮电部 1996 年的意见,其中 5~42/65MHz 频段为上行信号占用,50~550MHz 频段用来传输传统的模拟电视节目和立体声广播,650~750MHz 频段传送数字电视节目、VOD 等,750MHz 以后的频段留待以后技术发展用。

(5) 光纤宽带接入。通过光纤接入到小区节点或楼道,再由网线连接到各个共享点上(一般不超过 100m),提供一定区域的高速互联接入。其特点是传输速率高、抗干扰能力强,适用于家庭、个人或各类企事业单位,可以实现各类高速率的互联网应用(视频服务、高速数据传输、远程交互等),缺点是一次性布线成本较高。

(6) 无线网络接入。是一种有线接入的延伸技术,使用无线射频技术收发数据,减少使用电线进行的连接。因此无线网络系统既可达到建设计算机网络系统的目的,又可使设备自由安排和搬动。在公共开放的场所或者企业内部,无线网络一般会作为已存在有线网络的一个补充方式,可使装有无线网卡的计算机通过无线手段方便地接入互联网。

2. 网络互联设备

Internet 网络要由不同类型的网络实现互联,关键问题是实现网络的物理连接。网络互联设备负责实现网络间通信、协议转换等。按照不同的分类方式,它们可以包含中继器、集线器、网桥、交换机、路由器、网关等。

1) 网络物理层互联设备

(1) 中继器。中继器(repeater)是局域网互联最简单的设备,工作在物理层。它接收并识别网络信号,然后再生信号并将其发送到网络的其他分支上。要保证中继器能够正确工作,首先要保证每一个分支中的数据报和逻辑链路协议是相同的。例如,在 IEEE 802.3 以太局域网和 IEEE 802.5 令牌环局域网之间,中继器是无法使它们通信的。但是,中继器可以用来连接不同的物理介质,并在各种物理介质中传输数据报。某些多端口的中继器很像多端口的集线器,它可以连接不同类型的介质。

中继器是扩展网络的最廉价的方法。当扩展网络的目的是要突破距离和节点限制,并且连接的网络分支都不会产生太多的数据流量,成本又不能太高时,就可以考虑选择中继器。采用中继器连接网络分支的数目要受具体的网络体系结构限制。中继器没有隔离和过滤功能,一个分支出现故障可能影响到其他的每一个网络分支。

(2) 集线器。集线器是有多个端口的中继器,简称 Hub,是一种以星形拓扑结构将通信线路集中在一起的设备,相当于总线,工作在物理层,是局域网中应用最广的连接设备。

Hub 分为切换式、共享式和可堆叠共享式三种。①切换式 Hub 负责重新生成每一个信号并在发送前过滤每一个包,而且只将其发送到目的地址。切换式 Hub 可以使 10Mb/s 和 100Mb/s 的站点用于同一网段中。②共享式 Hub 提供了所有连接点站点间共享的一个最大频宽。例如,一个连接着几个工作站或服务器的 100Mb/s 共享式 Hub 所提供的最大频宽为 100Mb/s,与它连接的站点共享这个频宽。共享式 Hub 不过滤或重新生成信号,所有与之相连的站点必须以同一速度工作(10Mb/s 或 100Mb/s)。所以共享式 Hub 比切换式 Hub 价格便宜。③堆叠共享式 Hub 是共享式 Hub 中的一种,当它们级联在一起时,可看作网中的一个 Hub。

2) 数据链路层互联设备

(1) 网桥。网桥(bridge)是在数据链路层实现网络互联的设备,在两个局域网段之间对链路层帧进行接收、存储与转发。网桥可分为本地网桥和远程网桥。本地网桥是指在传输介质允许长度范围内互联网络的网桥,远程网桥是指连接的距离超过网络的常规范围时使用的远程桥,通过远程桥互联的局域网将成为城域网或广域网。如果使用远程网桥,则远程桥必须成对出现。在网络的本地连接中,网桥可以使用内桥和外桥。内桥是文件服务的一部分,通过文件服务器中的不同网卡连接起来的局域网,由文件服务器上运行的网络操作系统来管理。外桥安装在工作站上,实现两个网络之间的连接。外桥不运行在网络文件服务器上,而是运行在一台独立的工作站上。外桥可以是专用的,也可以是非专用的。作为专用网桥的工作站不能当普通工作站使用,只能用于建立两个网络之间的桥接;而非专用网桥的工作站既可以作为网桥,也可以作为工作站。

(2) 交换机。交换机(switcher)根据以太网帧中的目的地址,将以太帧从源端传送到目的端。可以同时向不同的目的端口传送以太帧,起到提高网络实际吞吐量的效果。交换机可以同时建立多个传输路径,所以在应用连接多台服务器的网段上可以收到明显的效果。按采用的技术,交换机分为直通式和存储转发式。①直通式(cut-through)交换机一旦收到信息包中的目标地址,在收到全帧之前便开始转发,适用于同速率端口和碰撞、误码率低的环境。②存储转发式(store-and-forward)交换机确认收到的帧,过滤处理坏帧,适用于不同速率端口和碰撞、误码率高的环境。

3) 网络层互联设备

路由器(router)工作于网络层,主要用于广域网或广域网与局域网的互联,可以在多个网络上交换和路由数据报。路由器通过在相对独立的网络中交换具体协议的信息来实现这个目标。比起网桥,路由器不但能过滤和分隔网络信息流、连接网络分支,还能访问数据报中更多的信息,以提高数据报的传输效率。

路由器中建立有路由表,包含有网络地址、连接信息、路径信息和发送代价等。通过路由表,执行相应的路由算法,可实现数据在不同网段的转发。

路由器主要用于连接多个逻辑上分开的网络。逻辑网络是指一个单独的网络或一个子网。当数据从一个子网传输到另一个子网时,可通过路由器来完成。因此,路由器具有判断网络地址和选择路径的功能,能在多网络互联环境中建立灵活的连接,可用完全不同的数据分组和介质访问方法连接各种子网。

4) 应用层互联设备

网关(gateway)是应用层互联设备,负责连接不同类型而协议差别又较大的网络。

网关将协议进行转换,实现数据重新分组,以便在两个不同类型的网络系统之间进行通信。通常,网关只进行一对一的协议转换,或是少数几种特定应用协议的转换,很难实现通用的协议转换。用于网关转换的应用协议有电子邮件、文件传输和远程工作站登录等。

5.4.3 Internet 路由算法

路由算法的目标在于实现节点间的数据转发。当源节点无法直接将数据报发送到目标节点时,需要根据转发机制建立一条从源节点到目标节点的转发路径,以便将数据报发送到目标节点。

如图 5-31 所示,节点 1 无法直接将数据报发送到节点 6,因此,根据转发机制,建立一条从 1 到 6 的转发路径,1→2→3→6,路径上的每个节点将数据报转发到下一个节点(下一跳),直到数据报到达目标节点 6 为止。

本节介绍典型的路由算法以及目前流行的 Internet、自组织网络、延迟容忍网络(机会网络)中用到的路由方式。

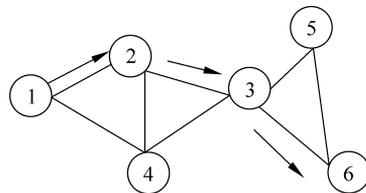


图 5-31 路由转发示意图

1. 典型路由算法

(1) 最短路径路由。将网络节点建立一个子网图,图中每个节点代表路由器或有路由功能的节点,节点间的连线代表通信链路。最短路径路由的基本思想是首先找出源节点和目标节点之间的最短路径,然后在路径上各节点复制一次数据报,并实现数据转发到下一跳,直到目标节点。衡量最短路径的方式可以是跳数、链路间物理距离、链路传播时延、带宽、平均流量、通信开销、平均队列长度等因素的一个函数。

例如图 5-32 中,图的顶点代表节点号,图的边代表两个节点间的通信距离。如果以节点间跳数作为最短路径计算因素的话,从节点 1 到节点 8 的最短路径有 1→2→5→8 和 1→4→7→8 两条,跳数都是 3。如果以节点间物理距离作为最短路径计算因素的话,从节点 1 到节点 8 的最短路径有 1→4→7→8,总距离是 5。

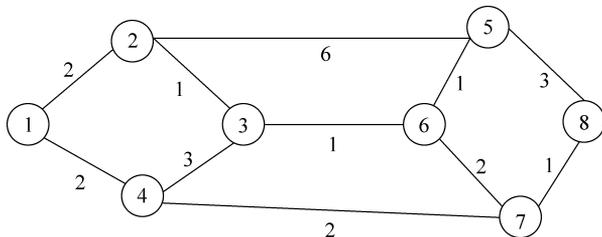


图 5-32 最短路由示意图

(2) 扩散法。扩散法,又名洪泛法,路由节点将每个进来的分组复制并转发到除了进来线路之外的每一条线路上。扩散法会产生大量的冗余数据报,造成网络拥塞。

如图 5-33 所示,节点 3 要和节点 8 通信,采用洪泛法时,要对每个邻居节点均复制并转发数据报,这样,总能使数据报到达目标节点 8。

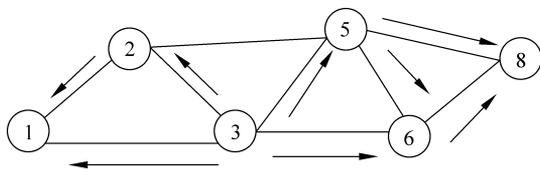


图 5-33 洪泛路由示意图

(3) 选择性扩散算法。为了降低洪泛法造成的数据冗余,减少网络拥塞,出现了选择性扩散算法。在该算法中,节点仅有选择地复制并递交给某些预先选好的节点。

如图 5-34 所示,节点 3 仅选择距离节点 8 距离近的节点 5 和 6 实现数据转发。

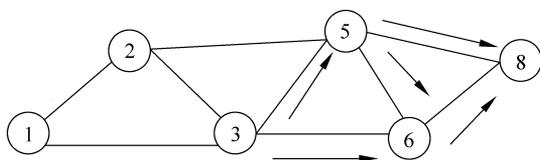


图 5-34 选择性扩散路由示意图

2. 常用路由分类

(1) 固定拓扑结构路由。在 Internet 中,路由器专门负责数据转发。路由器通常是固定的,其邻居节点发生变化的频率较小,故拓扑结构固定,也就是说路由表的更新相对较缓。

路由器都有一张路由表,表中可以列出当前已知的到每个目标节点的最佳距离以及所使用的线路,并通过在邻居之间交换信息实现路由表的动态更新,此方法称为距离矢量路由。但是距离矢量路由需要很长的收敛时间,所以,被链路状态路由算法代替。链路状态路由算法的改进之处在于仅发送它的路由表中描述了其自身链路状态发生变化的那一部分路由项。

(2) 自组织路由。当路由器是移动节点时,即节点具有移动性和路由转发功能时(例如移动车载网 MANET),或者因考虑到节能需要采用节点休眠机制(例如无线传感器网络)时,网络的拓扑结构会动态改变,传统的固定拓扑结构、已知固定邻居等规则将不再适用。此网络称为自组织网络(Ad Hoc)。

自组织路由算法通常在节点对之间实行一次数据传输前,利用路径发现机制预先建立路由,然后再进行数据传输。

(3) 机会路由。在区域更加广泛、固定路由设施相对不完备的稀疏网络中,例如星际网络、乡村网络、野生动物监测网络等,往往缺乏固定的路由设施,无法在数据传送时预先建立路由,因而常常导致数据不能被正常传送。而传统的有线网络或无线 Ad Hoc 网络路由算法都是基于网络中具有稳定的源端到目标端路由的做法,无法适应稀疏网络架构的应用场景。因此,出现了一种新的基于机会转发的路由技术,使用该技术的网络称为机会网络。

机会路由不需要预先建立路由,采用的是路由转发机制,即“存储-携带-转发”(Store-Carry-Forwarding)的模式工作。在此模式中,当目前没有合适的下一跳节点时,消息将会

在当前节点上存储；当它与下一跳节点之间出现通信时机时，会将报文传输给下一跳节点，然后由下一跳节点继续携带该报文，依次存储、转发，直到报文转发到目标节点。

5.5 本章小结

本章对物联网的通信技术进行了描述，主要涉及近距离无线通信技术、远距离无线通信技术、有线通信技术和 Internet 技术。近距离无线通信技术和有线通信技术被用在感知设备以及客户机、服务器等计算设备的局域网络互联；在此基础上，利用有线通信技术(光纤)或者远距离无线通信技术与 Internet 实现互联。因此，Internet 可被比喻为物联网的躯干，有线通信技术(光纤)或者远距离无线通信技术被比喻为四肢，近距离无线通信技术和有线通信技术可被看作手脚。通过本章的学习，能够对物联网中典型的通信手段和组网方式有一个系统的了解和常规的认识。

习题

一、选择题

- WiFi 和 4G 这两种技术的关系本质上是()。
A. 互补 B. 竞争 C. 兼容 D. 无关
- IEEE 802.11b 最大的数据传输速率可以达到()。
A. 108Mb/s B. 54Mb/s C. 24Mb/s D. 11Mb/s
- IEEE 802.11g 最大的数据传输速率可以达到()。
A. 108Mb/s B. 54Mb/s C. 24Mb/s D. 11Mb/s
- IEEE 802.11n 可以加入的标准不包括()。
A. IEEE 802.11a B. IEEE 802.11b C. IEEE 802.11g D. 前面都不对
- WiFi 接入点 AP 的主要功能为()。
A. 提供无线覆盖 B. 鉴权 C. 计费 D. 存储
- 在 ZigBee 技术中,PHY 层和 MAC 层采用()协议标准。
A. IEEE 802.15.4 B. IEEE 802.11b C. IEEE 802.11a D. IEEE 802.12
- 在 ZigBee 技术中,PHY 层物理层的数据传输速率为()。
A. 100kb/s B. 200kb/s C. 250kb/s D. 350kb/s
- 192.168.1.1 代表的是()地址。
A. A 类 B. B 类 C. C 类 D. D 类
- 对于一个没有见过子网划分的传统 C 类网络来说,允许安装的最多主机数为()。
A. 1024 B. 65025 C. 254 D. 16E.48
- IP 地址 219.55.23.56 的缺省子网掩码有()位。
A. 8 B. 16 C. 24 D. 32
- 保留给用户自测试的 I 类地址是()。
A. 127.0.0.0 B. 127.0.0.1 C. 224.0.0.9 D. 126.0.0.1

12. 在 TCP/IP 协议栈的数据发送过程中,报文是由()组装完成的。
A. 应用层 B. 传输层 C. 网络层 D. 网络接口层

二、问答题

1. 近距离无线通信技术有哪些? 各有什么特点?
2. WiFi 的常用组网方式有哪些?
3. 简述蓝牙的组网特点。
4. 简述 ZigBee 的组网特点。
5. 按照 ISO 的网络体系结构标准,WiFi、蓝牙及 ZigBee 分别工作在哪些层?
6. 远距离无线通信技术有哪些? 各有什么特点?
7. 卫星的工作方式及常用频段是什么?
8. 4G 与 5G 的主要区别是什么?
9. 有线通信技术有哪些?
10. 光纤通信原理是什么?
11. 以太网的特点及组网方式是什么?
12. Internet 的 TCP/IP 协议栈结构是什么?
13. 以 FTP 为例,解释网络各层的工作原理及包结构。
14. IP 地址的类型有哪些? 202.196.96.5 属于哪类 IP?
15. 试述 IPv6 与 IPv4 的区别。
16. 常用网络互联设备及工作方式有哪些?
17. 简述路由选择算法中的洪泛法的原理,并设计一种改进的选择性洪泛法。
18. 描述 IPv4 首部的结构,并说明其大小的计算方法。