

一、拓扑结构

拓扑是网络中电缆的布置。众所周知，EIA-485 或 CAN 采用总线型拓扑。但在工业以太网中，由于普遍使用集线器或交换机，拓扑结构为星型或分散星型。

二、接线

工业以太网使用的电缆有屏蔽双绞线（STP）、非屏蔽双绞线（UTP）、多模或单模光缆。10Mbps 的速率对双绞线没有过高的要求，而在 100Mbps 速率下，推荐使用五类或超五类线。

光纤链接时需要一对，常用的多模光纤波长为 62.5/125 μm 或 50/125 μm 。与多模光纤的内芯相比，单模光纤的内芯很细，只有 10 μm 左右。通常，10Mbps 使用多模光纤，100Mbps 下，单模、多模光纤都适用。

三、接头和连接

双绞线接头中 RJ-45 较常见，共两对线，一对用于发送，另一对用于接收。在媒介相关接口（MDI）的定义中，这四个信号分别标识为 RD+，RD-，TD+，TD-。

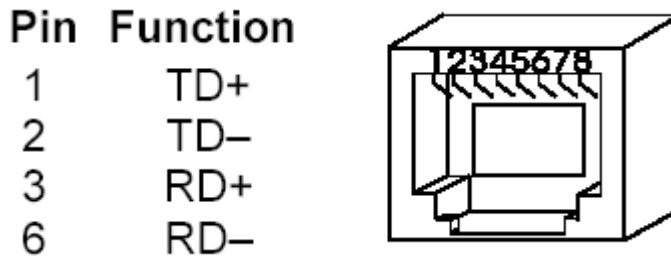


图 - RJ45 接头及端脚分配

一条通信链路由 DTE（数据终端设备，如工作站）和 DCE（数据通讯设备，如中继器或交换机）组成。集线器端口标识为 MDI-X 端口表明 DTE 和 DCE 可以使用直通电缆相连。假如是两个 DTE 或两个 DCE 相连？可以采用电缆交叉的方法或直接利用集线器提供的上连端口（电缆不要交叉）。

光纤接头有两种，ST 接头用于 10Mbps 或 100Mbps；SC 接头专用于 100Mbps。单模纤通常使用 SC 接头。DTE 与 DCE 之间的连接只需依照端口的 TX、RX 标识即可。

四、工业以太网与普通商用以太网产品

什么是工业以太网？技术上，它与 IEEE802.3 兼容，但设计和包装兼顾工业和商业应用的要求。工业现场的设计者希望采用市场上可以找到的以太网芯片和媒介，兼顾考虑工业现场的特殊要求。首先考虑的是高温、潮湿、震动。第二看是否能方便地安装在工业现场控制柜内。第三是电源要求。许多控制柜内提供的电源都是低压交流或直流。墙装式电源装置有时不能适应。电磁兼容性（EMC）的要求随工业环境对 EMI（工业抗干扰）和 ESD（工业抗震）要求的不同而变化。现场的安全标准与办公室的完全不同。有时需要的是恶劣环境的额定值。工厂里采用的可能是工业控制柜标准而楼宇系统采用的往往是烟雾标准。显然低价的商用以太网集线器和交换机无法达到这些要求。

五、速度和距离

讨论共享型以太网的距离，不能忽略碰撞域（Collision Domain）的概念。

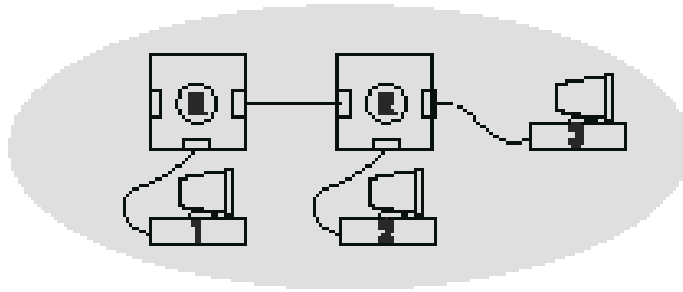


图 - 共享型以太网中的所有设备和连线必须在一个碰撞域中

共享型以太网或半双工以太网的媒体访问是由载波侦听多路访问/碰撞检测 (CSMA/CD) 确定的。在半双工的通讯方式下, 发送和接收不能同时进行, 否则数据会发生碰撞。站点发送前, 首先要看是否有空闲的信道。发送时, 站点还会在一段时间内收听, 确保在这一时间内没有其它站点在进行同步传送, 最终本站发送成功。反之, 发生碰撞, 源站点发送阻塞信号加强碰撞。竞争站点延迟后 (延迟时间由算法确定, 是随机的) 重试。在这种机制下, 所有站点和所有集线器都必须同一碰撞域内。

对工业以太网来说, 10Mbps 和 100Mbps 是最常用的。在 10Mbps, 全部采用双绞线的以太网网络中, 与距离有关的概念有两个, 即网段 (Segment) 和网络范围 (Network Diameter)。前者指连接两个设备 (集线器、交换机或主机) 的距离, 后者指网络中两个最远端设备之间的距离。不管是 10Mbps 或 100Mbps 的网络, 网段的最远距离不能超过 100 米。考虑网络延伸, 最有用的规则就是 5-4-3 规则 (仅仅针对 10Mbps 中继器)。规则的内容如下: 一个网络最多有五个网段, 四个中继器, 不多于三个的混合网段。混合网段指的是同轴总线网段 (已淘汰)。由于双绞线网段的最远距离是 100 米, 最大网络 (网络范围) 就是 500 米。

光纤网段的最远距离可达 2 公里, 但 IEEE802.3 标准规定, 使用光纤, 级联数最多不能超过 3 个, 且网络末端需使用双绞线, 中间的两个为光纤网段并保证每个网段不超过 1 公里。这样, 整个光纤网段长度限制在 2 公里。

5-4-3 规则对 100Mbps 是不适用的。建议使用 100Mbps 交换机。

六、集线器和交换机

中继型集线器 (集线器)

集线器是构成以太网拓扑的基本设备, 为多端口设备, 有四、八、十二口等, 可级联构成分散星型拓扑。

集线器均符合 IEEE802.3 中继单元要求。这些要求包括前导码生成、对称和幅度补偿。中继器必须对信号再定时, 这样收发器和电缆引起的信号抖动不会在多网段传播时累积。这些设备能侦测出不完整的数据包和冲突, 并产生一个阻塞信号相作用。它们还会自动隔离有问题的端口以维持网络正常工作。

接口转接器

另一系列产品是接口转接器, 有时称为收发器。它们将一种媒介转为另一种媒介。最重要的转换是双绞线至光纤的转换。由于很多集线器没有光纤端口, 接口转接器就是用来支持网络中光纤的应用的。这些设备在网络中是透明。端口不存储帧也不检测碰撞, 只是将一种媒介转为另一端兼容的信号。

交换型集线器（交换机）

交换型集线器可以取代中继型集线器并改善网络的性能。与物理层设备 - 中继型集线器不同，交换型集线器实际上是连接两个数据链路的网桥，也就是说碰撞域在每个交换机端口进行了终结。所以，增加了交换机就扩展了网络地理上的范围，级联交换机可以大规模地实现网络扩展

交换机比中继型集线器复杂。双绞线端口自动与附属端口进行速率协商（10Mbps 还是 100Mbps）。流量控制功能也通过协商进行。全双工网段采用 PAUSE 方案，半双工网段通常采用 backpressure 方案。交换机读取一个完整的帧并察看其源地址后就能查出所连以太网设备的端口位置。交换机随即产生一张端口地址表格并维护表的内容。从这时起，网络通信仅限于与本次传送有关的端口。由于同步的传送无需任何操作即可在这些端口上实现，网络的吞吐量提高了。表的内容会根据连接信息的变化自动刷新。

如果某个端口收到的信息需广播发送、群组发送或发送地址不详，交换机会自动把信息发至所有端口。

与中继型集线器不同，这儿有多个碰撞域存在，每个碰撞域必须遵守上述的规则。

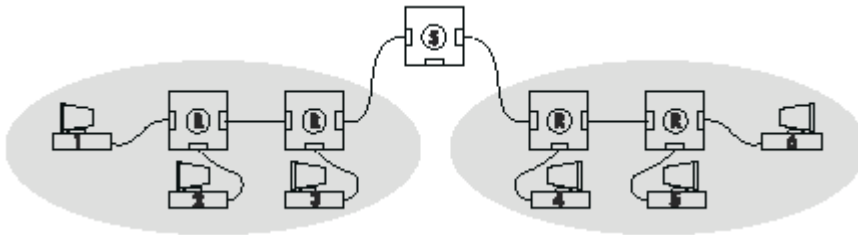


图 - 交换机允许多个碰撞域的存在

中继集线器可以与交换机端口相连。如果网络中都是交换机，则双绞线网段保持 100 米，但级联没有限制。在使用光纤前必须先注明是半、全双工。

中继型集线器与交换型集线器的对比

显然，交换机的性能比集线器提高一些，但集线器的优点是，容易理解，在任何一个端口都可以通过网络分析仪观测数据通讯。交换机则必须在某个端口实现广播发送方能测量。作为网桥，交换机存储、转发整个数据帧并引起了数据的延迟。集线器接收网络信号没有数据延迟。交换机级联还增加延时，因此，集线器和交换机在工业以太网中各有各的应用场合。

七、 半双工、全双工

半双工意味着同一媒体的发送和接收是异步进行的。全双工则相反，有单独的发送和接收通路。全双工链路是扩展快速以太网（100Mbps）的关键。全双工的链接网段不能超过两个设备，可以是网卡或交换机端口。**注意：不是中继型集线器端口，集线器没有全双工模式。**这是因为集线器是碰撞域的一部分，它会加强其它端口接收的碰撞。只有两块网卡时可以实施全双工通讯，多于两块网卡时的全双工方式，必须考虑交换机。

10BASE-T、10BASE-FL 有单独的发送和接收通路，根据网卡或交换机端口的复杂性，可以执行全双工。如果这些接口配置在半双工方式下，接收、发送的同步侦测会触发碰撞的侦测。同样的接口设置成全双工，由于全双工并不遵从共享型 CSMA/CD 规则，碰撞检测会被禁止。

全双工链接的配置要正确。当站点配置在全双工方式下，站点或交换型集线器的端口以忽略 CSMA/CD 协议的方式发送帧。如果另一端设置在半双工方式下，它会侦测出碰撞并引发其它问题出现，如 CRC 出错，网络的速度下降，快速以太网的优势消失。

如前所述，由于碰撞的原因，100Mbps 下的网络范围有所缩小。对于双绞线网段和交换端口来说，网段的最长距离是 100 米（在碰撞域范围内）。问题是在光纤端口上，对于多模光

纤来说，网段的长度是 2 公里；对于单模光纤来说，是 15 公里。半双工方式下，受碰撞域限制，网段距离为 412 米。因此，只有在全双工模式下（CSMA/CA 被忽略），光纤网段的延伸才能达到极限。

快速以太网方式下，推荐使用交换机技术。快速以太网下的光纤端口，建议使用全双工。

八、 自动协商

随着快速以太网使用广泛、与传统以太网相似的接线规则，IEEE802.3u 建议自动配置快速以太网，使得传统以太网端口能与其它快速以太网端口工作。该配置协议基于 National Semiconductor's NWay 标准。双绞线链路自动进行速度匹配，以利于数据通讯的进行。该方案适用于双绞线链接。光纤的情况有所不同。尽管光纤在以太网的发展历史中有非常重要的地位。但两个光纤设备的速度无法进行自动协商，这是因为 10BASE-FL 设备工作在 850nm，100BASE-FX 工作在 1300nm。两者无法互操作。但是，对于自动协商协议而言，两个光纤设备间的自协商是可行的（如果通讯没有问题的话）。意识到这一点，新推出的 100BASE-SX 标准可以使 850nm 光纤在 10Mbps 或 100Mbps 下工作。100Mbps 下网段的距离为 300 米。因此，安装时请注意。光纤的速率通常是固定的，不实行协商。自动协商协议在双绞线链路是成功的。自动协商的优点在于它使用户无需进行手工设置，完全由设备自身决定各自的技术水准。级别高低如下：

1000BASE-T	全双工	高	
1000BASE-T		↓	
100BASE-T2	全双工		
100BASE-TX	全双工		
100BASE-T2			
100BASE-T4			
100BASE-TX			
10BASE-T	全双工		
10BASE-T			低

其中最低的级别是 10BASE-T（半双工、共享以太网），最高为 1000BASE-T 全双工。这是一个完整的优先级别方案，但不表示某块网卡可以处理所有这些技术。实际上，有一些技术在商业上并没有实施，但它们都与 IEEE802.3 标准一致。每个端口检查各自的技术性能并确定最终的速率（较低的速率）。例如：如果网卡支持 10BASE-T 而交换机端口能力在 10BASE-T 或 10BASE-TX，那么最终选择的是 10BASE-T。如果一块网卡是 10BASE-T，而另一块 100BASE-TX，两者因为不兼容而无法通讯。

九、 传输协议

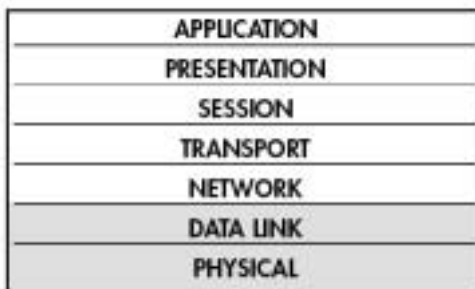


图 - 以太网定义在 OSI 模型的下两层

最初设计并没有涉及一个可靠的端到端的信息传送。网络互联（两个网络互相通讯）的义务在第三层 - 网络层。传输和互联成为协议栈的一部分，TCP/IP 和 SPX/IPX 是常用的两个协议。这两个协议并不能互相操作，所以以太网节点须使用兼容的协议。由于 TCP/IP 在互联网的应用，它成为主要协议，在工业网络也如此。实际上，TCP/IP 是一组 RFC 定义的协议（request for comments），有很多年了。除了以太网，TCP/IP 还和别的数据链路技术工作，它位于物理层/数据链路层之上。传输层上，有两个重要的协议：TCP 和 UDP。前者对接收的信息进行确认。两者都很有用。在协议栈的上层，有多个有用的应用层协议在工业以太网使用。对于用户来说，编址是个重要的话题。IP 协议负责可能位于不同网络中站点间数据包的路由。每个站点有唯一的 32 位地址（分别表示网络地址、主机地址）。地址以点分十进制四字节表示。128.8.120.5 是个有效的地址但无法确定何为主机、何为网络。地址分为五类，地址分为 A~E 类。通过观察第一字节即可进行分类。

IP 的分配并不简单，通常由网管分配。一旦分配好，就必须应用在网络中的各个站上。IP 地址分静态和动态分配两种。动态分配由服务器进行。静态分配由配置进行。下列地址为私人地址，在路由器上不能分配。因此，它们在互联网上没有应用。

10.0.0.0 ~ 10.255.255.255

172.16.0.0~172.31.255.255

192.168.0.0~192.168.255.255

IP 地址和以太网 MAC 地址是不同的，不能混淆。MAC 地址由设备生产商分配，所以是全球唯一的。IP 地址是安装时分配并根据需要进行重分配。

十、应用层协议

确定所用的接头、电缆，采用集线器还是交换机，分配了 IP，就可以在站点间通讯了。现在需要考虑 OSI 高层的兼容性。这儿推荐的工业自动化协议有 Ethernet/IP、iDA、PROFInet 和 Modbus/TCP。这还不包括传统互联网应用 - FTP、SNMP、SMTP 和 TELNET。用户手中的设备可能并不支持这些协议，所以需要理解自身系统的兼容性。

其它文章：

1. 以太网介绍
2. TCP/IP 介绍
3. 多网段介绍
4. 子网介绍
5. 交换技术介绍
6. 快速以太网介绍

www.ctrlink.com.cn