

## 以太网通信技术简介

以太网是一种计算机局域网技术，也是随机接入技术的一种，它规定了包括物理层的连线、电子信号和介质访问层协议的内容。以太网是普遍应用的局域网技术，逐渐取代了其他局域网技术如令牌环、FDDI 和 ARCNET。

### 以太网简介

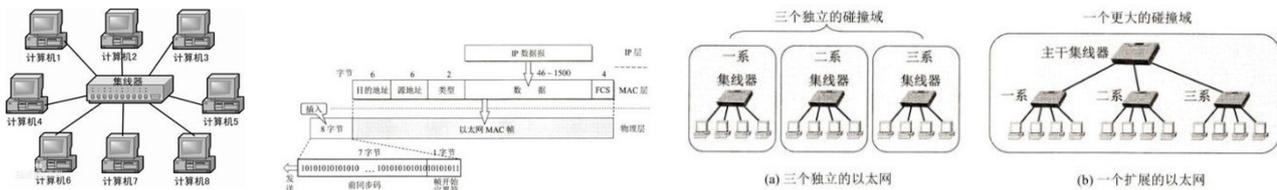
以太网是一种计算机局域网技术，规定了包括物理层的连线、电子信号和介质访问层协议的内容。

以太网是随机接入技术的一种，随机接入技术的特点是所有的用户可以随机地发送信息，属于共享信道技术。共享信道考虑如何使众多用户能够合理和方便地共用通信媒体资源，在技术上主要有两种方法，静态划分信道和动态媒体接入控制。动态媒体接入控制又分为随机接入和受控接入。<sup>[1]</sup>

### 以太网发展历史

以太网是美国施乐（Xerox）公司的 Palo Alto 研究中心（PARC）于 1975 年研制成功的。当时以太网是一种基带总线局域网，数据率为 2.94Mbit/s。以太网用无源电缆作为总线来传送数据帧，并以曾经在历史上表示传播电磁波的以太（Ether）来命名。<sup>[1]</sup>

1976 年 7 月，Metcalfe 和 Boggs 发表他们的以太网里程碑论文[METC76]。1980 年 9 月，DEC 公司、Intel 公司和施乐公司联合提出了 10Mbit/s 以太网规约的第一个版本 DIX V1。1982 年改为第二版规约 DIX Ethernet V2，成为世界上第一个局域网产品的规约。在此基础上 IEEE 802 委员会的 802.3 工作组于 1983 年制定了第一个 IEEE 的以太网标准 IEEE 802.3[W-IEEE802.3]<sup>[2]</sup>，数据为 10Mbit/s。这两个标准只有很小的差别，因此很多人也经常把 802.3 局域网简称为“以太网”。<sup>[1]</sup>



### 以太网原理与技术

以太网通过适配器将计算机与局域网连接，适配器通常嵌在计算机主板上，负责数据的串行传输与并行传输转换，并能独立处理数据帧而不占用 CPU。以太网采用 CSMA/CD 协议来管理数据的发送，结合了载波监听和碰撞检测来协调网络中的数据运输，使用曼彻斯特编码提取位同步信号。

以太网使用星型拓扑和集线器，提供比传统总线型拓扑更高的可靠性和性能。以太网 MAC 层使用硬件地址（MAC 地址），支持单播、广播和多播等多种通信方式。MAC 帧格式由目的地址、源地址、类型字段、数据和帧检验序列等部分组成<sup>[2]</sup>。下面将对这些内容进行详细介绍。

#### 适配器

计算机与外界局域网的连接是通过适配器（adapter），现在通常嵌入在计算机主板上。在这种通信适配器上面装有处理器和存储器（包括 RAM 和 ROM）。适配器和局域网之间的通信是通过电缆或者双绞线以串行传输方式进行的，而适配器和计算机之间的通信则是通过计算机主板上的 I/O 总线以并行传输方式进行的。适配器的一个重要功能是要进行数据串行传输和并行传输的转换。<sup>[1]</sup>

适配器在接收和发送各种帧时，不使用计算机的 CPU。这时计算机中的 CPU 可以处理其他任务。当适配器收到有差错的帧时，就把这个帧直接丢弃而不必通知计算机。当计算机要发送 IP 数据报时，就由协议栈把 IP 数据包向下交给适配器，组装成帧发送到局域网<sup>[1]</sup>。

## CSMA/CD 协议

为了通信的简便，以太网采取了两种措施。一是采用较为灵活的无连接的工作方式，即不必先建立连接就可以直接发送数据。适配器对发送的数据帧不进行编号，也不要求对方发回确认。因此，以太网提供的服务是尽最大努力的交付，即不可靠的交付。当目的站收到有差错的数据时，就把帧丢弃，其他什么也不做。对有差错是否需要重传则由高层来决定。重新传送时以太网并不知道这是重传帧，而是当作新的数据帧来发送。<sup>[1]</sup>

二是以太网发送的数据都使用曼彻斯特（Manchester）编码的信号。二进制基带数字信号通常就是高、低电压交替出现的信号。使用这种信号的最大问题就是当出现一长串连续的 1 或连续的 0 时，接收端就无法从收到的比特流中提取位同步信号。曼彻斯特编码的编码方法是把每一个码元再分成两个相等的间隔。码元 1 是前一个间隔为低电压而后一个间隔为高电压。码元 0 则正好相反，从高电压变到低电压（也可采用相反的约定，即 1 是“前高后低”而 0 是“前低后高”）。这样就保证了在每一个比特的正中间出现一次电压的转换，而接收端就利用这种电压的转换很方便地把位同步信号提取出来。由于每秒传送的码元数加倍了，但是曼彻斯特编码所占的频带宽度比原始的基带信号增加了一倍。<sup>[1]</sup>

以太网使用 CSMA/CD（多点接入/碰撞检测，Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection）协议来协调总线上各计算机的工作。”多点接入”就是说明这是总线型网络，许多计算机以多点接入的方式连接在一根总线上。协议的实质是“载波监听”和“碰撞检测”。<sup>[1]</sup>

“载波监听”也就是“边发送边监听”，载波监听就是不管在想要发送数据之前，还是在发送数据之中，每个站都必须不停地检测信道。在发送前检测信道，是为了避免冲突。如果检测出已经有其他站在发送，则本站就暂时不要发送数据。在发送中检测信道，是为了及时发现如果有其他站也在发送，就立即中断本站的发送。<sup>[1]</sup>

“碰撞检测”是适配器边发送数据边检测信道上的信号电压的变化情况。当两个或几个站同时在总线上发送数据时，总线上的信号电压变化幅度将会增大（互相叠加）。当适配器检测到的信号电压变化幅度超过一定的门限值时，就认为总线上至少有两个站同时在发送数据，表明产生了碰撞。这时，总线上传输的信号产生了严重的失真，无法从中恢复出有用的信息。因此，任何一个正在发送数据的站，一旦发现总线上出现了碰撞，其适配器就要立即停止发送，等待一段随机时间后再次发送。<sup>[1]</sup>

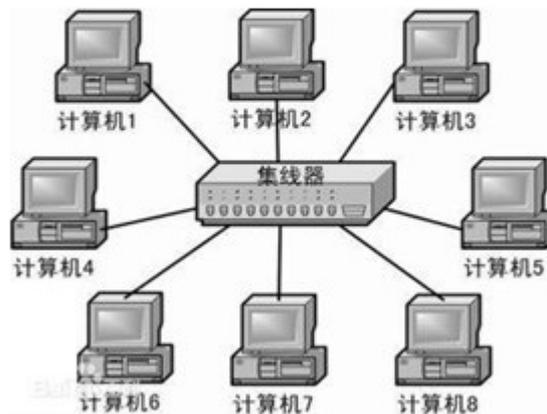
以太网使用截断二进制指数退避（truncated binary exponential backoff）算法来确定碰撞后重传的时机。这种算法让发生碰撞的站在停止发送数据后，不是等待信道变为空闲后就立即再发送数据，而是退避一个随机的时间。因为几个发生碰撞的站将会同时检测到信道变成了空闲，如果大家都同时重传，必然接连发生碰撞。

如果采用退避算法，生成了最小退避时间的站将最先获发送权。以后其余的站的退避时间到了，但发送数据之前监听到信道忙，就不会马上发送数据了。<sup>[1]</sup>

使用集线器的星型拓扑

现在以太网采用星形拓扑，在星形的中心则增加了一种可靠性非常高的设备，叫作集线器（hub），如下图所示。双绞线以太网总是和集线器配合使用的。每个站需要用两对无屏蔽双绞线（放在一根电缆内），分别用于发送和接收。<sup>[1]</sup>

集线器示意图



双绞线的两端使用双  
于集线器使用了大规  
可靠性就大大提高  
以太网 10BASE-T 的标

10Mbit/s 的数据率，BASE 表示连接线上的信号是基带信号，T 代表双绞线。实践证明，这比使用具有大量机械接头的无源电缆要可靠得多。由于使用双绞线电缆的以太网价格便宜和使用方便，因此传统的粗缆和细缆以太网现在都已成为历史，并已从市场上消失了。<sup>[1]</sup>

绞线的两端使用 RJ-45 插头。由  
模集成电路芯片，因此集线器的  
了。1990 年 IEEE 制定出星形以  
准 802.3i。“10”代表

10BASE-T 以太网的通信距离稍短，每个站到集线器的距离不超过 100m。这种性价比很高的 10BASE-T 双绞线以太网的出现，是局域网发展史上的一个非常重要的里程碑，从此以太网的拓扑就从总线型变为更加方便的星形网络，而以太网也就在局域网中占据了统治地位。

集线器有如下的一些特点。<sup>[1]</sup>

<1> 使用集线器的以太网在逻辑上仍是一个总线网，各站共享逻辑上的总线，使用的还是 CSMA/CD 协议。网络中的各站必须竞争对传输媒体的控制，并且在同一时刻至多只允许一个站发送数据。

<2> 一个集线器有许多端口，每个端口通过 RJ-45 插头用两对双绞线与一台计算机上的适配器相连。因此，一个集线器很像一个多端口的转发器。

<3> 集线器工作在物理层，它的每个端口仅仅简单地转发比特不进行碰撞检测。若两个端口同时有信号输入（即发生碰撞），那么所有的端口都将收不到正确的帧。

<4> 集线器采用了专门的芯片，进行自适应串音回波抵消。这样就可使端口转发出去的较强信号不致对该端口接收到的较弱信号产生干扰（这种干扰即近端串音）。每个比特在转发之前还要进行再生整形并重新定时。

集线器本身必须非常可靠。现在的堆叠式（stackable）集线器由 4-8 个集线器堆叠起来使用。集线器一般都有少量的容错能力和网络管理功能。IEEE 802.3 标准还可使用光纤作为传输媒体，相应的标准是 10BASE-F 系列，F 代表光纤。它主要用作集线器之间的远程连接。<sup>[1]</sup>

以太网的 MAC 层

### <1> 以太网的硬件地址<sup>[1-2]</sup>

在局域网中，硬件地址又称为物理地址或者 MAC 地址。现在 IEEE 的注册管理机构 RA（Registration Authority）是局域网全球地址的法定管理机构[W-IEEEERA]，它负责分配地址字段的 6 个字节中的前三个字节（即高位 24 位）。世界上凡要生产局域网适配器的厂家都必须向 IEEE 购买由这三个字节构成的这个号（即地址块），这个号的正式名称是组织唯一标识符 OUI（Organizationally Unique Identifier），通常也叫作公司标识符（company\_id）。地址字段中的后三个字节（即低位 24 位）则是由厂家自行指派，称为扩展标识符（extended identifier）。

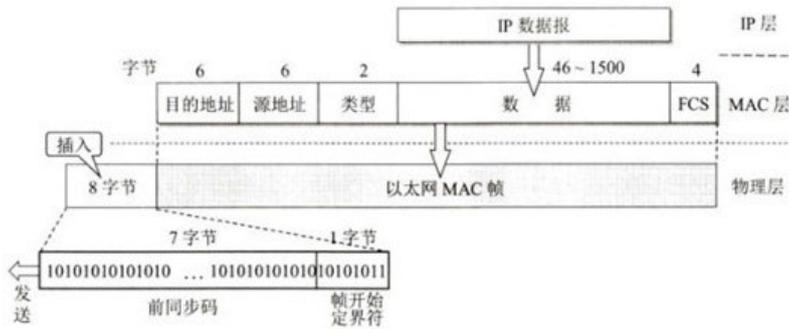
公司标识符和具体的公司并不是一一对应的关系，只要保证生产出的适配器没有重复地址即可。购买了一个 OUI，就可以生成出 22 个不同的 6 字节 MAC 地址，这种地址又称为 EUI-48，这里 EUI 表示扩展的唯一标识符（Extended Unique Identifier）。EUI-48 的使用范围并不局限于局域网的硬件地址，而是可以用于软件接口。在生产适配器时，这种 6 字节的 MAC 地址已被固化在适配器的 ROM 中。因此，MAC 地址也叫作硬件地址（hardware address）或者物理地址。

适配器有过滤功能。当适配器从网络上每收到一个 MAC 帧就先用硬件检查 MAC 帧中的目的地址。如果是发往本站的帧则收下，然后再进行其他的处理。否则就将此帧丢弃，不再进行其他的处理。这里“发往本站的帧”包括以下三种帧：

- 1) 单播（unicast）帧（一对一），即收到的帧的 MAC 地址与本站的 MAC 地址相同。
- 2) 广播（broadcast）帧（一对全体），即发送给本局域网上所有站点的帧（全 1 地址）。
- 3) 多播（multicast）帧（一对多），即发送给本局域网上一部分站点的帧。

以太网适配器还可设置为一种特殊的工作方式，即混杂方式（promiscuous mode）。工作在混杂方式的适配器只要“听到”有帧在以太网上传输就都悄悄地接收下来，而不管这些帧发往哪个站。这样实际上是“窃听”其他站点的通信而并不中断其他站点的通信。

### <2> MAC 帧格式<sup>[1-2]</sup>



以太网 MAC 帧格式

图 2 以太网 MAC 帧格式

常用的以太网 MAC 帧格式采用 DIX Ethernet V2 标准。这种 MAC 帧较为简单，由五个字段组成。前两个字段分别为 6 字节长的目的地址和源地址字段。第三个字段是 2 字节的类型字段，用来标志上一层使用的是什么协议，以便把收到的 MAC 帧的数据上交给上一层的这个协议。最后一个字段是 4 字节的帧检验序列 FCS（使用 CRC 检验）。当传输媒体的误码率为  $1 \times 10^{-8}$  时，MAC 子层可使未检测到的差错小于  $1 \times 10^{-14}$ 。FCS 检验的范围就是整个的 MAC 帧，从目的地址开始到 FCS 为止的这五个字段，但不包括物理层插入的 8 字节的前同步码和帧开始定界符。

## 类型介绍

### 早期的以太网

#### 兆比特以太网

- 施乐以太网（Xerox Ethernet，又称“施乐以太网”）——是以太网的雏型。最初的 2.94Mbit/s 以太网仅在施乐公司里内部使用。而在 1982 年，Xerox 与 DEC 及 Intel 组成 DIX 联盟，并共同发表了 Ethernet Version 2 (EV2) 的规格，并将它投入商场市场，且被普遍使用。而 EV2 的网络就是受 IEEE 承认的 10BASE5。
- 10BROAD36——已经过时。一个早期的支持长距离以太网的标准。它同轴电缆上使用，以种类似线缆调制解调器系统的宽带调制技术。
- 1BASE5——也称为星型局域网，速率是 1Mbit/s。在商业上很失败，但同时也是双绞线的第一次使用。

#### 10Mbps 以太网

- 10BASE5（又称粗缆（Thick Ethernet）或黄色电缆）——最早实现 10Mbit/s 以太网。早期 IEEE 标准，使用单根 RG-11 同轴电缆，最大距离为 500 米，并最多可以连接 100 台计算机的收发器，而缆线两端必须接上 50 欧姆的终端电阻。接收端透过所谓的“插入式分接头”插入电缆的内芯和屏蔽层。在电缆终结处使用 N 型连接器。尽管由于早期的大量布设，到现在还有一些系统在使用，这一标准实际上被 10BASE2 取代。

- 10BASE2（又称细缆（Thin Ethernet）或模拟网上）—— 10BASE5 后的产品，使用 RG-58 同轴电缆，最长传输距离约 200 米（实际为 185 米），仅能连接 30 台计算机，计算机使用 T 型适配器连接到带有 BNC 连接器的网卡，而线路两头需要 50 欧姆的终结器。虽然在能力、规格上不及 10BASE5，但是因为其线材较细、布线方便、成本也便宜，所以得到更广泛的使用，淘汰了 10BASE5。由于双绞线的普及，它也被各式的双绞线网络取代。
- StarLAN——第一个双绞线上实现的以太网上标准 10Mbit/s。后发展成 10BASE-T。
- 10BASE-T——使用 3 类双绞线、4 类双绞线、5 类双绞线的 4 根线（两对双绞线）100 米。以太网集线器或以太网交换机位于中间连接所有节点。
- FOIRL ——光纤中继器链路。光纤以太网上原始版本。
- 10BASE-F —— 10Mbps 以太网光纤标准通称，2 公里。只有 10BASE-FL 应用比较广泛。
  - 10BASE-FL —— FOIRL 标准一种升级。
  - 10BASE-FB ——用于连接多个 Hub 或者交换机的骨干网技术，已废弃。
  - 10BASE-FP ——无中继被动星型网，没有实际应用的案例。

### 100Mbps 以太网（快速以太网）

参见：百兆以太网

快速以太网（Fast Ethernet）为 IEEE 在 1995 年发表的网上标准，能提供达 100Mbps 的传输速度。

- 100BASE-T——下面三个 100 Mbit/s 双绞线标准通称，最远 100 米。
  - 100BASE-TX——类似于星型结构的 10BASE-T。使用 2 对电缆，但是需要 5 类电缆以达到 100Mbit/s。
  - 100BASE-T4 —— 使用 3 类电缆，使用所有 4 对线，半双工。由于 5 类线普及，已废弃。
  - 100BASE-T2 —— 无产品。使用 3 类电缆。支持全双工使用 2 对线，功能等效 100BASE-TX，但支持旧电缆。
- 100BASE-FX——使用多模光纤，最远支持 400 米，半双工连接（保证冲突检测），2km 全双工。
- 100VG AnyLAN —— 只有惠普支持，VG 最早出现在市场上。需要 4 对三类电缆。也有人怀疑 VG 不是以太网。<sup>[4]</sup>

### 1Gbps 以太网

- 1000BASE-T——1Gbit/s 介质超五类双绞线或 6 类双绞线。
- 1000BASE-SX——1Gbit/s 多模光纤（取决于频率以及光纤半径，使用多模光纤时最长距离在 220M 至 550M 之间）。
- 1000BASE-LX——1Gbit/s 多模光纤（小于 550M）、单模光纤（小于 5000M）。
- 1000BASE-LX10——1Gbit/s 单模光纤（小于 10KM）。长距离方案
- 1000BASE-LHX——1Gbit/s 单模光纤（10KM 至 40KM）。长距离方案
- 1000BASE-ZX——1Gbit/s 单模光纤（40KM 至 70KM）。长距离方案
- 1000BASE-CX——铜缆上达到 1Gbps 的短距离（小于 25m）方案。早于 1000BASE-T，已废弃。

### 10Gbps 以太网

参见：10 吉比特以太网

新的万兆以太网标准包含 7 种不同类型，分别适用于局域网、城域网和广域网。使用附加标准 IEEE 802.3ae，将来会合并进 IEEE 802.3 标准。

- 10GBASE-CX4 -- 短距离铜缆方案用于 InfiniBand4x 连接器和 CX4 电缆，最大长度 15 米。
- 10GBASE-SR -- 用于短距离多模光纤，根据电缆类型能达到 26-82 米，使用新型 2GHz 多模光纤可以达到 300 米。
- 10GBASE-LX4 -- 使用波分复用支持多模光纤 240-300 米，单模光纤超过 10 公里。
- 10GBASE-LR 和 10GBASE-ER -- 透过单模光纤分别支持 10 公里和 40 公里。
- 10GBASE-SW、10GBASE-LW、10GBASE-EW。用于广域网 PHY、OC-192 / STM-64 同步光纤网/SDH 设备。物理层分别对应 10GBASE-SR、10GBASE-LR 和 10GBASE-ER，因此使用相同光纤支持距离也一致。（无广域网 PHY 标准）
- 10GBASE-T -- 使用屏蔽或非屏蔽双绞线，使用 CAT-6A 类线至少支持 100 米传输。CAT-6 类线也在较短的距离上支持 10GBASE-T。

### 100Gbps 以太网

参见：100G 以太网

新的 40G/100G 以太网标准在 2010 年中制定完成，包含若干种不同的节制类型。使用附加标准 IEEE 802.3ba。

- 40GBASE-KR4 -- 背板方案，最少距离 1 米。
- 40GBASE-CR4 / 100GBASE-CR10 -- 短距离铜缆方案，最大长度大约 7 米。
- 40GBASE-SR4 / 100GBASE-SR10 -- 用于短距离多模光纤，长度至少在 100 米以上。
- 40GBASE-LR4 / 100GBASE-LR10 -- 使用单模光纤，距离超过 10 公里。
- 100GBASE-ER4 -- 使用单模光纤，距离超过 40 公里。<sup>[4]</sup>

### 以太网的扩展及应用

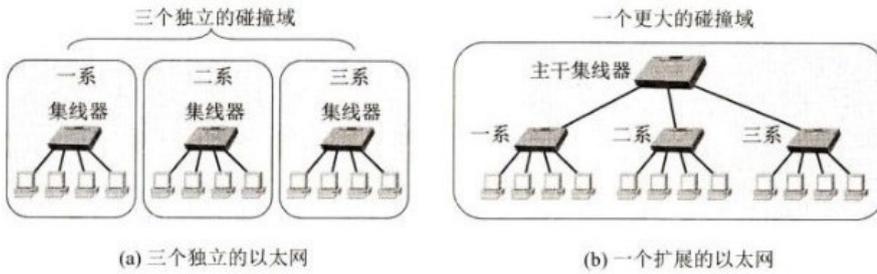
播报

编辑

### 在物理层扩展以太网

以太网上的主机之间的距离不能太远，否则主机发送的信号经过铜线的传输就会衰减到使 CSMA/CD 协议无法正常工作。现在，扩展主机和集线器之间的距离的一种简单方法就是使用光纤和一对光纤调制解调器。<sup>[1]</sup>

主机使用光纤和一对光纤调制解调器连接到集线器光纤调制解调器的作用就是进行电信号和光信号的转换。由于光纤带来的时延很小，并且带宽很宽，因此使用这种方法可以很容易地使主机和几公里以外的集线器相连接。如果使用多个集线器，就可以连接成覆盖更大范围的多级星形结构的以太网。但这种多级结构的集线器以太网也带来了一些缺点。一是多个以太网通过集线器互连起来后就将多个碰撞域变成一个碰撞域。二是如果不同的以太网使用不同的以太网技术，那么就不可能用集线器将它们互连起来。集线器基本上是个多端口的转发器，它并不能缓存帧。<sup>[1]</sup>



不同结构下的以太网碰撞域

图 3 不同结构下的以太网碰撞域

### 在数据链路层扩展以太网

扩展以太网更常用的方法是在数据链路层进行的。最初人们使用的是网桥（bridge）。网桥对收到的帧根据其 MAC 帧的目的地址进行转发和过滤当网桥收到一个帧时，并不是向所有的端口转发此帧，而是根据此帧的目的 MAC 地址，查找网桥中的地址表，然后确定将该帧转发到哪一个端口，或者是把它丢弃。1990 年问世的交换式集线器（switching hub），很快就淘汰了网桥。交换式集线器常称为以太网交换机（switch）或第二层交换机（L2 switch），强调这种交换机工作在数据链路层。<sup>[1]</sup>

#### <1> 以太网交换机<sup>[1]</sup>

以太网交换机实质上就是一个多端口的网桥，每个端口都直接与一个单台主机或另一个以太网交换机相连，并且一般都工作在全双工方式。以太网交换机还具有并行性，即能同时连通多对端口，使多对主机能同时通信。相互通信的主机都独占传输媒体，无碰撞地传输数据。每一个端口和连接到端口的主机构成了一个碰撞域，具有 N 个端口的以太网交换机的碰撞域共有 N 个。以太网交换机的端口还有存储器，能在输出端口繁忙时把到来的帧进行缓存。

以太网交换机是一种即插即用设备，其内部的帧交换表（又称为地址表）是通过自学习算法自动地逐渐建立起来的。实际上，这种交换表就是一个内容可寻址存储器 CAM（Content Addressable Memory）。以太网交换机由于使用了专用的交换结构芯片，用硬件转发收到的帧，其转发速率要比使用软件转发的网桥快很多。以太网交换机的性能远远超过普通的集线器，而且价格也不贵，这就使工作在物理层的集线器逐渐地退出了市场。

#### <2> 从总线以太网到星形以太网<sup>[1]</sup>

较早的时候，很难用廉价的方法制造出高可靠性的以太网交换机，所以那时的以太网就采用无源的总线结构。然而随着以太网上站点数目的增多，使得总线结构以太网的可靠性下降。与此同时，大规模集成电路以及专用芯片的发展，使得星形结构的以太网交换机可以做得既便宜又可靠。在这种情况下，采用以太网交换机的星形结构就成为以太网的首选拓扑。总线以太网使用 CSMA/CD 协议，以半双工方式工作。但以太网交换机不使用共享总线，没有碰撞问题，因此不使用 CSMA/CD 协议，而是以全双工方式工作。由于它的帧结构未改变，仍然采用以太网的帧结构，所以仍然被称为以太网。

以太网交换机的这种自学习方法使得以太网交换机能够即插即用，不必人工进行配置，因此非常方便。但有时为了增加网络的可靠性，在使用以太网交换机组网时，往往会增加一些冗余的链路。在这种情况下，自学习的过程就可能导致以太网帧在网络的某个环路中无限制地兜圈子。为了解决这种兜圈子问题，IEEE 的 802.1D 标准制定了一个生成树协议 STP (Spanning Tree Protocol)。其要点就是不改变网络的实际拓扑，但在逻辑上则切断某些链路，使得从一台主机到所有其他主机的路径是无环路的树状结构，从而消除了兜圈子现象。

## 车载以太网

传统以太网协议由于采用的是载波监听多路访问及冲突检测技术。因此，在数据包延时、排序和可靠性上达不到车载网络实时性要求，所以，常见的车载局域网仍是基于 CAN 的实时现场总线协议。但随着汽车电子技术的爆发式发展，ECU 数量不断增长，影音娱乐信号也纳入车内通信，这使得高实时、低带宽的传统车载总线开始不适应汽车电子发展趋势。<sup>[5]</sup>

国际电子电气工程师协会 (IEEE) 经过长期研究在 2016 年批准了第一个车载以太网标准 “100BASE-T1”，其基于博通公司的 BroadR. Reach 解决方案，在物理层用单对非屏蔽双绞线电缆，采用更加优化的扰码算法来减弱信号相关性增加实时性，可在车内提供 100Mbps 高实时带宽。<sup>[5]</sup>

高速以太网在汽车干扰环境下的通信质量是需要重点考查的问题。特别对于 100BASE-T1 网络采用的是非屏蔽的电缆，更容易受到电流浪涌、电磁干扰的影响，导致其性能不稳定甚至功能失效。有基于以太网物理层的一致性测试方法，用于测试信号发射设备的回波损耗、定时抖动和最大输出跌落等性能；RFC 2544 标准提供了以太网时延、吞吐量和丢包率等主要性能指标的测试方法；但这些常见方法都是基于传统以太网，不支持 100BASE-T1 车载以太网，并且没有考虑到车载环境的干扰特征。<sup>[5]</sup>

## 工业以太网

工业以太网技术源自于以太网技术，但是其本身和普通的以太网技术又存在着很大的差异和区别。工业以太网技术本身进行了适应性方面的调整，同时结合工业生产安全性和稳定性方面的需求，增加了相应的控制应用功能，提出了符合特定工业应用场所需求的相应的解决方案。工业以太网技术在实际应用中，能够满足工业生产高效性、稳定性、实时性、经济性、智能性、扩展性等多方面的需求，可以真正延伸到实际企业生产过程中现场设备的控制层面，并结合其技术应用的特点，给予实际企业工业生产过程的全方位控制和管理，是一种非常重要的技术手段。<sup>[6]</sup>

工业以太网技术应用的的优势分析如下：

第一，工业以太网技术具有广泛的应用范围。以太网技术本身作为重要的基础性计算机网络技术，其本身能够兼容多种不同的编程语言。例如，常见的 JAVA、C++ 等编程语言都支持以太网方面的应用开发。<sup>[6]</sup>

第二，工业以太网技术具有良好的应用经济性。相对于以往传统工业生产当中现场总线网卡的基础设施方面的投入，以太网的网卡成本方面具有十分显著的优势。在当前以太网技术不断发展的今天，整体以太网技术的设计、应用方面已经十分成熟。在具体技术开发方面，有着很多现有的资源和设计案例进行应用，这也进一步降低了系统的开发和推广成本，同时也让后续培训工作的开展变得更加有效率。可以说，经济性强、成本低廉、应用效率高、过渡短、方案成熟，这是工业以太网技术的一个显著优势特征。<sup>[6]</sup>

第三，工业以太网技术具有较高的通信速率。相对现场总线来说，工业以太网的通信速率较高，1Gb/s 的技术应用也变得十分成熟。在当前不断增长的工业控制网络性能吞吐需求的前提下，这种速率上的优势十分明显，其能够更好地满足当前的带宽标准，是新时期现代工业生产网络工程的重要发展方向。相对上也控制网络来说，工业控制网络内部不同节点的实时数据了相对较少，但是其对于传输的实时性方面要求很高。以太网技术本身的网络负载方面有着显著的优势，这也让整个通信过程的实时性需求得到了更好的满足。良好的通信速率标准，可以进一步降低网络负荷，减少网络传输延时，从而最大限度规避了碰撞的概率，保障工业生产的安全性及可靠性。<sup>[6]</sup>

第四，工业以太网技术具有良好的共享能力。随着当前网络技术的不断发展和成熟化，整个互联网体系变得更加成熟，任何一个接入到网络当中的计算机，都可以实现对工业控制现场相关数据的浏览和调用，这对于远程管控应用来说具有良好的优势，同时这也超越了以往现场总线管理模式的便利性，是实现现代化工业生产管理的重要基础性依据。<sup>[6]</sup>

第五，工业以太网技术具有良好的发展空间。通过工业以太网技术的应用，整个工业网络控制系统本身会具备一个更加广阔的发展空间和前景。在后续技术改造和升级的过程中，以太网技术能够为其提供一个良好的基础平台，这种扩展性方面的优势相比于现场总线技术来说是十分明显的。与此同时，在当前人工智能等相关技术发展的环境下，网络通信质量和效率本身的标准更高，很多新通信协议的应用，这也需要工业以太网技术给予相应的支持。<sup>[6]</sup>

但是工业以太网也存在着一些问题。

吞吐量是以太网测试的一项重要指标。很多工程师认为以太网交换吞吐量应该为其线速率，即 100% 流量下不能出现丢包，并且认为以太网帧间隔 IFG 小于 96bits 是非合法的。但在以太网交换吞吐量及丢包率测试中，经常在线速条件下长时间误码测试会出现少量的丢包，究其原因因为以太网跨时钟域架构所导致的。<sup>[7]</sup>

工业以太网技术的迅速发展和应用的同时，伴随出现了大量的网络问题。根据西门子公司提供的统计数据，网络通信故障率占 70% 以上，网络设备故障率不足 30%。网络故障导致系统停机后，故障诊断和定位所需的时间占系统停机总时间的 80% 以上，而维护措施所占时间不足 20%。因此网络流量实时监控和分析是工业以太网发展和应用中面临的重大问题，实时监控和分析工业以太网网络流量，及时发现和定位网络问题对提高整个系统的稳定运行起到了至关重要的作用。<sup>[8]</sup>