

传输介质直接影响着数据信号的传输。在结构化布线系统中，传输介质是非屏蔽双绞线（UTP）电缆和 RJ45 连接硬件，这些介质具有 100 欧姆的阻抗。

数据传输是一种状态不稳定的信号按照特定的速度，在“0”和“1”代表的两种电位差之间交替变化。这种状态之间的变化速度即通信系统的数据吞吐量，其量化单位为每秒比特数或 bps。这与射频传输类似，射频传输的量化单位是每秒周期数或赫兹。

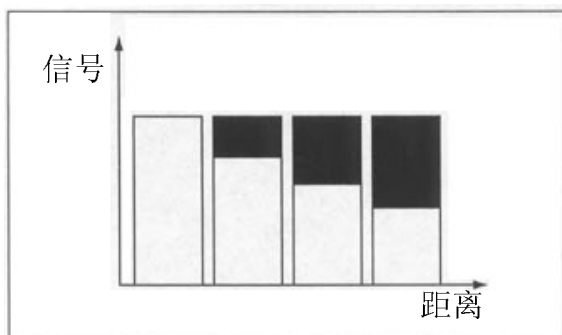
因此，数据传输也受到同样的传输线路限制，即阻抗、电容和电感。其中电容和电感在高频时的影响明显要高得多。

本白皮书介绍了结构化布线系统怎样才能补偿电容和电感对数据传输的影响

### 特点

#### 1. 阻抗

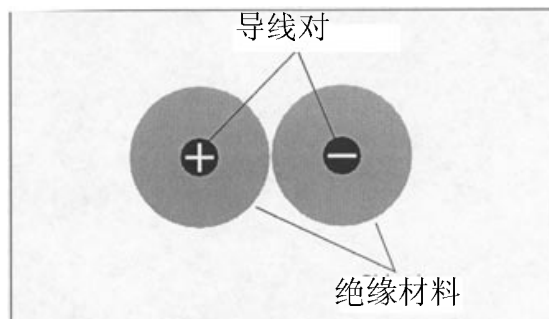
数据网络通信是通过一条双绞线来传输平衡信号的过程，其中一个线对作为正向路径，另一个线对作为返回路径。在电缆上的传输过程中，信号会由于电缆中的阻抗而逐渐衰减，并转化成热量，作为辐射能量丢失。频率越高，通过辐射丢失的信号量也就越多。同样，衰减会随着距离的延长而提高（参见图一）。



图一 由于距离而导致的信号衰减

#### 2. 电容

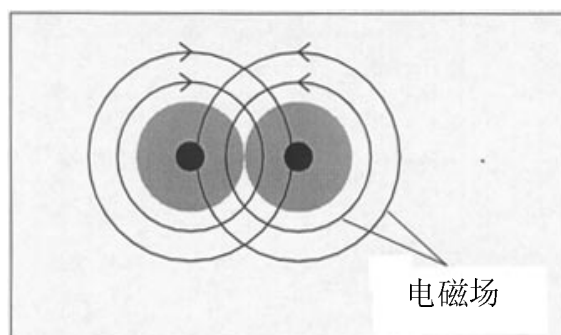
UTP 电缆的结构及信号通过 UTP 电缆传输的方式，在传输路径上有电容产生的现象。一个线对中的两根导线彼此是平行的，并使用绝缘材料隔开，构成了一个电容器（参见图二）。当电位差应用在导线之间时，通过收集一根导线上的正电荷和另一根导线上的负电荷，电子被储存起来。这种效应称为电容，当信号状态发生变化时，它会耦合邻近区域中的平行信号，这叫作串扰。系统的电容会随着电缆的长度提高而提高，而随着绝缘介质的厚度或绝缘材料的介电特性提高而下降。



图二 双绞线电缆

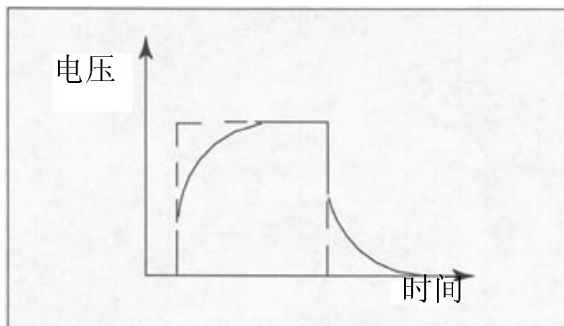
#### 3. 电感

导线中的电流流动在导线周围产生了一个电磁场（参见图三）。状态变化（从“0”到“1”和从“1”到“0”）在导线中感生了电磁（EM）压力。从“0”到“1”的变化提高了电磁场，电流流动产生的能量作为场势存储起来。当信号从“1”变为“0”时，这种势能会被释放到电路上，电磁场消失。



图三 双绞线电缆中的电磁场

图四说明了传输线路的电容和电感对传输信息中一个比特的影响。这种源信号失真会随着频率的提高而明显提高。



图四 电容和电感对数字信号失真的影响

## 补偿技术

### 1. UTP 电缆

可以通过多种方式，来补偿 UTP 电缆与频率有关的特点，如控制导线长度、双绞、平衡传输的信号、保持导线和毗邻线对之间的隔离度、以及在导线上使用合格的绝缘介电材料。

平衡信号及同步化正向路径与返回路径之间的相位，可以产生可控叠加效应，使干扰辐射信号的净影响达到最小。双绞把导线的平行路径分割成一系列短线路，使电缆的天线效应以及导线对干扰辐射信号和杂散电磁场的敏感性达到最小。

直到最近，人们才作为线对间串扰参数来测试这种影响。随着平行传输方案的发展，串扰被规定为 PowerSum，用来测量一个线对从同步激发的电缆中其它线对接收的干扰数量。

在 1999 年 4 月 9 日公布的 ANSI/EIA/TIA 568A 草案附录 SP-4195B 中，规定使用下述等式计算 UTP 电缆的 PowerSum 串扰（定义为近端串扰或 NEXT）：

$$PS \text{ NEXT}_{\text{cable}} \geq 64 - 15 \log(f/0.772) \text{ dB}/100\text{m}$$

导线阻抗导致信号随着距离的提高而衰减。由于天线长度的提高，噪音和额外的辐射干扰会随着距离的提高而提高。传输线路端的接收器要求特定信号电平，以识别传输的信号，因此信号必须比噪音电平（信噪比）高出一定程度，才能被识别。

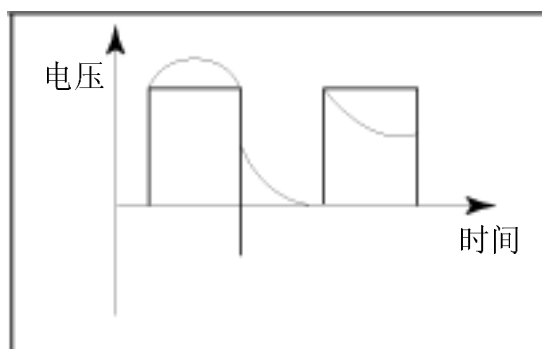
这一量度被许多标准机构称为 ACR 或衰减-串扰比。许多标准机构规定，把距离控制在 100 米以内，可以保证保持适当的信噪比。

## 2. 连接硬件

UTP 使用的抵消技术不能适用于连接硬件。尽管对连接器来说，距离并不是问题，但 RJ45 的物理结构导致了一系列特殊问题。

第一，插座和插头之间的连接是八支距离很近的平行引脚，它们对电容耦合具有特别的传导作用。引脚结构，即把连接器上特定的引脚分配给特定的电缆导线，则进一步加剧了一问题。线对 2（568A）或线对 3（568B）缠在线对 1 的外面，抵消了部分双绞的消除效果，提高了串扰。

第二，信号必须经过多次转移，如从铜线到 IDC 原材料到 PCB 或其它格式，到触点引脚到插头引脚，然后再回到铜线。所有这些转移都会劣化传送的信号。



图五 由于转接而导致的信号劣化

最后，某些制造商为接线端子设计的绝缘位移触点（IDC）以平行的方式排列，这再次提高了电容耦合的可能性。

上述因素为系统设计人员降低劣化效果，甚至抵消电缆的某些细微差别，提供了多种机会和各种途径。有四种主要方法，可以在连接硬件上提供频率补偿功能。

- 双绞线 (TWL)
- 引线框架 (LF)
- 印刷电路板 (PCB)
- 表面安装技术 (SMT)

每种方法都具有不同的原材料特点和结构，最大限度地减小平行导线的串扰，补偿信道细微差别，如延迟偏差和短链路谐振效应。

### 双绞线

平衡双绞线通过在相位同步信号上叠加干扰噪音，对串扰具有抵消效果。通过在 IDC 和 RJ45 插座螺帽之间交错四对电缆，也可以在连接器上产生同样的效果。在这种方式下，通过在连接器上产生相同或相反的效果，可以补偿给定电缆中每个线对之间的串扰特点。

这种方法在低频时非常成功，它使原材料的差异达到最小，在保持一致的传输路径属性中提供了许多优点。由于其复杂性，绞合通常由安装人员手工完成，因此会因不同的安装人员而有所差异。其结果，设计的频率响应曲线在成品中并不是一直十分明显。

随着更快数据速率和更高运行频率的应用，这些差异可能会损害已安装信道的性能。安装法是高度的劳动密集型工作，随着价格下跌，手工安装方法的流行程度正在迅速降低。频率补偿的双绞线方法因此也成了昨日黄花。

### 引线框架

引线框架 RJ45 插座结构是最流行的补偿方式。它把引脚从 RJ45 插座螺帽有效地延伸到 IDC。这涉及到金属冲压和弯曲工艺。其设计与双绞线概念相类似，但它使用绞合引线代替了绞合导线。这些引线在传输的信号和相邻线对发出的干扰噪音上建立叠加效应。它比双绞线要成功得多，因为它使用高精度机器生成的绞合技术，而不是手工安装。这导致了更加精密、更加可重复的结构，确保实际性能与原始设计更加接近。这也是成本最低的 RJ45 插座制造方式。

但是，由于其物理特点，引线框架在扩展频率上具有许多性能局限。与插座螺帽一样，它采用磷铜制成。制造商只有在插座内部的战略位置上布放额外的元器件，解决特定线对之间的串扰，才能经济地改善其性能。但是，插座内部的空间已经非常紧缺。在开发下一代插口中，Molex 企业布线网络部把引线框架与表面安装技术结合起来，制造出一个高精度连接器，在扩展频率上提供了卓越的性能特点。

市场正朝着更高的工作频率发展，如 EIA/TIA 和 ISO 等业内标准委员会把建议中的六类标准的工作频率规定为 200 MHz。某些引线框架 RJ45 插座制造商已经专门采用不同的制造方法，以使用更加完善的频率补偿技术。

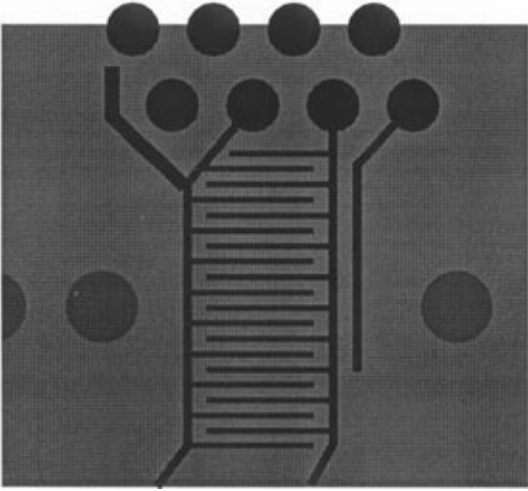
### 印刷电路板

印刷电路板是连接硬件使用的最早的、最常见的频率补偿方法之一。它采用相同的概念，利用传输路径中固有的电容耦合，通过叠加相位相关信号来抵消噪音。印刷电路板磁道沿着一条特定路径、并根据 UTP 电缆已知的特点而设计，有效地消除了磁道之间的耦合。这些磁道的电容值以皮法 (pF) 表示。

与引线框架一样，印刷电路板是一种可控制制造工艺，产生了高度可重复的性能特点。此外，在比引线框架高的扩展频率上，印刷电路板及其磁道的特点有助于实现可以接受的性能。

人们把频率补偿使用的印刷电路板技术称为分布式补偿。电容耦合的特点使补偿在整个板内部进行。这可能导致消极的补偿效果，因为电容从串扰源 (RJ45 插座和插头) 进一步移出。磁道还彼此紧紧对齐，产生了更高的串扰可能性，而不是更低的串扰可能性。如果电容值在板上的所有传输路径之间没有很好地匹配，那么可能产生线对间的电路阻抗不平衡问题。

在这些电路上应用更高的频率，对设计和制造工艺提出了更高的要求。在板内设计的电容值和公差对制造工艺非常敏感，其使用的分层和制造工艺 (蚀刻、电镀和焊接掩蔽) 都可能影响分布电容的数值和公差。



图六 PCB 频率补偿磁道布局

美国一家名叫 Superior 的公司已在几年前全面取得频率补偿使用的印刷电路板方法专利。通信布线业内正在积极实践这种专利。所有采用这种方法制造 RJ45 插座的厂商都要向 Superior 支付专利权使用费。由于价格不断下跌，这种方法对厂商的吸引力越来越小，大多数厂商都在寻找其它的替代方法。

目前，只有极少数的厂商采用印刷电路板方法进行频率补偿。大多数厂商已经转向引线框架，但现在有些厂商正重新考虑印刷电路板频率补偿方法，以满足建议的扩展频率性能标准。

### 表面安装技术

表面安装技术是电子制造商从印刷电路板转向的自然过渡途径。IC、电阻器和电容器等设备是为表面安装而专门设计的，而不是为放在板上的孔中而设计的。这导致了更精确地布放设备及更低的制造成本。

表面安装技术在 RJ45 连接器上为频率补偿提供了同样的精度和制造优势。但印刷电路板频率补偿在整个板上提供了分布式补偿方法；表面安装技术则通过在电路特定位置上建立特定数值的电容，而可以更好地控制频率补偿。

具有特定电容值的不同元器件可以从战略角度上，放在距串扰源很近的地方，从而便于平衡线对之间的电路阻抗。通常这些电容器的

电容值要低于印刷电路板，并具有  $\pm 0.1\text{pF}$  左右的较低的公差。最终结果是制造出更加精密的产品，保持与设计性能标准更紧密的公差范围。

表面安装技术还保证了维持连接器电路中的临界阻抗水平。表面安装技术不要求复杂的印刷电路板磁道，而具有不同长度和结构的复杂印刷电路板磁道可能会影响传输线路的阻抗。厂商可以制造出更加精密、更加可重复的产品，这些产品不仅比印刷电路板占用更少的空间，而且可以避免使用 Superior 的频率补偿专利。

采用这种方法的厂商发现，他们只需用优质射频传输级表面安装电容器，更换和重新布放其现有的商用表面安装电容器，即可以简单地过渡到扩展频率产品。这些电容器具有精度更高的电容值，使制造中的差异达到最小，同时便于使性能非常接近于设计人员的频率反应曲线。

表面安装技术也在 RJ45 插座中采用印刷电路板技术。这种方法要求的磁道较少，可以在磁道之间实现较大的距离。由于电容耦合随着相邻电路的间隔提高而下降，因此进一步降低了串扰。

Molex 企业布线网络部还采用表面安装技术，解决与短链路谐振效应有关的问题。在链路长度低于 15 米时，短链路谐振效应一般会使串扰量度失真。Molex 企业布线网络部通过平衡电路板磁道，建立一条共模信号接地路径，消除了超额谐振。

连接器设计还考虑了延迟偏差。在 4 对 UTP 电缆中，每个线对的绞合率不同，以最大限度地减少串扰。结果，线对的实际长度也有所不同。千兆位以太网和 622 Mbps ATM 等采用平行传输方案的应用，会因同步传输信号在不同时间到达接收器，而导致失真或信号定时偏差。这在超高数据速率时成为一个关键因素，因为在超高数据速率时，数据的比特在长度上要以毫微秒计算。Molex 企业布线网络部 PowerCat 连接器采用延迟均衡电路，保证链路延迟偏差低于标准中建议的 45 毫微秒。

## 摘要

随着数据速率和相应工作频率的不断提高，在传输路径内部的频率补偿已经成为电缆和连接硬件的关键设计要素。电缆制造商不断开发更加完善的导线和绝缘材料及电缆结构技术，以提高 UTP 电缆的性能特点。连接器制造商在 RJ45 插座中采用相同的方法，主要常量是 RJ45 引脚结构和 UTP 电缆的 IDC 接口。这些常量给频率性能带来了重大限制，迫使设计人员确定和采用更加完善的技术，以满足更高数据速率和工作频率的性能标准。

Molex 企业布线网络部工程师对频率补偿技术和原材料技术进行了广泛研究，保证其所有产品都能够提供最优的传输路径性能。

本文中的信息如有变更，恕不另行通告，且本文中的信息不应构成 Molex 所作的承诺。Molex 对本文中可能出现的任何错误概不负责。2001 年 Molex 企业布线网络部版权所有。Molex 和其它品牌名称均为各自公司的商标。



### Molex 企业布线网络部

北京办事处  
电话：86-10-6518-7841

上海办事处：  
电话：86-21-5396-6258

广州办事处  
电话：86-20-8732-2409

深圳办事处  
电话：86-755-367-9994

成都办事处  
电话：86-28-619-9881

香港办事处  
电话：852-2637-3759