

通信電纜的「遮蔽」和「屏蔽」

交通部中華技術服務社 顧問 劉時森老師
兼台灣區電信工程工業同業公會 技術諮詢顧問

引言

談這個主題之前先瞭解兩個英文字Screened和Shielded，在網路線上有什麼不同：

- Screened中文翻譯是“遮蔽”，也可說成“屏蔽”，字義上有把某些東西“藏起來不讓露出或被遇見”的意思。當網路線內的維持信號之完整性很重要時，就使用「屏蔽電纜(Screened Cable)」
- Shielded中文的意思也是“遮蔽”，要說成“屏蔽”也可以，但字義上有把某些東西“擋住，不讓進來”的意思，例如在電氣或電磁波干擾高的地方，就會使用「遮蔽電纜(Shielded Cable)」。

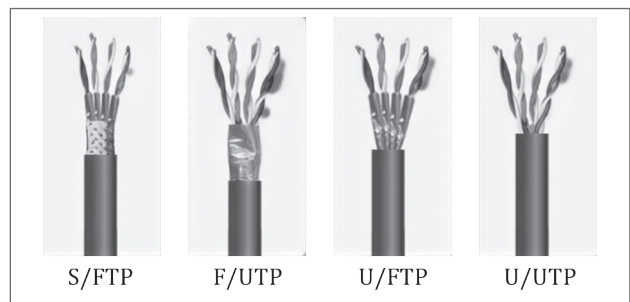
俱有這兩種功能的電纜大部份用在屋內乙太網路或光纖到府後面接電腦的線路，通稱“網路線”。而電信公司的外線電纜的干擾防護大部份採用遮蔽方式，如鋼帶鋁帶電纜、充膠電纜、和PE-PVC屋內電纜，通稱“電信電纜”。

為了說明方便，本文把Screened定義成「屏蔽」；Shielded定義成「遮蔽」。

網路線的重要特徵

遮蔽層(Shielded Layer)：用一層用鋁箔(Foil)或銅辮帶(Braid)製成包住網路內的四對扭絞芯線外圍，形成一道導電的籬笆把干擾雜訊引到接地。屏蔽層(Screened Layer)：網狀金屬辮帶包捲在線對外圍，對外來電磁波或射頻干擾有很好的防護效用。為使屏蔽產生最大效果，必要時可以接地把干擾雜訊發散掉。

1980年網路線問世。F/UTP(遮蔽/無遮蔽線對扭絞)、U/FTP(無遮蔽/遮蔽扭絞線對)、和S/FTP(屏蔽/遮蔽扭絞線對)三種網路線被列入全球標準成為市場的主流，後來漸漸的被UTP(無遮蔽扭絞線對)佔去市場，如圖一。



圖片來源：<https://emeasy.be/wp-content/uploads/2021/04/Diff-utp-type.jpg>

圖一 當年四種標準網路線



近年網路速率從2.5GBASE-T、5GBASE-T、提昇到10BASE-T。原本使用一對線傳輸的10BASE-T1L 通信協定也被修定成商用的網路線系統，而且大量使用無遮蔽網路線。

遮蔽層的引用歷史

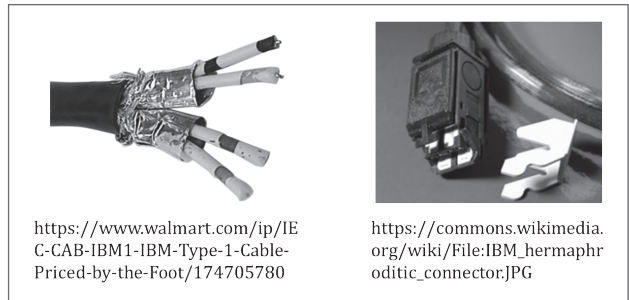
1970年代，電信線路把鉛皮電纜汰換成塑膠電纜。之前鉛皮電纜的鉛皮俱有遮蔽效用，其芯線使用紙絕緣。後來的塑膠電纜外被使用加上2.5%碳的PE，芯線採PVC絕緣。配線電纜 外被內圈與電纜蕊外圍之間捲繞著一層鋁帶，作為遮蔽雜訊。幹線電纜 因重量重，為避免佈放拖拉時傷及電纜結構，在鋁的外層加了一層鋼帶以增加電纜的抗張力，也對電纜的遮蔽效果也多少有助益。電信電纜因佈放在外，經年風吹雨打，除了需有遮蔽功能外還需防水。雖然電信線已經光纖化，但地下管道內仍有不少這兩種電信電纜。



圖二 現在仍在使用的電信電纜

就在電信網路使用塑膠電纜的同時，1980年連接電腦的區域網路出現在商辦大樓，採用權杖環網路(Token Ring) 傳輸技術，1985年成為IEEE 802.5標準，使用IBM

Type 1網路線。此網路線有兩對鬆弛扭絞的芯線，外包一圈屏蔽辦帶改善串音，稱為“2 Pair S/FTP”。使用獨特的“同極連接器(Hermaphroditic Connectors)” ，如圖三。



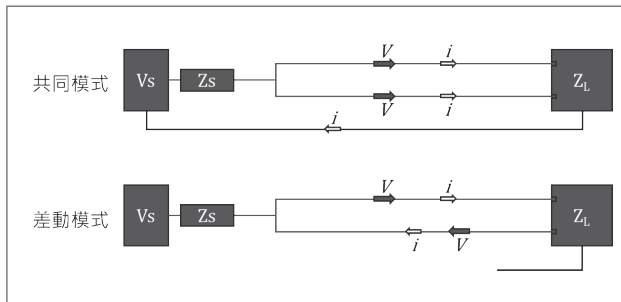
圖三 IBM Type 1 網路線與同極連接器

此路線為第一代區域網路線路，利用線對扭絞傳輸距離可維持100公尺，可使用廉價收發訊機。致於，箔片辦帶能改善多少串音及電磁干擾？以當時的扭絞設計及製造能力無法判讀出來。

1990，Token Ring網路的交換能力與可靠性受到肯定。同時，芯線扭絞設計與製造能力大幅進步，設計出UTP電纜，不需要鋁箔遮蔽或辦帶屏蔽，在10BASE-T和100BASE-T的運作頻帶內也能防止外來雜訊干擾及線對間串音。1991年第一版ANSI/ EIA/TIA-568 纜線施工標準的公佈、加上無遮蔽扭絞網路線的低成本，使得UTP網路線成為當時網路建置的最愛。

平衡傳輸

在我們生活空間裡，到處充滿著各種頻率不同的電磁波信號，對通信網路造成干擾，平衡傳輸防止雜訊干擾，而UTP網路線就是平衡型電纜。



圖四 共同模式與差動模式傳輸機制

通信电路信号的传输有两种模式，一是共同模式(Common Mode)，另一是差动模式(Differential Mode)，如图四。

电信号用共同模式机制传输时，两条导线的电压相位相同，电流也同向，共同以大地为参考点，例如直流电路(交流也是)、电力线、有线电视、空调系统电路、闭路电视等。来自引擎、变压器、日光灯、电台射频…的电磁波杂讯也是以共同模式传输，在屋内的电磁波几乎都是以这个模式传送。

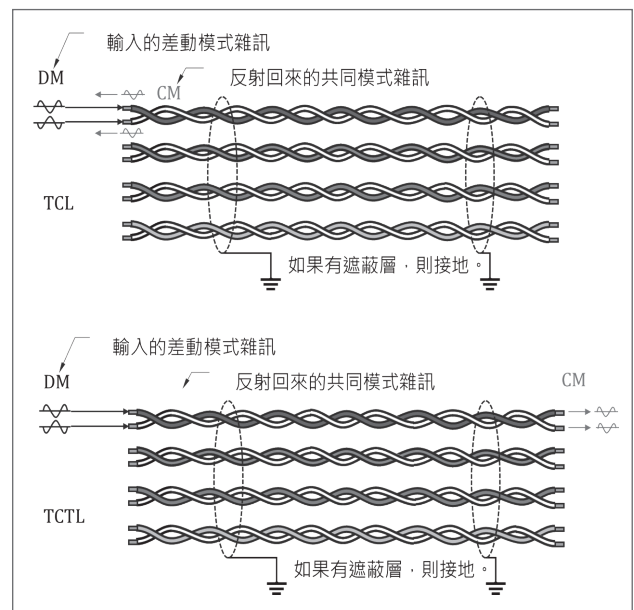
用差动模式传输时，两条线信号的电流强度一样，但相位相差 180° 反向的传送。两条线的信号相互参考，没有大地参考点。因方向相反，信号电流产生的磁场方向也相反，闯进来信号彼此互相抵消，形成先天性的不受杂讯干扰，也不需接地点。

理论上，对共同模式通信线路造成干扰的杂讯会同时耦合到差动模式的平衡扭绞线对。但收发讯机会侦测到杂讯与信号之间的峰值差，立即减去差值。删减后杂讯电压露出原形，成为两边对等且相位相反之电压，直接从电路上消失！

不过，在现实上线对无法扭绞到完美平衡的状态，因此TIA和ISO/IEC在标准中特别规范了Cat6等级以上网路线的扭绞参数：

TCL(横向转换损失)、TCTL(横向转换转移损失)、和ELTCTL(等级横向转换转移损失)等必须达到标准。

下图为TCL和TCTL测试架构，和平常回流损失及插入损失的测试相似。不同的是回流损失和插入损失测试的反射信号是差动模式(DM)，TCL和TCTL则测试的反射信号是共同模式信号(CM)。在TCTL测试的输出端使用等化器(Equalizer)把CM信号频率等化，则成为ELTCTL。



圖五 TCL和TCTL参数示意

电信电缆也是平衡型电缆，裡面的线对必须扭绞。因线对比网路线多出许多，其扭绞不是单一线对内芯线相互扭绞，而是每两对的四条芯线相互扭绞，形成一个组(Quad)，每十个组形成一个簇(Unit)，每十个簇再组成一个百对，常听到的600对、1000对、…就是由百对数组成。其中芯线的扭绞长度与



通信波長相關，因有DSL 電路，絞距平均在8~10公分。

電信電纜因佈設長度達數公里，芯線的扭絞不可能完美又接頭甚多，都有鋁帶遮蔽而且必須接地。惟傳輸頻寬不及網路線，沒有要求TCL和TCTL參數，但用於DSL電路時，則必須做串音測試。

Cat 6A等級以上網路線

平衡扭絞線對在30MHz以上時會發生差動模式和共同模式會相互轉換的現象，在電磁波的環境下會導致電纜的防雜訊能力降低，甚至於串音。幾經不同的測試，100BASE-T和1000BASE-T乙太網在30KHz極限時TCL和TCTL參數還可以接受。不過，依香農容量(Shannon Capacity)理論，10GBASE-T在30MHz頻寬時已經沒有任何容許雜訊的空間。然而加上遮蔽層後防雜訊的能力提昇兩倍，網路頻寬才因而得以提昇。

當網路使用平衡扭絞線對後，UTP網路線成為乙太網路的標準線路。不但成本相較於遮蔽電纜低，也比較容易佈放及終端施作。遮蔽網路線通常用於受到電磁波及射頻干擾(EMI/RFI)嚴重環境，及資安顧慮較大行政機關，像金融機構、政府、賭場(Casino)等。歐洲國家普遍傾向於使用這種電纜。

當乙太網路的傳輸速率10Gbps昇級到25Gbps，再到40Gbps時，網路線之屏蔽及遮蔽的又被廣泛的討論也有了新的認識。10-Gigabit Ethernet (10-GbE)傳輸包含37公尺CAT 6，及100公尺CAT 6A無遮蔽網路(UTP)，也使用鋁箔遮蔽(F/UTP)或100公

尺S/FTP CAT 7等級網路線。

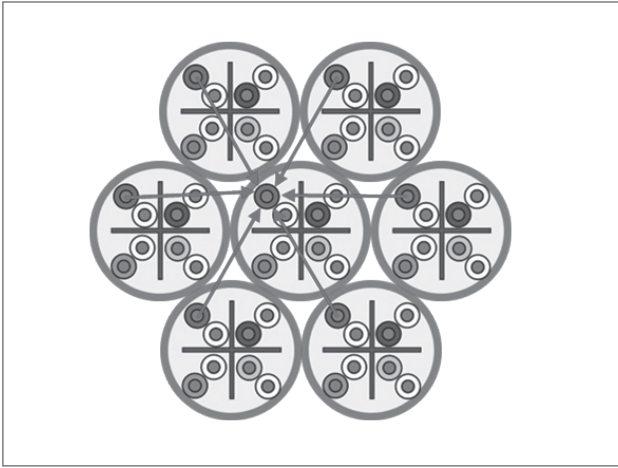
CAT 6A是ANSI/TIA 10-Gigabit Ethernet (10-GbE)傳輸標準指定的銅纜，線徑也比過往的網路線線徑粗。2009年公佈的ANSI/TIA-568-C.2 和802.3an 10GBASE-T標準：在4對帶有連接器的CAT6A跳線上，能夠傳輸數據10-Gigabit 100公尺。頻寬從原來CAT 6的250MHz延展到500MHz，又可以和前一代的CAT 5e 及CAT 6相容，還可以裝上POE系統。因其高速率傳輸及高頻段頻寬(MHz)，CAT 6A必須測試外來串音(Alien Crosstalk, ANEXT)，之前的網路線並沒有這方面的顧慮。

外來串音(ANEXT)

在10/100/1000BASE-T乙太網路所測的串音都是來自網路線內線對之間相互干擾，在10-GbE的網路環境裡的外來串音。

串音產生的原因很多，包括不同種類的網路線、其他電纜、線路插頭、纜線所走的路由、纜線內線對的扭絞密度誤差、鄰近線路元件靠近程度、及電磁波干擾。配線板及其連接的硬體也會帶來串音。

在實驗室裡，標準的測試方式是用七條網路線，其中一條被另六條圍繞，營造出網路線裡最壞狀況(The Worst Case)。被圍繞的這一條就是受害網路線，圍繞它的六條就是加害者。七條網路線長度相同，在設定的距離點相互連接。每一線對對其他的線對都相互量測一次，所以共量測了96次。

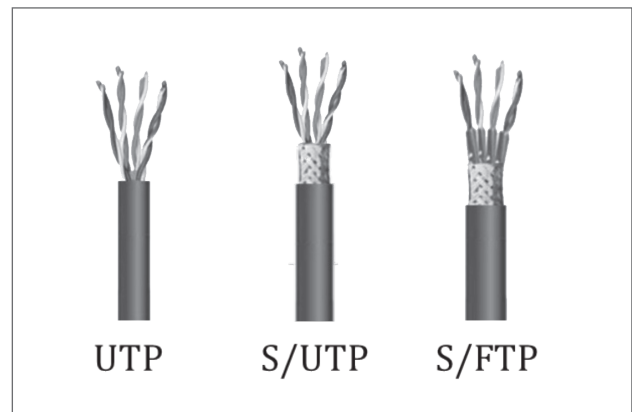


圖六 Cat 6A外來串音測試

CAT 6A的遮蔽層

ISO/IEC 指定CAT6 A有兩種：CAT 6A F/UTP 與 CAT 6A UTP，後面的兩組英文字母不一樣。第一個字母，用以識別網路線整體遮蔽的種類；後面的字母表示每一絞對的遮蔽種類。UTP為網路線的四對線皆無遮蔽線對，在美國大部份使用無遮蔽網路線，台灣亦同。

F/UTP的「F」是鋁箔，即網路線的PVC外被下方有一鋁箔管，「/UTP」是指鋁箔管內的四對線本身不再有遮蔽，但其扭絞仍然維持著。其他這類網路線的英文代碼有FTP (Foiled Twisted Pair)，每一扭絞線對都有鋁箔遮蔽；ScTP (Screened Twisted Pair) 是FTP和STP(Shielded Twisted Pair)的混血；S/UTP (Screened/Unshielded Twisted Pair)，辦帶遮蔽/無遮蔽扭絞線對；也有S/FTP (Screened/Foiled Twisted Pair)，辦帶遮蔽/鋁箔遮蔽扭絞線對。有一種CAT 7網路線的遮蔽為「辦帶遮蔽/辦帶遮蔽扭絞線對」，在歐洲很普遍。



圖七 Cat 6的遮蔽