



認識網路線干擾（上）

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

數位通信的數位信號在電路裡的強度必須大於雜訊，即信號雜訊比（Signal Noise Ratio，SNR）必須是正的，而且在容許的比次錯率（Bit Error Rate，BER）範圍內才有可能把數據串正確的傳到對方。

雜訊，基本上有三個來源：

1. 電位差雜訊（Differential Noise，Vd）：
纜線內相鄰線對彼此干擾或來自其他網路線的干擾（本文所指的纜線即網路線）。
2. 環境雜訊（Environmental noise，Ve）：
來自週遭電磁場。
3. 搭接迴路雜訊（Ground Loop Noise，Vg）：
：來自導線間對地不同電位差。

為了清楚的區分“搭接（Grounding）”和“接地（Earthing）”，本文訂義前者是利用打線（Bonding）連接在接地設施，後者使用接地棒直接打入地表。通信電纜在屋內都採用搭接模式接地。

網路線對雜訊干擾敏的感度依其傳輸速率

而定。例如，10GBASE-T網路很容易受外來串音干擾（Vd），是因其使用的網路線內部的線對是平行的排列。

相較於網路線內線對串音雜訊，來自外部的雜訊顯得很小。利用芯線對扭絞，以「差動模式（Differential Mode）」¹傳輸，可以把網路線內線對相互串音抵消，所以後來的100BASE-T（Cat 5或Cat 5e）及1000BASE-T（Cat 6）等網路佈放後幾乎不須做任何防Vd串音措施。

通信系統有一個“電磁相容（Electromagnetic compatibility，EMC）”的議題，所談的就是乙太網路對系統內部干擾的免疫性（Immunity）及系統本身對外放射（Emission）干擾其他系統的可能性。電磁相容是通信系統與其他電器或電子設備能否共存的重要指標。

1 用差動模式(Differential Mode)傳輸時，兩條線信號的電流強度一樣，但相位相差180° 反向的傳送。彼此相互參考，不以大地為參考點。因方向相反，信號電流產生的磁場方向也相反，彼此互相抵消，形成先天性的不受雜訊干擾。因為不以大地為參考點，所以也不需接地。另一種為共同模式(Common Mode)，即線對的兩條傳送的電流相位為同向，很容易造線對內串音。



網路系統對雜訊的免疫與放射是一體兩面的事。也就是說，纜線系統的免疫力與放射性成正比。有趣的是，當大家在討論系統的免疫力時，發現結構化佈線系統²在通信環境裡不會放射也不會干擾其他設備或系統。

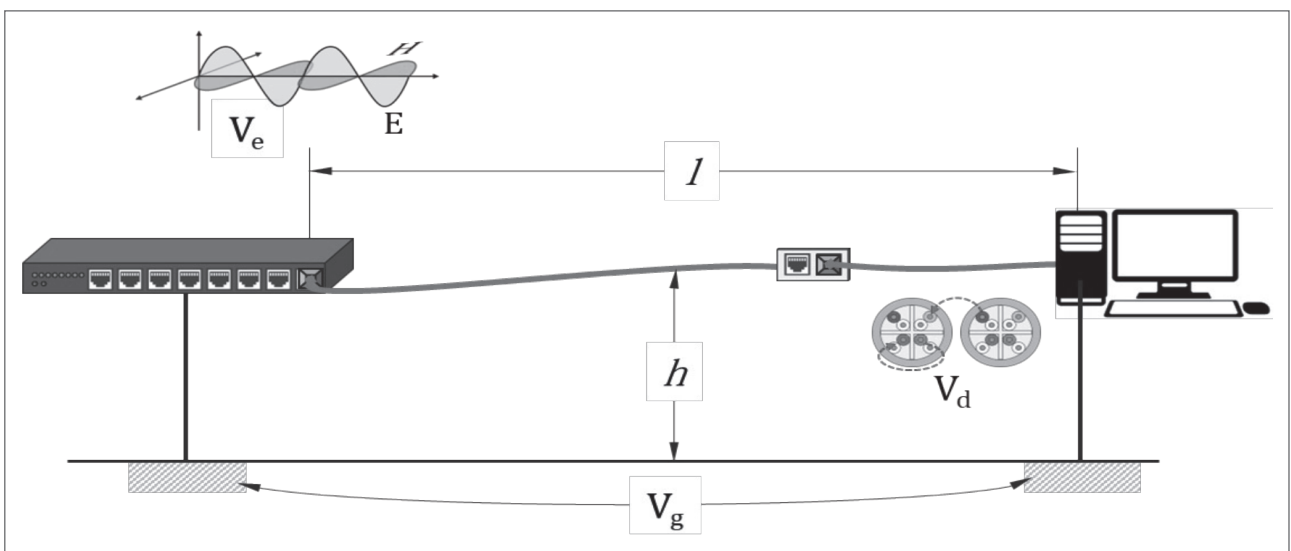
網路線對外來串音和線對間串音（ V_d ）的敏感性與纜線結構的平衡性關係密切。把芯線用鋁金屬材料遮蔽（Isolating）或隔離（Separating）可以消減干擾，例如Cat 6等級以上的網路線就有很好的雜訊免疫能力。

利用介電質³當絕緣把線對的兩條銅芯線隔開，或用鋁箔包捲遮蔽電纜芯線，譬如Cat 6A F/UTP的干擾免疫力比Cat6 UPT好得很多，就因為前者多了一層鋁遮蔽。Cat 7A S/FTP網路線除了線對的遮蔽之外，在四對芯線的外圍又多了一圈屏蔽（Screen）⁴層

，且每一線對間也相互遮蔽，使干擾幾乎趨近於“零”。此效果如果沒有平衡的纜線結構是不可能做到的！但纜線平衡結構是無法完美的。

環境雜訊（ V_e ）來自週遭電磁場。電磁場有磁場（ H ）源自線條的電感耦合（Inductive Coupling），單位A/m（安培/公尺）；也有電場（ E ）源自線對的電容耦合（Capacity Coupling），單位V/m（伏/公尺）。

磁場耦合發生在低頻帶（50Hz或60Hz），一般的平衡型網路線就可以對此干擾免疫。而電場就不同了，會依通信頻率在平衡型網路線產生「共同模式」的雜訊電壓。其感應機制就如同把網路線芯線當成天線一樣，如下圖所示：



圖一 區域網路的雜訊來源

2 即“綜合佈線”。使用大量的標準化元件，骨幹使用光纜，配線網路使網路線(也可以使配線光纜)、配線板、跳線等形成配線網路。

3 維基百科：「可被電極化的絕緣體。介電質(Dielectric，又稱“介質”)是一種可被電極化的絕緣體。假設將介電質置入外電場，則束縛於其原子或分子的電荷不會流過介電質，只會從原本位置移動微小距離。正電荷朝著電場方向稍微遷移，而負電荷朝著反方向稍微遷移。這會造成介電質電極化，從而產生反抗電場，減弱介電質內部的電場。」

4 「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)」。



下式是簡化後的天線感應模式，描述不同頻帶干擾及芯線對地距離所產生的電場影響：

$$V_c = \frac{2\pi A E}{\lambda}$$

λ = 干擾源的波長

A = 受干擾線對長度及對地平均高度所形成的面積

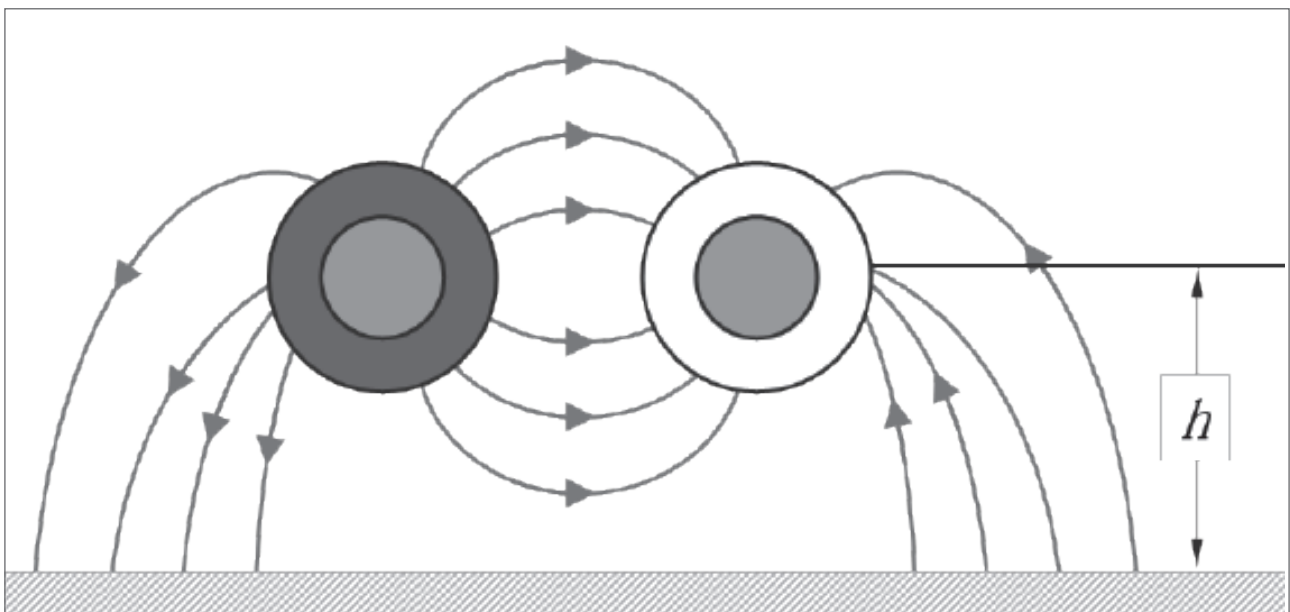
E = 干擾源的電場強度

干擾信號的波長從60Hz的5000公里，到100MHz或更高的頻段的1公尺上下。電場強度則依干擾源而不同，通常在距離30公分後即消失。

上式若依60Hz信號來計算電場干擾，強度只有mV的數千分之一。如果干擾的頻率在MHz的頻段內，則會產生明顯的電場干擾。

3V/m在照明業及商場環境是一個合理的參考值，在工業環境裡10V/m為合理參考值。唯一變數是迴線的面積A，是被干擾的線路長度及搭接點平均距離的乘積。

下圖是一線對受到「共同模式」電場干擾產生的雜訊電流模式的截面示意圖，這個電流干擾了網路線內外圍的芯線（無論是UTP或S/FTP）。在「線對內的電路」傳輸時會遇到電路阻抗，此阻抗的大小取決於線條對地距離（h）。



圖二 雜訊電流的「共同模式」

在UTP的環境裡前述阻抗大小受到下列幾個因素的影響：離金屬纜線架的距離、網路線內芯線週圍的金屬結構、非金屬纜線架的

使用、終端點位置等，這些因素在現實環境裡有時很難控制。

5 引入纜線的雜訊，或是纜線產生的雜訊多半都會以共模訊號的方式表現，因此二線纜線上的二條線上都會收到此一信號。而纜線產生的RF雜訊也多半會由二條纜線傳輸出來。



在S/FTP網路線裡此阻抗完全的被控制著，因為屏蔽和遮蔽（以下稱“屏/遮蔽”）本身可視為接地點。在UTP網路線裡，上圖h的長度從0.1~1米不等；在S/FTP網路線裡，h可被限制在0.001米以內。S/FTP網路線對電場干擾的免疫力比UTP網路線強100~1000倍！

網路線對電場干擾的敏感度全靠網路線結構的平衡性及屏蔽或遮蔽。平衡結構良好的網路線，如Cat 6A（含）等級以上網路線，對30MHz的電磁波干擾應該有免疫力，但在傳輸高頻時必須有屏/遮蔽。

例如，為使網路傳輸性能更好而使用數位處理技術（Digital Signal Processing，DSP）包含：壓縮、解壓縮、濾波、等化、調變與解調變等技術，使網路傳輸頻率在100MHz時仍可維持合理的20dB信號雜訊比。而網路線單靠平衡機制對電場干擾的“最小免疫力”也是100MHz時20dB，但是Cat 6網路線的傳輸頻率在250MHz，Cat 6A在500MHz，Cat 7達600MHz，甚至於Cat 8更高到2GHz。這也就是為什麼Cat 6等級以上網路線會用屏/遮蔽的原因！

下篇待續

