寬頻數位用戶線路

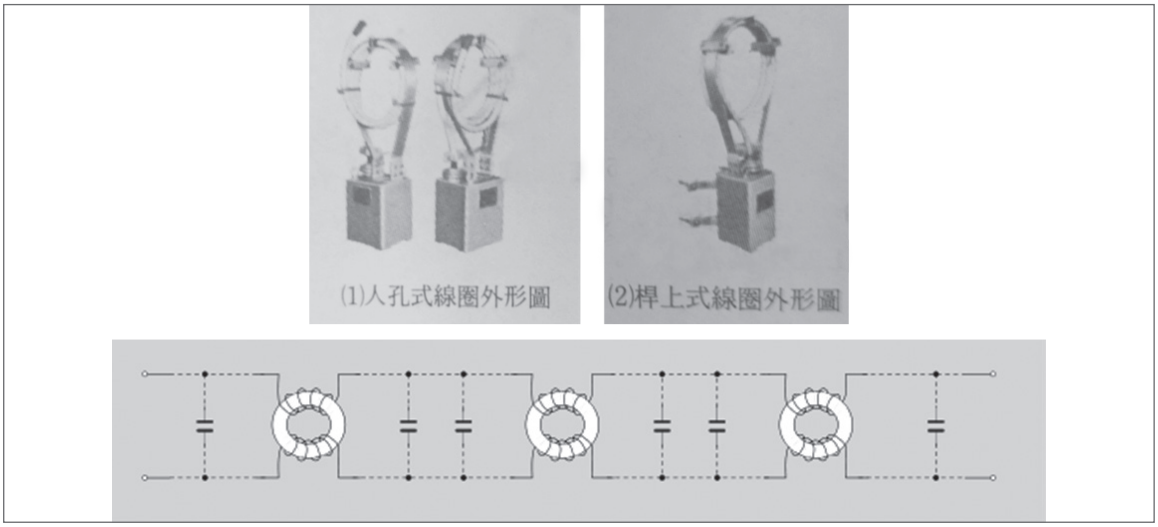
交通部中華技術服務社 顧問 劉時淼老師
兼台灣區電信工程工業同業公會 技術諮詢顧問

電信網路的線路，原則上可分成三種：一是長途線路，連接各大城市通信聯絡點的機房(稱為長途局)；二是中繼線路，連接各城市內機房與機房的線路；三是用戶線路，連接家裡或辦公室電話到附近機房的線路。本文所要談的寬頻要路就是第三種。

一、數位用戶線路的濫觴

電話時代(民國70年代)，用戶線路絕大部份傳送類比信號，只有少數的通信設備(如傳真機、數據機)使用數位信號。僅管有這些少數的數位傳輸存在，當時的用戶線路就叫〝用戶線路〞或〝用戶迴路〞，指的是電話線路。

那時電話用戶線路的應用有兩種方式：1. 電纜芯線可以複接(即T接)，當用戶要裝電話時，就在最近的手孔內把配給該戶的電纜芯線用搭接的方式引進屋內，而且屋內還裝了分機也是複接；2. 使用加感線圈，為了使信號傳輸得更遠，在線路上約每1.3公里裝一個「加感線圈(Loading Coil)」，如圖一。



資料來源：https://en.wikipedia.org/wiki/Loading_coil

圖一 加感線圈

其實早在民國50年代，電話用的4kHz類比音頻信號已經成功的被轉換成64kbps的數位信號，並以劃時多工(Time Division Multiplexing，TDM)[1]方式用於長途及局間中繼線路，但在進入用戶迴路以前必須轉換成類比信號才能被用戶話機使用。

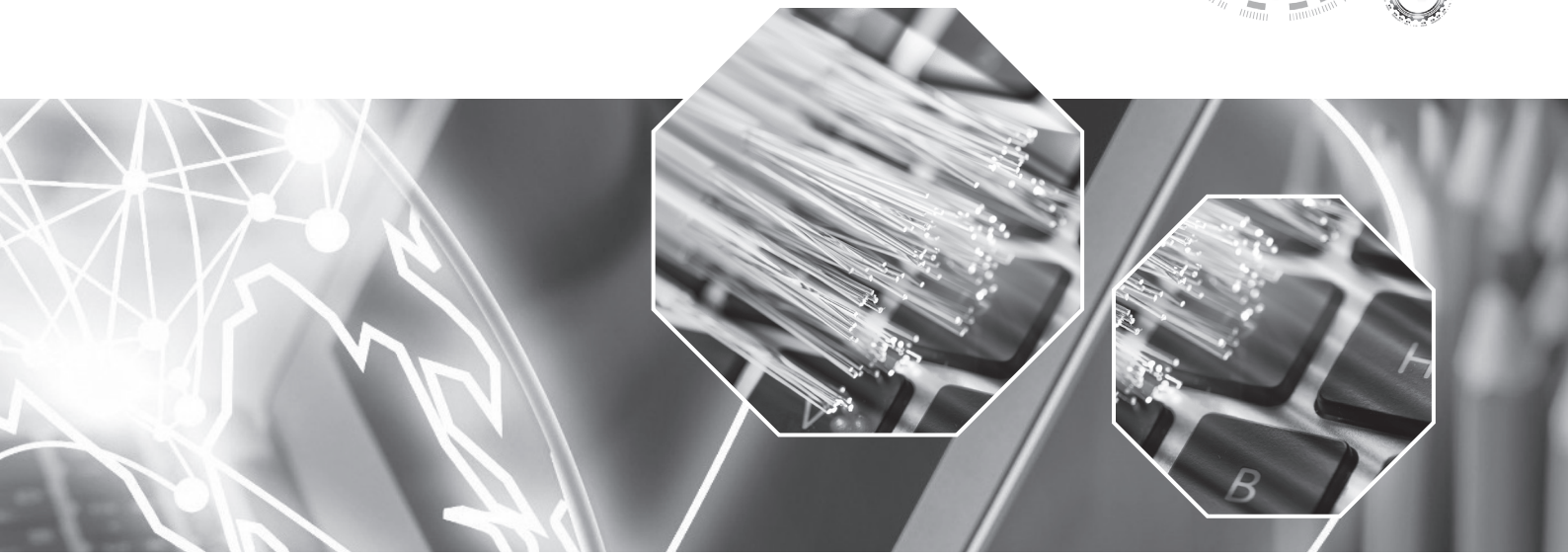
在此同時，傳送數位信號的網際網路已經出現，但僅侷限於區域網路內供學術界資料分享使用。而且當時的電腦笨重得難以移動，如果要資料分享，只能郵寄磁帶。另一方面，各電腦網路間也沒有溝通的標準，直到西元1983年建立了網路傳輸控制協定(TCP/IP，Transmission Control Protocol/Internetwork Protocol)[2]，各個網路不同的電腦才有共同的語言互相通信。民國60年代，電子信箱開始在用戶迴路上傳送。民國80年代早期，世界廣域網路(World Wide Web，WWW)出現，且能夠傳送圖像。

電信網路本來就是通信使用，其信號電壓與網際網路信號類似，很自然的成為網際網路〝寄生〞的網路。而市面上桌上電腦開始普及，迫使電話用戶線路也接上電腦，用戶線路開始大量的傳送數位信號。從此用戶線路就被冠上〝數位用戶線路(Digital Subscriber Line，DSL)〞的名號。但是囿於頻寬及線路雜訊的限制，當時最好的DSL傳輸速率只有56kbps，還稱不上〝寬頻〞。

網際網路數位信號的傳輸頻段通常高於電話的4kHz，前面提到的加感線圈會截斷4kHz以上的高頻信號，導致用戶迴路不能傳送高速率信號。當時電信局不得不把掛在線路上的加感線圈移除，此動作叫〝除感〞。

1 劃時多工為一種傳輸技術。把各個不同來源的信號依時間序切割成許多小段，切割後的信號依序放入共同頻道一齊傳送，到了對方再用和送端同步的時間序擷出這些小段的信號重組成原來的信號。例如T1電路(1.544Mbps)可以同時傳送24個56kbps不同來源的語音數位信號，E1可以傳送30個64kbps語音信號。當然，T1可以再多工成更高階的數位頻道，T3(45Mbps)，即28個T1；E3(34.368 Mbps)可以多工16個E1。

2 TCP/IP為網際網路做數據交換的協定。當電腦在網路上進行端對端通信時，規定數據要如何分封成封包、定位址、傳送、指定路由、及到達目的地後被接收。俱有使任何網路設備障礙過後，自動恢復通信的能力。此協定分成兩大塊。TCP定義網路的通道，在傳送之前把數據分割成包封，到了目的地後再重組回來。IP定義封包的位址及路由，每個網路的閘門電腦確認所送來的每個包封能到達正確的目的地。



另外T接會使數位信號在接點產生反射而造成比次錯誤，也不能在DSL線路出現。於是，電信局線路人員又忙著把已經T接的芯〝解T〞[3]。在解T的同時，線路設計新設或新申裝話機時放棄T接的設計，把複接釜底抽薪的除掉。

大家忙成一團，此時電話線路已是滿天下[4]，本文所要談的“寬頻數位用戶線路”在當時仍未見踪影。

二、寬頻數位用戶線路

除感及解T後，用戶線路的傳輸速率不斷的提高。民國80年代，台灣開始出現不是真正的〝寬頻數位用戶線路〞。也就是「整體服務數位網路(Integrated Service Digital Network，ISDN)」，也稱為IDSL(Integrated Digital Subscriber Line)。ISDN在一條用戶線路上可傳輸兩個64kbps頻道供語音使用，以及一個16kbps數位頻道，業界叫做〝2B+1D〞，總速率144kbps，可做雙向通信。但因成本太高，以及推不出〝殺手級〞的服務，在市場上只是曇花一現，現在只拿來當備份用。

當網頁不停的演進需要多媒體傳送時，客戶端開始需要更大的頻寬，電信業者就在已經解T及除感的用戶線路上傳輸更高的頻段，推出各種不同速率的數位線路以滿足客戶，這些數位線路通稱〝xDSL〞，有ADSL(Asymmetric DSL)、VDSL、HDSL(High data rate DSL)…等。傳送的頻段分配如下：語音部份仍然使用0~4kHz；25~160kHz為數位上行(客戶→機房)；240kHz~1.5MHz做數位下行(機房→客戶)使用，這才是本文認定的「寬頻數位用戶線路」。

3 〝解T〞是指把裝電話時複接的芯剪斷改成直接，後來新裝的電話一律改成〝切接〞，直接把從機房來的芯線切斷和進客戶家的芯線做直線接續。

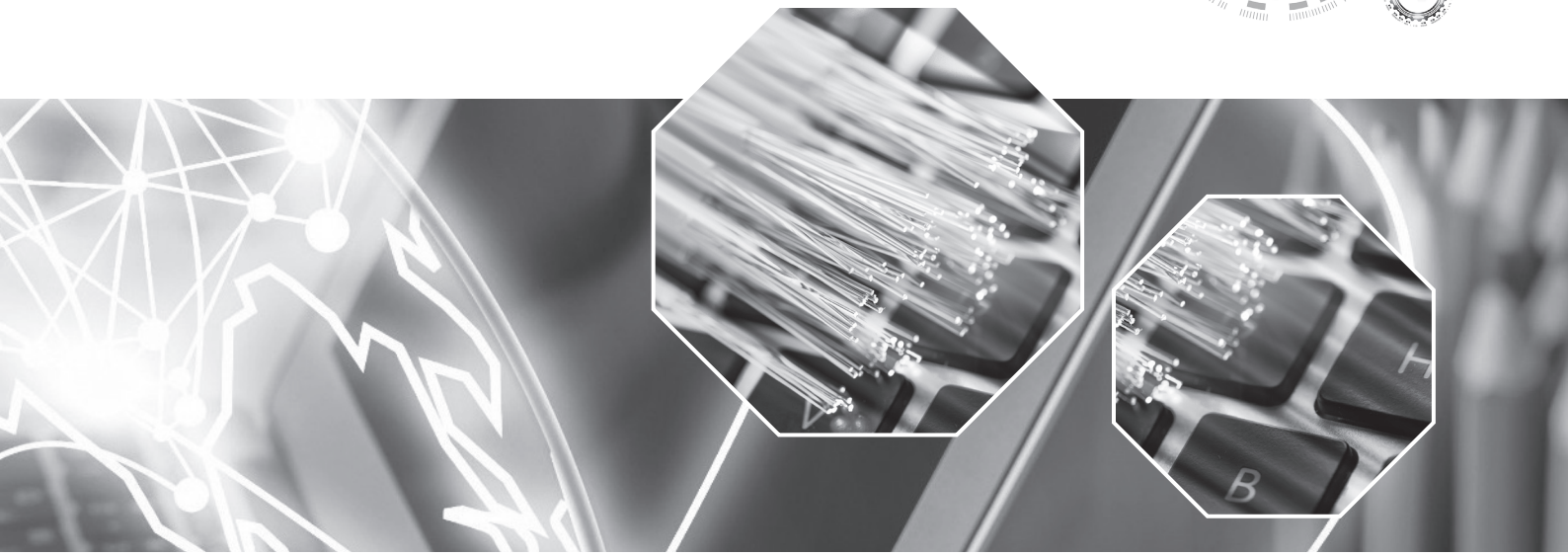
4 是指ADSL剛推出的民國90年初，民國91年台灣的電話數13,069,613戶，是世界成長率最高，也是電話密度最高的國家。

DSL的傳輸速率與距離受到線路施工品質及線路衰減的限制。數位信號在線路上的衰減以其載波頻率的開平方(根號值)速度增加。所以頻越高，衰減越大。縱使前面提到的複接及負荷線圈都已移除，這些限制仍在。

不過，靠著收發信機調變技術的進步可以把通信速率再提高。在收信端設有濾波器把語音和數據信號分開，即俗稱的〝黑盒子〞。語音進入電話，數據信號進入數據機。同樣的，在機房端語音與數據也要分開，語音進入交換機；數據信號進入「數位線路接取多工機(DSL Access Multiplexer，DSLAM)」。DSLAM與用戶端的黑盒子透過DSL高頻部形成點對點(Point to Point，P2P)連線。

下表是各種DSL種類及傳輸速率。

DSL種類	上行(最高)	下行(最高)	傳輸距離	使用線對
ADSL (Asymmetric DSL)	800kbps	8Mbps	5公里	1對
HDSL (High Data Rate DSL)	1.54Mbps	1.54Mbps	3公里	2對
IDSL (ISDN)	144kbps	144kbps	10公里	1對
MSDSL (Multi-rate Symmetric DSL)	2Mbps	2Mbps	8公里	1對
RADSL (Rate Adaptive DSL)	1Mbps	7Mbps	5公里	1對
SDSL (Symmetric DSL)	2.3Mbps	2.3Mbps	6公里	1對
VDSL (Very High Data Rate DSL)	16Mbps	52Mbps	1.2公里	1對



ADSL是市話線路尚未光纖化時，市面上最普遍的DSL。下行速率高於上行速率，又稱為〝不對稱數位用戶線路〞。線對兩端各連接一個數據機，客戶端的稱為〝ATU-R (ADSL Transmission Unit-Remote)〞；機房端的稱為〝ATU-C (ADSL Transmission Unit-Center office)〞。一條ADSL(即ATU-R與ATU-C之間)有三個電路：下行高速率電路、上行中速率電路、及一般電話電路。即使ADSL電路故障，電話仍可正常使用。最佳的連網上、下行比例為10：1，很適於家用上網連接、隨選視訊、遠端網路接取。

HDSL利用既有銅纜(0.4mm線徑)傳送1.544Mbps或2.048Mbps，不需幫電器，用0.5mm線徑可傳輸3.6公里以下。通常用於專線，如銀行、公司、或電玩類的商辦。依技術規格，HDSL傳輸T1時需使用兩對線，各送一半速率。傳輸E1時使用三對線，每對傳送1/3速率。兩者現在都被其他的DSL取代。

MSDSL為複合速率DSL，在台灣少見。

RADSL稱為〝速率調配數位用戶線路〞，其速率隨著線路長短、線路品質、及客戶需求而調整的ADSL，可提高DSL的服務率。

SDSL是對稱型數位線路，即為只用一對線的HDSL。適用於只有一對電話線的家庭用戶及任何需要對稱型傳輸服務的場合，但傳輸距離不超過3公里。

VDSL為高速率用戶數位線路。如果要傳得遠需靠光纖支援：下行速率可取自同步光網路(Synchronous Optical Network，SONET)及同步數位位階(Synchronous Digital Hierarchy，SDH)[5]的標準速率(155.52Mbps)之下階速率51.84Mbps、25.92Mbps、及12.96Mbps等，上行有1.6Mbps~2.3Mbps、19.2Mbps，另外還有與下行速率相同的對稱型服務。

5 SONET為北美光通信速率標準，SDH為歐規光通信速率標準。台灣則兩者皆用。

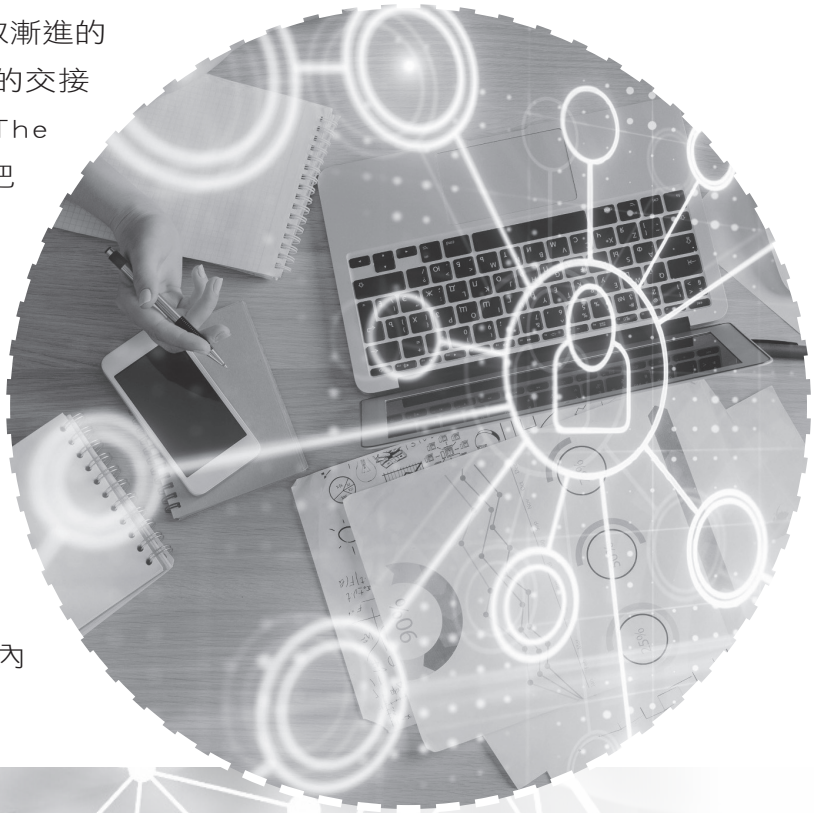
三、用戶光纖

電腦不但普及，CPU處理的速度越來越快。從2000, April: Windows CE 3.0開始，經過Windows Vista、Windows 7、Windows 8、Windows 10、到現在的Windows 11，不但停不下來，將來會更快。客戶對頻寬的需求就被電腦昇級速度牽著走，迫使電信公司不得不使用光纖。

光纖質輕、細徑、頻寬大、不受電磁波干擾，這些優點對電信公司的線路相當有利。質輕、細徑使得線路好施工，線路施工人員也很高興，同時提高管道及電桿的使用效率。頻寬大可以提供更高速率服務，增加電信營收。不受電磁波干擾為電信網路省去一大半的維護工作，同時也維持屋內線路通信品質。

民國90年後用戶線路開始光纖化，但是無法一次到位進入客戶的家，只能採取漸進的方式。首先是把光纖佈放進入路邊的交接箱，即〝光纖到箱體(Fiber To The Cabinet，FTTC)〞。這種做法可以把用戶線路的銅線長度縮減約一半，銅線短就可以傳送更高速率，搭接光纖可以提供舊客戶VDSL服務。

民國85年後新建的集合住宅政府規定必須有電信室，光纖順勢進入新建大樓，形成光纖到大樓(Fiber To The Building，FTTB)。這麼一來銅線縮短得只剩下從電信室到住宅這一段，平均在100公尺以內，而且屋內PE-PVC電纜芯線線徑都是0.5mm(外線都是0.4mm)，傳輸速率可提昇到100Mbps以上。

民國92年，台灣第一個光纖到府在林口的「遠雄未來城」出現。民國93年101大樓通信網路建設完成，光纖到所有的辦公室，上網速率可提高到300Mbps，未來會更高！從此，新建大樓開始建設光纖網路，變成標準配備。

而舊公寓也想要光纖到府，可是不太很順利，因為有的公寓沒有空管無法佈放光纖。但是，〝山不轉，路轉〞，業界推出一種可以釘在牆上的明線光纜，解決了住在舊公寓住戶的〝頻寬慾〞。還有一種會〝穩形〝的光纜，呈透明狀，貼在牆上如果不仔細注意，還真的不知光纜就在那裡。