



網路線演進史

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

1880年中期，一連串的發明構成最早的通信網路，用一對架空明線可以傳送摩斯碼約64公里，系統不斷的改良，電傳打字機（Teletype）出現，再使用這網路近100年。接著，全錄、Intel、和DEC（Digital Equipment Corporation Network）發展出最早期即粗又硬直徑0.5英吋的同軸電纜當做網路纜線，叫做粗網際網路（Thick Internet），可傳傳送10Mbps，但次只能傳送一個信號，又叫“基本頻帶系統（Base Band System）”¹，10BASE¹，不同於一次可以傳好幾個頻道的“寬頻系統（Broad Band System）”。

後來10BASE2出現，使用較細且較軟的直徑0.25英吋的同軸電纜。1980年，網路平台（Hub）被開發出來，後來演變成網路交換機（Switch），可以連接扭絞線對。「扭絞線對電纜」最後成為乙太網路主要線路，即我們稱的“網路線”，本文就從網路線談起。

一、前言

話說1973年，Bob Metcalfe（美國工程師兼企業家）建立了第一個連線全美國電腦系統的「高等研究計劃署網路（Advanced Research Projects Agency Network）」，通稱“阿帕網（ARPANET）”²，卻被哈佛大學拒絕連網，就和一位電氣工程師David Boggs進入全錄公司的「帕羅奧多研究中心公司（Palo Alto Research Center, Inc, PARC）」工作。1974年，這兩人創立了一個有“乙太（Ether）”³概念的區域網路。1975年全錄取得了專利，區域網路開始滲入了人們的日常工作，到現在還一直在演進。

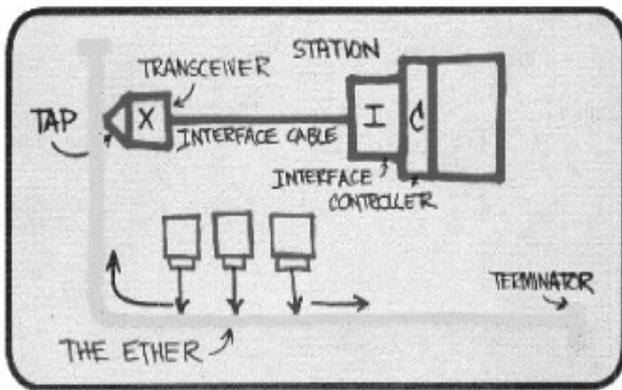
1976年6月，Metcalfe在「美國國家計算機會議（National Computer Conference）」中畫了圖一，圖中有“乙太（ETHER）”一詞。1976年，Metcalfe 和David Boggs在「計算機械協會之通信（Communications of

1 “10BASE”的意思是能傳送10Mbps的基本頻帶網路。

2 是世界上第一個營運的封包交換網路，為全球網際網路的鼻祖。

3 以太英語：Luminiferous Aether，或譯為光乙太，以太(英語：Aether或Ether)原本是古希臘哲學家亞里斯多德所設想的一種物質，為五元素(地 Earth、水 Water、火 Fire、風 Air、空 Spirit)之一。19世紀的物理學家，認為它是一種曾被假想的電磁波的傳播介質。

the Association for Computing Machinery, CACM)」共同用“乙太網路”一詞提出：「乙太網路：區域網路的分配性包封交換（Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks）」劃時代的報告。從此「乙太網路（Ethernet）」開始成為電腦網路的名字，而且演進了好幾代。



圖一 乙太網路原始手稿

圖片來源：<https://www.oreilly.com/library/view/ethernet-the-definitive/1565926609/ch01.html#:~:text=He%20chose%20to%20base%20the,Thus%2C%20Ethernet%20was%20born.>

二、乙太網路的發展

網路線的演進和乙太網路型態的發展水乳交融，先瞭解乙太網路版本的演進，就知道為什麼電腦網路的線路從同軸電纜發展到現在的高速率網路線及光纖。

到目前為止，在電腦網路中有乙太網路（Ethernet）、快速乙太網路（Fast Ethernet

）、吉比次乙太網路（Gigabit Ethernets）及百吉比次乙太網路（100 Gigabit Ethernet）等四種型式。1983年，乙太網路（Ethernet）標準核准，比網路線標準晚兩年。Ethernet又叫古典乙太網路（Classic Ethernet），用10BASE-x表示：10表示速率10Mbps、BASE是使用的傳輸頻寬、X代表其使用的媒體，可以是同軸、網路線、或光纖。

Fast Ethernet-TX是快速乙太網路，速率100Mbps。1995年由IEEE802.3U訂定，僅活躍約三年就被Gigabit Ethernet取代。

Gigabit Ethernet（GbE或1GigE），速率1億比次。IEEE-802.3a訂定現行的1000BASE-T，在1999年商用，由於速率較高，而纜線設備與前一代相同，加上成本優勢很快的就取代Fast Ethernet。有時會看到GE/FE的標示，表示這個網路可跨世代使用。

2002年IEEE 802.3ae訂定10 Giga Ethernet，縮寫10GE、10GbE、或10GigE。是連接在乙太網路架構的“一群電腦網路”，速率10億比次/秒，採全雙工（Full-duplex）⁴連接網路交換機間點對點通信。和先前各乙太網路標準一樣，媒體可使用扭絞纜線、光纖，距離100公尺，只是纜線的等級必須再提高。但是先前各乙太網路的半雙工（Half-duplex）⁵或是平台接力（Hub Repeated）的運作機皆未出現在10GE。

4 全雙工：在同一個載波頻道內，雙方信號可以同時傳送。

5 半雙工：雙向通信，但一次只能一方傳送，一方接受。



10GE網路可連接多種不同類的線路。一台網路交換機 (Network Switch) 或是網路媒體控制器 (Network Interface Controller) 透過插拔式線路介面模組 (Pluggable PHY Modules)，例如小型化插拔器 (Small Form-factor Pluggable, SFP) 可連接不同類型的媒體 (線路)。

2010年，IEEE 以802.3bae為本，訂定802.3ba 標準，即40Gigabit Ethernet和100 Gigabit Ethernet，同時也規範了媒體層包括背板 (Backplanes)、網路線、光纖 (含多模態與單模態) 規格。100GbE可支援及整合現有乙太網路，使用高等級網路線可傳送距離10公尺。接著在2011年昇版為802.3bg；2014年，802.3bj；2015，802.3bm；2018，802.3cd...以及其他版本。第一個兆比次系統在2017年核准。2021年，802.3cu標準100GbE單模態光纖系統規範⁶，可傳送約80公里。

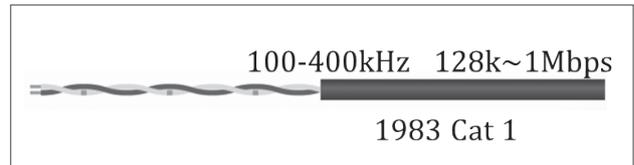
三、網路線的演進

1984年，IBM發明標誌環 (Token Ring) 用於區域網路，在線徑較粗的扭絞電纜上一次可以傳輸4Mbps。

1. Cat 1

1985年Cat 1網路線問世，傳輸速率是1Mbps。是一對沒有遮蔽的「扭絞線對 (Unshielded Twisted Pair, UTP)」，就是我們常常在網路線外被看到的“UTP”三個

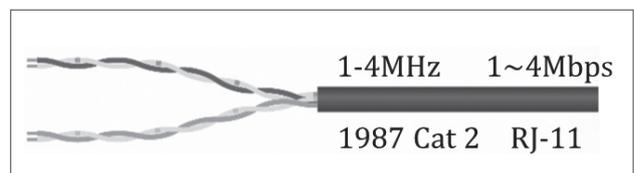
英文字母。這種電纜容易受到電磁波的干擾，但它是一種便宜且容易佈設的線路，常用於連接個人及商用電腦到電信網路的終端設備 (即當時的黑盒子)。



圖二 Cat 1

2. Cat 2

不久⁷，改良型的Cat 2出現，4對扭絞UTP (之後的網路線都是4對扭絞)，頻寬4MHz，速率4Mbps。儘管TIA/EIA-568⁸未把Cat 2列入官方標準，但Cat 2是既成事實，常用於ARCnet⁹也用於電話網路，只是後來漸漸被下一世代的線路取代。



圖三 Cat 2

3. Cat 3

1989年，電纜元件經銷商Anixter為了業務需要推出電纜分類計劃，第一次把用四對扭絞線對構成的數據電纜規格 (包含Cat 2) 用白紙黑字寫出來。1991年，被電信產業協會TIA認證成為第一個Cat網路線的官方標準，卻把Cat 2排除在外，從Cat 3開始。

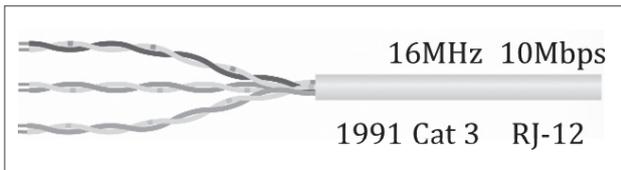
⁶ <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/100-Gigabit-Ethernet-100GbE>

⁷ 年份不詳。

⁸ 電信產業協會/電子產業協會(Telecommunications Industry Association/ Electronic Industries Association)，電信網路及線路的佈設皆由此組織製訂規範，規範建築物內通信網路佈線。

⁹ 電腦資源連結網路(Attached Resource Network, ARCNET)，是Token Ring 使用的協定。

之後未有新的標準出現，Cat 3即一直被業界為標準使用在商業大樓當語音使用。用其中的兩對，頻寬16MHz可傳送10Mbps速率，另兩對偶爾會被用在數據傳輸，或者也拿來傳送語音，為未來30年網路線舖上發展之路。



圖四 Cat 3

4. Cat 4

在Cat 3之後Cat 4出來，也是UTP，是Cat 2的昇級版，頻寬20MHz，速率16Mbps，用於電話網路及數據網路，曾有一短暫時間用於Token Ring、10BASE-T¹⁰、及100BASE-T4¹¹網路。ANSI/TIA-568¹²從來不承認Cat 4。不久就被Cat 5取代。

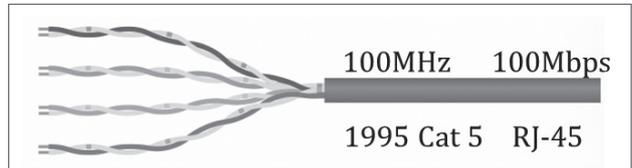


圖五 Cat 4

5. Cat 5

1995年Cat 5出來，是Cat 3的昇版，頻寬100MHz，是第一個能傳送雙速率（

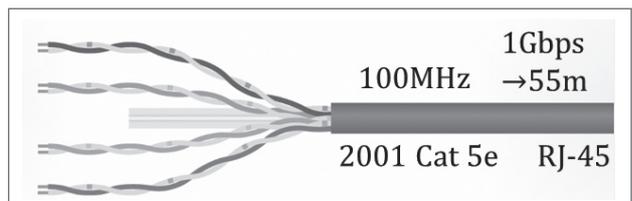
10/100Mbps）的網路線，可用來傳送影片及電話100公尺。



圖六 Cat 5

6. Cat 5e

Cat 5的加強版Cat 5e在2001年被推出，頻寬100MHz，可傳送1Gbps速率55公尺。與Cat 5最大的不同是其線對扭絞密度比較高，且四對線中間設有一十字型骨架用以維持線對的扭絞及確保線對間的相對位置。抗串音相當有效，但仍有少許的串音，只是不影響系統的運作。Cat 5e可支援快速乙太網路及Gigabit Ethernet全雙工通信。甚受市場歡迎，是後來大樓電信網路新設及更新的第一個選擇。最新的改良把其頻寬提高到350MHz¹³，四對同時送收，全雙工。



圖七 Cat 5e

10 10BASE-T是電氣和電子工程師協會(Institute of Electrical and Electronics Engineers，IEEE)802.3所訂標準。「10BASE-T」相較於註1的「10BASE」多了一個T，T代表扭絞線對，連接RJ45插頭，速率10Mbps，距離100公尺。

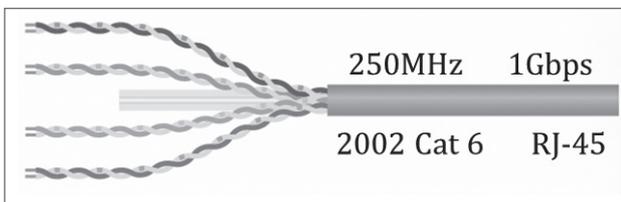
11 100BASE-T4是早期快速乙太網路運作(Implementation)的名字。需要4對語音級扭絞線對，系統性能劣於使用Cat 5的100BASE-TX。傳輸距離100公尺，一對線用於發信，一對用於接收，另兩對用來交換傳輸方向。每發送一次就要用3對線，使得100BASE-T4只能做半雙工傳輸。在業界使用不多。

12 ANSI/TIA-568是商業大樓電信網路佈線技術標準。相較於80的TIA-568多了ANSI，是因為TIA這個組織製定的標準，被負責制定美國國家標準的非營利組織，「美國國家標準協會(American National Standards Institute，ANSI)」認可。

13 <https://www.blackbox.co.uk/gb-gb/page/25275/Resources/Technical-Resources/Black-Box-Explains/Copper-Cable/Category-5-and-5e>

7. Cat 6

2002年6月，TIA/EIA公佈Cat 6標準（ANSI/TIA/EIA-568-B.2-1），把網路線的頻寬一次提高到250MHz，傳送1Gbps 55公尺，10Gbps 35公尺。不同於舊版的Cat 5e只用兩對線通信，Cat 6一次使用四對線通信，可以和Cat 3、Cat 5、及Cat 5e相容。此網路線在纜線的結構上比任何前世代的網路線更為嚴謹，線路性能更好。Cat 6有遮蔽及無遮蔽兩種版本。



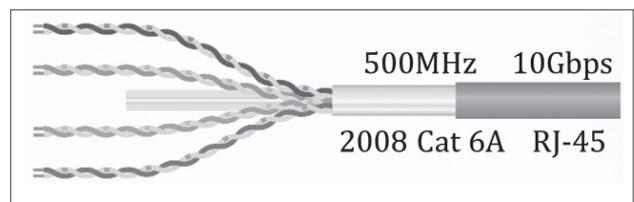
圖八 Cat 6

凡是用於Cat 6的線路元件如插座、插頭、跳線、配線板（Patch Panels）、跳接（Cross Connect）、及纜線都要符合Cat 6的規格。這些元件必須單獨測試合格才能使用，然後再於系統做整合測試。此網路線的總量串音衰減（Power-Sum Attenuation-to-Crosstalk Ratio，PS-ACR）¹⁴在200MHz時必須。

8. Cat 6A

是Cat 6的加強版（Augmented Cat 6）。2009年8月TIA公佈「平衡型扭絞線對電信電纜及元件標準（Balanced Twisted-Pair Telecommunications Cabling and Components Standard）」，ANSI/TIA-568-C.2規範Cat 6A

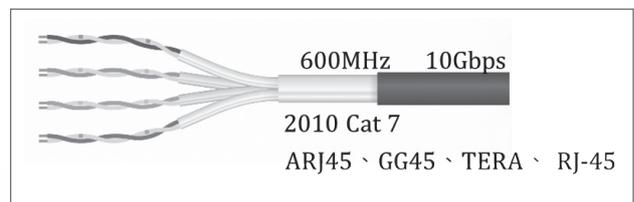
網路線，可傳輸10Gbps 100公尺，是10GbE乙太網路使用的標準網路線。頻寬500MHz，特別重視總量外來串音（Power-Sum Alien Crosstalk，PS-ANEXT），所以此網路線的四對芯線外圍與被覆之間加上遮蔽，在結構上稱為F/UTP，F指的就是鋁箔遮蔽（Foil Shield），適用於電磁波干擾嚴重的地方。



圖九 Cat 6A

9. Cat 7

ISO/IEC¹⁵在2002年推出Cat 7，傳輸速率仍維持在10Gbps，距離100米，頻寬600MHz，但未獲得TIA認可。此網路線在結構有兩種F/FTP¹⁶或S/FTP¹⁷兩種。Cat 7/F是指Cat 7 F級網路線，通稱Cat 7，可以和Cat 5e及Cat 6相容，但對串音及系統雜訊的要求更加嚴格。從Cat 7開始，網路線開始使用ARJ45、GG-45、或TERA插頭及插座，這些插頭都可以和舊式的RJ-45插座相容。



圖十 Cat 7

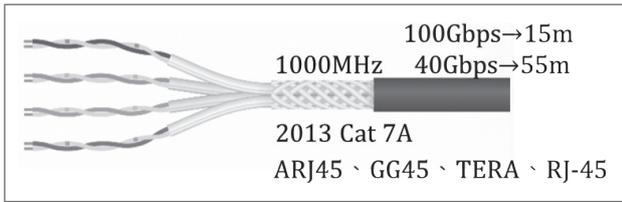
14 Power Sum Attenuation-to-Crosstalk Ratio是高速率乙太網路常用的測試參數之一。干擾總量(Power Sum)是指在網路線內各線對會彼此串音的總和，衰減串音比(Attenuation-to-Crosstalk Ratio)是指每一對線的近端串音量與線路的衰減量之比，為了使收端能夠在可接受的比次錯誤率範圍收到正確的信號，此比值必須越小越好。單為用dB表示。

15 ISO/IEC：International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission，為國際標準組織及國際電機委員會，製定各種通信電氣標準單位。

16 F/FTP (Foiled/Foiled Twisted Pair)網路線：四對線外圍使用共同鋁箔遮蔽，而內部四對線再各自用鋁箔遮蔽。

17 S/FTP(Shield Braid/Foiled Twisted Pair)網路線：四對線使用共同網狀編織遮蔽，而四對線各自使用鋁箔遮蔽。

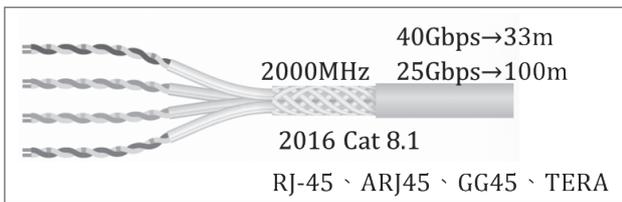
ISO/IEC在2010年又推出Cat 7/Fa級網路線，用S/FTP結構再把頻寬推高到1,000MHz，可支援10BASE-T乙太網路傳輸，是Cat 7的加強版，即Cat 7A，在2010年由IEC/ISO訂出規範，適用於電磁波雜訊較嚴重的IDC機房。



圖十一 Cat 7A

10. Cat 8

此為較新的網路線，主要用於IDC及伺服器機房做為交換機之間的連線，不適合一般家庭使用。頻寬2GHz，速率40Gbps時可傳送30公尺，25Gbps可傳送100公尺。只要是RJ45終端的乙太網路且終端設備不需全部更新時，可以很容易的昇級到Cat 8網路線。不但容易昇級，還可以搭配POE（Power Over Ethernet）使用。不過，此網路線很難普及化，因為25/40GBASE-T系統耗電。



圖十二 Cat 8

四、網路線還是目前最好用的數據線路

網路線從1985年開始到2016年的Cat 8，

將近40年（2024）。即使光纖到府已是建築物的標配，乙太也開始使用光纖，網路線卻一直盤據建築物內而且性能不斷的演進，這種現象和電腦的進步及銅線的親民特性有密不可分的關係。

光纖固然有很多優點，但接續時必須有特殊工具。這些工具價格昂貴且需要專業知識、技術、特殊物料，像熔接機、連接器組裝、穩定光源、光功率計等，造成光纖無法全面深入一般民眾的消費市場。網路線則沒有這些問題，雖然測試儀器不便宜，然比起熔接機、光源、光功率計等則相對的便宜。

可以直接插接電腦或其他智慧元件是網路線能夠在通信領域一直受歡迎的主因。除非使用者刻意要傳輸高畫質電視畫面，HDMI在一般的居家及辦公很少被用上。雖然HDMI線路漸漸的普遍，但是它的長度平均在15公尺上下，網路線的允許長度為100公尺。網路交換機和黑盒子的板面絕大都是RJ45埠，不同於HDMI插孔，兩者連接時必須用上轉接器。如果要傳輸的更遠，如60公尺或90公尺，就必須在HDMI線路加上POE。

網路線可以傳送高畫質電視畫面嗎？端看所使用的乙太網路是什麼版本。Cat 5e網路線可以傳送1080p，但需要兩個轉接器。Cat 6以上的網路線都可以傳1080p的畫面，如果要傳送4k或是HDR¹⁸影片，可用Cat 7等級以上網路線。

18 高動態範圍(HDR) 影片技術對於重現肉眼所見顏色以及最亮白和最深黑之間的對比，從相機到後期製作，再到播放，重建影像真實感。從技術上來說，涵蓋了更高的峰值亮度和更暗的陰影。