

## 網路架構大概論 1—ARPANet 歷史與 MAC、IP、DNS 概念篇

60 年代末期，美國政府與各大學研究機構，幾乎都擁有當時頂尖的電腦設備，但電腦設備之間訊息的傳遞相當複雜及不方便。美國國防部也意識到，把電腦全部擺在一起也不是個辦法，萬一不幸的被炸毀，美國就喪失戰爭主導權，是相當危險的事情，遂有將電腦分布在不同地區的想法。

就筆者寫過幾次網路專題後的感想，真心覺得有必要把網路這個部分向讀者說明白。因為許多網路產品設定的背後，其實需要大量的背景知識支撐；失去了背景理論，讀者也會很難了解為何需要這樣設定，而這些設定又影響了什麼地方？

我們不是要培養 CCENT/CCNA 人才，所以內容也不會談到使用命令列操作 Cisco 路由器、查詢路由表、尋找網路節點錯誤這種較為艱深的部分。但封包的結構、如何繞送這些基礎知識一定會說清楚、講明白。話說正題之前一定要有個引言、主菜前一定有沙拉、教授第一堂課一定會講些五四三……此次也將從較為輕鬆地方面開始講起，簡述網路發明的時空背景歷史，以及利用最簡單的例子，使大家概略了解網路是怎麼一回事。所以說，本系列為大概論，不是大的概論，筆者可不想寫出一堆連自己也看不懂的符咒出來。

### 開始萌芽的網路

在江湖上有此一說「戰爭為科技之母」，雖然戰爭冷酷無情，多人死傷。但卻可加速經濟發展（前提是沒被打敗）、激發科學家的創意、帶領科技進步。

電腦就是個活生生的例子，現今公認第一台能夠自由改變線路（以現在的眼光來看，就是能夠執行不同的程式），執行通用計算的電子電腦 ENIAC，就是戰爭之下的產物，美國陸軍在當時為其主要出資者。

60 年代末期，美國政府與各大學研究機構，幾乎都擁有當時頂尖的電腦設備，但電腦設備之間訊息的傳遞相當複雜及不方便。美國國防部也意識到，把電腦全部擺在一起也不是個辦法，萬一不幸的被炸毀，美國就喪失戰爭主導權，是相當危險的事情，遂有將電腦分布在不同地區的想法，就算其中幾台電腦因為某些原因無法正常運作，也僅僅是失去了部分的運算能力，但這些分散在各地區的電腦連結卻又成了個大問題。

### ARPANet

在許多時空背景因素之下，便展開了將電腦相互連接的研究。1962 年，J.C.R.Licklider 提出全球網路的構想，當年稍晚，便離開了麻省理工學院，加入國防部的 ARPA 部門。

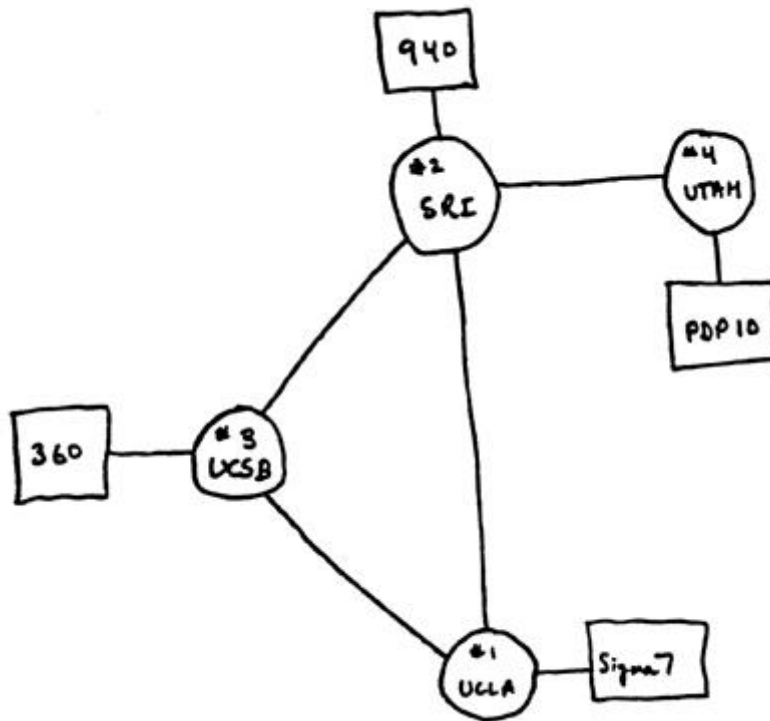
ARPANet 在當時的架構為分封交換（現在的網路架構也是），算是個相當創新的設計。

當年的時空環境背景，大家對於相互連接這檔事還是以電話為基礎的迴路交換（circuit switching）上打轉。迴路交換的原理，主要建立在 1 條資源相斥的線路連結，在雙方建立通道、獲得線路使用權之前，是無法交流的。這條通道在建立之時、通訊途中，直到通訊結束，均屬於這 2 個終端節點所有，別人無法介入，也無法奪取這部分的資源；就算通訊途中沒有訊息傳遞，還是必須佔有 2 節點之間的線路資源。

分封交換（packet switching）的出現，使得網路向前跨了一大步，現今以 Paul Baran 和 Donald Davies 並列分封交換的發明者。Paul Baran 當時任職於 RAND 公司，依據 ARPA 的要求，設計 1 個能夠在戰時存活下來的網路架構，而這個架構就是 On Distributed Communications。當時美國軍方依靠高頻無線電溝通，相當容易受到核爆造成大氣中帶電粒子影響，無法通訊；On Distributed Communications 的概念很簡單，利用調幅解調的方式，在許多地方鋪設中介器（relay），由於中介器的大量分布，使得節點可以相互支援，某個節點掛了還有另一個節點接手，且同時消滅這麼多個節點也不件容易的事；在實驗中，甚至能在 50% 的節點失效時，依然持續運作。訊息傳遞方式也因應此種傳播方式，將訊息切成小段，到目的地時再重新組合成有意義的內容。

英國人 Donald Davies 則是在一次參訪麻省理工學院時，感覺到目前基於電話概念的網路，必須在每 2 個節點之間維持不中斷的連線，付出成本過高。相對於人類的通話習慣而言，電腦之間的通訊比較接近於瞬間完成，然後一段長時間保持安靜，使用電話網路並不適合。於是心中便萌發出分封交換的構思。返回英國之後，替英國國家物理實驗室建造了第一個基於分封交換的網路。

之後 ARPA 的 ARPANet 吸收了這兩者的概念，發展出 NCP（network control program）的網路協議，各地的電腦利用稱為 IMP（interface message processor）的分封交換節點進行連結。當然，聰明的你一定馬上就想到，NCP 是今日 TCP/IP 的前身、IMP 就是現在閘道器或是路由器的功能。



▲ ARPANet 草創初期的 4 個網路節點。（圖片擷取自 Computer History Museum）

### 分封交換的好與壞

將資料切割成段，再經由未知的路徑傳播出去，直到目的地接收到之後，再將訊息重新組合成資料，這麼做相較於原始的線路交換，有以下 3 個優點。但相對於電話所採用的線路交換技術，分封交換也是有 3 個明顯的缺點：

#### 優點：不需確認線路連結狀態

相信大家都有打電話的經驗，撥號、嘟聲、對方接起，這 3 步驟就是在確保線路是否暢通，若是線路不通就不會有嘟聲，對方忙碌就不會接起電話。

分封交換不須進行此步驟，將資料標明目的地之後，就將東西傳送出去。中間經過的路徑並不是我們所需要擔心的，只要資料送到即可；就像你的包裹中途經過幾個轉運站無所謂，只要送到對方手上就好。

#### 優點：線路乘載量大

分封交換只在資料傳送時佔有線路資源，不像電話接通後，在掛斷前都必須佔有線路，使得每條線路可由多台裝置共用，線路的利用率急遽增加。

### **優點：多方交流**

由於線路並不為某雙方所佔有，專用，所以能讓多台裝置在同一時間相互聯繫。

### **缺點：不具即時性**

由於封包所經過的路徑無法掌握，加上無法確定線路資源，有可能較晚傳送的封包反而比較早傳送的封包還要快到達目的地，或者是根本到不了目的地，使得網路電話這一塊，市場接受度一直不是很高。

### **缺點：無保證頻寬**

分封交換使得線路利用率提高，但卻無法保證每台裝置能得到的頻寬究竟有多少。

### **缺點：保密性差**

迴路交換使用單一線路連結，保密性佳，而分封交換在某部分的網路架構以「廣播」的方式傳遞資料，保密性較差。

## **ARPANet 轉進 TCP/IP**

1969 年，ARPANet 以實驗性質誕生，草創的網路節點只有美國西部 4 個網路節點，包含加州大學洛杉磯分校、加州大學聖塔芭芭拉分校、史丹佛研究機構、猶他州大學。

與此同時，著名的電子郵件和 FTP、Telnet 也隨之誕生，現代網際網路的雛型已漸漸具備。從 1969 年之後開始，許多美國大學陸續加入 ARPANet 之中，而於 1973 年時，NORSAR（Norwegian Seismic Array）挪威地震陣列加入 ARPANet 中，成為第一個美國本土之外的網路節點，在跨海電纜還不普及的年代，以 1 顆跨大西洋衛星連結美國本土的 ARPANet 與 NORSAR。1975 年 ARPANet 正式移交給美國國防部通訊署管理，脫離實驗性質。

之後越來越多的節點加入 ARPANet，使得原始的 NCP 協定無法負荷大量的節點，暴露出 NCP 的 2 大重要缺失：

各別主機無唯一位址：NCP 指在解決 2 個電腦主機的通訊問題，而非一大群主機的通訊問題，隨著越來越多的電腦加入網路，NCP 顯得越來越難用。

無糾錯機制：不像現在的 TCP/IP 系統，有著糾錯以及 ACK 封包的接收回應，NCP 是相當赤裸地在網路上運輸，一旦發生傳輸錯誤，便會使得網路傳輸效率下降。

藉由 NCP 協定的缺點，引導下一世代 TCP/IP 出生，Robert Elliot Kah 和 Vinton Cerf 並列為 TCP/IP 的共同發明者，其中最重要的概念就是以 1 個統一的網際網路協定，將不同網

路協定包起來，送到網際網路上傳輸；TCP/IP 也被稱為 DoD（Department of Defense）國防部模型，至於為什麼就不用筆者多做解釋。

TCP/IP 利用層層封包將資料包起來，將資料以及除錯、繞送，甚至是最底層的傳輸媒介皆分開來處理，讓同一份資料能夠在不同傳輸媒介上轉送（如電或微波），各層各司其職，最大化網際網路的相容性。TCP/IP 在發展初期也歷經多次版本改革，在正式應用到 ARPANet 之前，共歷經 4 次的變化，變成我們所熟知的 IPv4。

1983 年開始，所有連結到 ARPANet 的電腦都必須使用 TCP/IP 網路協議，舊的 NCP 協議被完全廢止。也由於 ARPANet 日益龐大，分割成 2 個部分，一部分還是稱為 ARPANet，供未來的學術研究用途；另一部分為 MILNet，專供美國國防部使用。

## **NORSAR**

挪威地震陣列，除了持續監控地震以及研究地震模型之外，更重要的一點就是監控核子武器的發展，找出地球上哪一地點正進行核子試爆，對於 ARPANet 的軍事用途來說，與其連接也是必然的結果。

## **Internet 正式誕生**

ARPANet 的出現，關鍵仍是為了軍事利益，與普羅大眾的相關性較低，使得連結 ARPANet 的電腦均以軍事或是教育目的為大宗。後來的 2 個事件直接導致了網路的平民化和商業發展：BSD-Unix 和 NSFNet。

當年的個人電腦作業系統，可不像現在 Windows、Mac、Linux 三分天下的局面，各種作業系統蓬勃發展，其中以加州柏克萊大學改寫的 BSD-Unix 廣為學生所接受，DARPA（由 ARPA 改名而來）便贊助 1 項為 BSD-Unix 撰寫 TCP/IP 程式的開發項目，並與加州柏克萊大學合作把 TCP/IP 整合進 BSD-Unix 中。

另一方面 NSF（National Science Foundation）國家科學基金會開始計畫架構超級電腦與高速網路架構，同時也獲得美國聯邦政府的經費補助。由於 NSFNet 網路為一般性質，民間企業只需繳納線路使用費，即可連接至 NSFNet。加上 ARPANet 預算刪減，與 NSFNet 的骨幹網路速度較快的影響，1989 年 ARPANet 正式退役，由 NSFNet 接手 ARPANet 的網路服務部分。

接著 WWW（World Wide Web）在 1991 年被 Tim Berners-Lee 所制定出來，結合 HyperText、TCP、DNS 技術，將網路視覺化呈現，使用者不須擁有太多的電腦知識即可存取網路服務，更加快了網際網路的普及。回想過去，若非美國國防部將 TCP/IP 標準開放出來，以及 WWW 的無償使用，現今人類社會的溝通不會這麼方便。

## 設計網路、了解網路

看完前方歷史的介紹，各位讀者應該大致上了解網路誕生的原因，但筆者現在要讀者完全拋棄以前所學，無論是上課時打瞌睡，OSI 7 層只有聽到 1 層的內容，還是自行所學的網路概念，現在通通丟掉，從零出發，自行設計 1 套讓電腦能夠交換資料的簡易概念架構。事實上，這也是 Cisco 教材的第一章節，藉由設計網路架構，讓讀者親身了解網路的必要條件有哪些。

### 讓 2 台電腦交流

老師都教導我們，遇到問題要 divide & conquer（分解並各個擊退），一次設計全世界的網路可能跳太快了，就從最簡單的 2 台電腦開始吧。

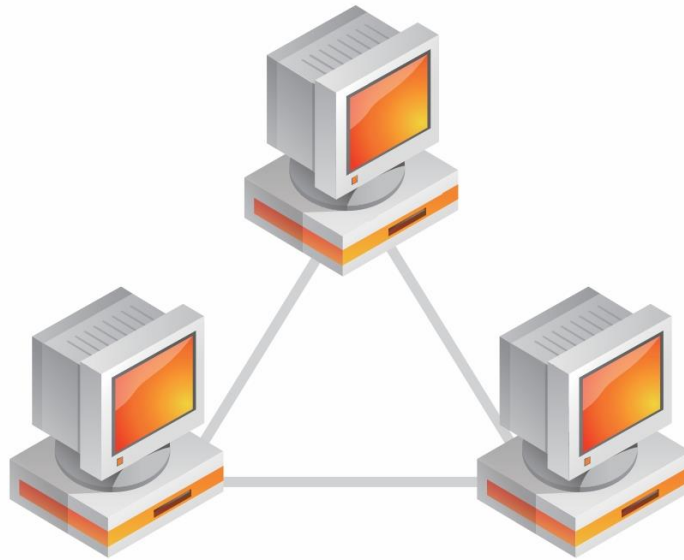
參考人類的溝通行為，2 個人在相互溝通時，以共同能夠理解的聲音、圖像、文字、動作傳遞訊息，那電腦呢？大家應該都知道電腦依賴著電能運作，使用電來傳遞資料也是合情合理的方式，使用電線將電腦連結在一起，改變線路上的電位差，藉以傳遞訊號。

當然，由於你是發明這項連結方式的人，當然也要決定電腦如何利用這條電線，如果說人類利用「手」創造圖像、「嘴巴」說話、「身體」扭動傳遞資訊，那電腦就利用「介面卡」改變電線的電位差。

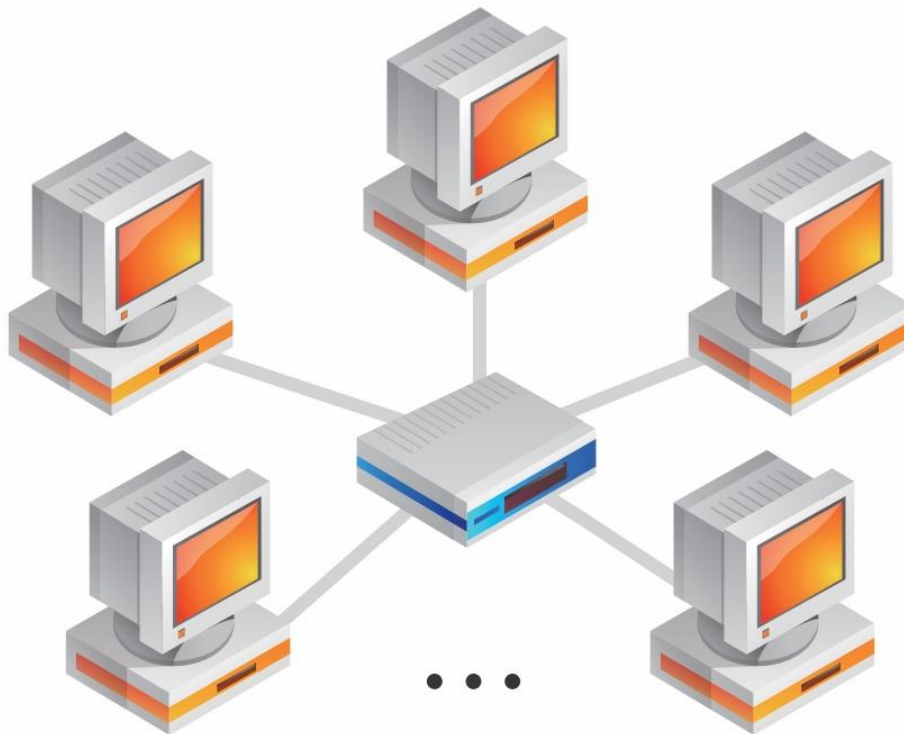
連接 2 台電腦溝通的問題解決了，那 3 台電腦互連該怎麼辦呢？簡單啊！再插張介面卡，與另一台電腦連結不就好了嗎？

很好，我們成功的解決 2 台以及 3 台電腦的連接問題，但前面的問題都還是小問題，萬一今天所有的電腦都需要與其它電腦連結，豈不是要插上  $n$  張網路卡， $n$  條電線才能夠溝通了嗎？

回頭檢視人類社會是如何解決類似的問題，在此筆者首先想到的是貨物的解決方案。如果甲地需要將貨物搬到乙地，也是開條道路就成了，但如果世界各地的商品想要互通有無，難不成需要特地建立許多專用道路搬運嗎？看看貨運的例子，採用的是物流倉儲中心的做法，無論需要送至何地的商品，一律先配送至這個倉儲中心之後，再送至各商品的目的地，或許電腦也可以採取這種集中之後再配送的作法。



▲3 台電腦的连接情况，各台電腦皆有 2 張介面卡、2 條電線與其它電腦连接。



▲利用 1 個盒子將所有傳輸電線串在一起

首先，我們需要 1 個夠大的盒子，能夠容量所有電腦的電線。接著我們需要類似門牌號碼的地址系統，就像貼在貨物上的配送單一様，才能夠在集貨之後，依照門牌地址，決定要

送去哪裡。這個部分也相當容易，將每張介面卡編號即可，並在送出貨訊的時候，在資料之前聲明這份資料是給哪台電腦的東西，其它台電腦在收集到這些資料時，便能夠了解這並不是給我的東西，略過這份資料。由於這個盒子聚集了許多電腦線路在一起，我們將它稱之為集線器，好了，連結  $n$  台電腦的問題克服了。

到此為止，我們已經設計出 1 個可實用的電腦網路，也設計出 1 個集線器，避免電腦線材過多的問題，準備向全世界發表這個歡天喜地的新功能時，卻又發現了幾個問題。

首先，電腦是給人用的工具，這個網路應該具備某些彈性，當電腦或介面卡損毀時，接手的電腦能夠照常接收資料，意即當 001 電腦損毀時，頂替的 002 電腦能夠接收給 001 電腦的資料。其次，第二個問題則是無法擴編電腦網路的大小，網路的大小被限制在集線器的連結數量。

這 2 點看似不重要，但對於向全世界發布這個標準時，是不可缺少的使用彈性。究竟有什麼方式，能夠解決這 2 個問題呢？

第一個問題的解決方案其實不難，既然電腦是給人用的，只要在資料前註明這是給哪位仁兄的資料不就可以了嗎？可是電腦又很笨，不認得目前是誰在使用電腦，使用者也可能跳來跳去的使用其它台電腦，似乎要有 1 份清單標明小明、小黃、小白、小美……這些不同的使用者，目前正在使用哪台電腦。

這份清單將介面卡編號（001、002、003……）和使用者名稱（ming、yellow、mei……）做連結，並隨時可供更新、查閱，這樣才知道小明目前使用哪台電腦，資料才不會處理錯誤。

| 使用者 | 使用者名稱  | 目前使用的電腦 |
|-----|--------|---------|
| 小明  | ming   | 001     |
| 小黃  | yellow | 004     |
| 小美  | mei    | 005     |
| ... |        | ...     |

▲利用表格，將人名與電腦做結合。

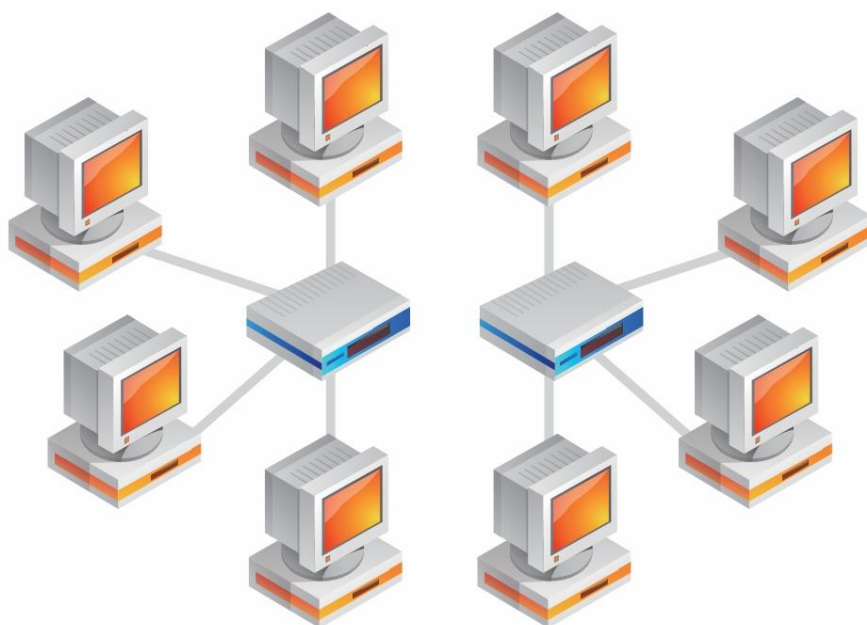


第二個問題的解決方法，同樣也是參考貨運的例子，物流業者在全世界不同地區建立獨立的物流中心，每個物流中心負責鄰近地區的貨物配送事宜，例如美國的物流中心負責北美洲部分，德國負責西歐部分。如果今天有件包裹需要從加拿大運抵英國，它的運送流程如下：

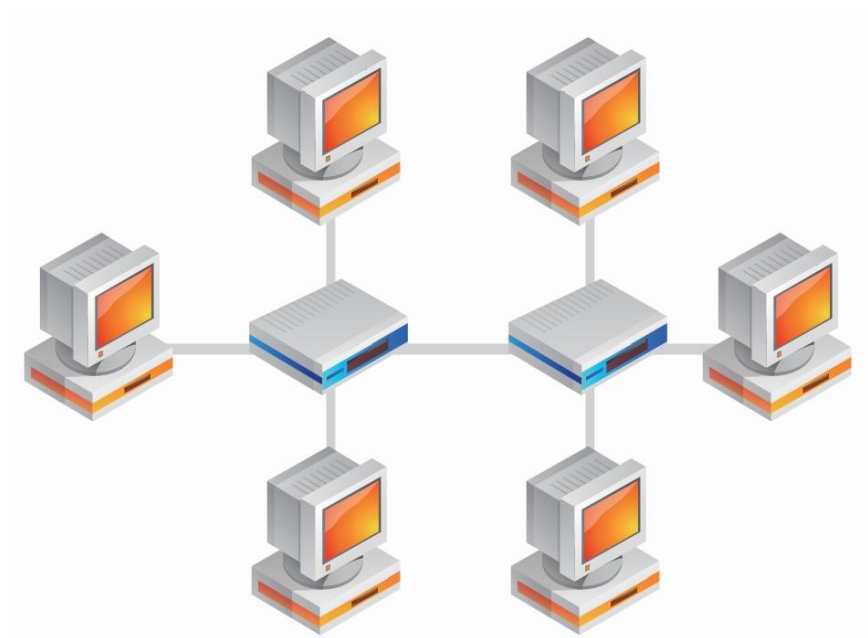
**加拿大→美國→德國→英國**

仿照物流業的例子，把集線器的其中 1 條線，拿去連接另外 1 台集線器不就可以了嗎？譬如，現在有個能夠連接 4 台電腦的集線器，全部的線材均已連結至電腦上，而現今因為種種因素，需要加入 1 台新電腦，只需把其中 1 台電腦的網路線從集線器上取下（現在有 3 台電腦連接在集線器上，2 台尚待連接），把這個空出來的空間連結至第 2 台的集線器上，再將 2 台無法連接到第 1 台集線器的線材，轉移至第 2 台集線器上。掐指一算，原本 2 台 4 埠的集線器，原先可以連結 2 個獨立的網路，每個網路有 4 台電腦；但為了連結成 1 個更大的網路，這 2 台集線器分別貢獻了 1 埠出來，每台只剩下 3 埠可以連結電腦，一共組成 6 台電腦的網路。

雖然說連結電腦的數量變少了，但卻有更多的電腦可以相互溝通，只要我們加入更多的集線器，又會變成更大的網路。到此似乎也沒有什麼東西好改了，準備向全世界介紹你的發明吧！



▲為了將 2 個網路組合在一起，整體電腦數量反而是下降的



在這個自行設計網路的例子中，其實隱含了相當多的網路基礎概念，而現今網路也是依賴這些基本觀念所架設出來的。好比說，電腦介面卡的編號，對應現今網路產品的 **MAC** 位址。電腦的使用者名稱，對應網路中的 **IP** 位址。標示電腦使用者的清單，即是現今的 **DNS** 伺服器。

這些都是非常重要的概念，對於未來開始進入網路世界是相當重要的基礎，如果讀者有時間的話，請盡量搞懂這些對應關係，未來了解網路世界更為輕鬆。下期我們將會介紹 **TCP/IP** 與網路層級（包含 **DoD 4 層** 和 **OSI 7 層** 參考模型），而這些層級恰好也可以學到封包的組成結構，也是網路上資料能夠傳遞的標準、基礎。