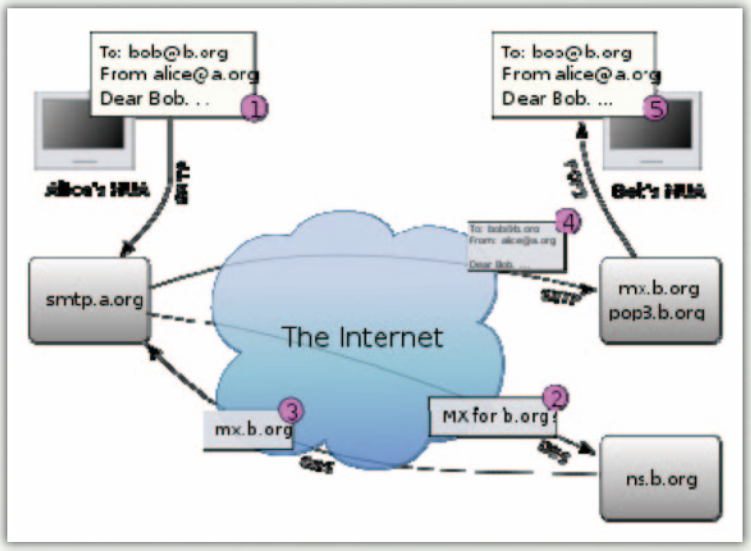
科技始終來自於人性 -- 網路，其實沒那麼複雜

趙式隆／臺大電機系專任助教

網際網路（Internet），或簡稱網路，在現代社會裡已經成為了日常生活不可或缺的一部分。在過去，一台運算力強大的個人電腦（Personal Computer，PC），無需與外界溝通，就可以達成大家對於電腦的期待。但是到了今天，一台沒有辦法連上網路的個人電腦，是沒辦法達成現代人大多數生活的需求的。

我們必須透過像 Facebook 或噗浪（Plurk）這樣的社群網絡和朋友聯繫，分享生活中發生的大小事與照片（圖一）；我們必須透過使用 E-mail 系統完成信件的投遞（圖二）；我們必須透過像是 Google 或者是 Bing 這樣的搜尋引擎，去獲取知識與尋找需要的訊息；我們必須透過 Youtube 這樣的串流網站去觀賞與分享影片（圖三）。甚至在過去只能在店鋪裡進行的交易行為，我們都可以只要按幾下滑鼠，就能在購物網站裡買到我們想要的商品；乃至於更複雜的股票或期貨等線上下單，都能透過網路輕易地完成。從前要在安裝特定軟體之後，才能完成的文書編輯和運算，甚至電腦繪圖與音樂等等工作，都可以透過最新的雲端運算科技，只需要一個瀏覽器就可以輕易完成（圖四）。人們也不再希望玩一成不變的電腦遊戲，大家希望藉由遊戲認識更多的朋友，與朋友們一起在虛擬的世界裡冒險，於是網路遊戲興起了（圖五）。除此之外，還有更多更多網路帶來的可能性。

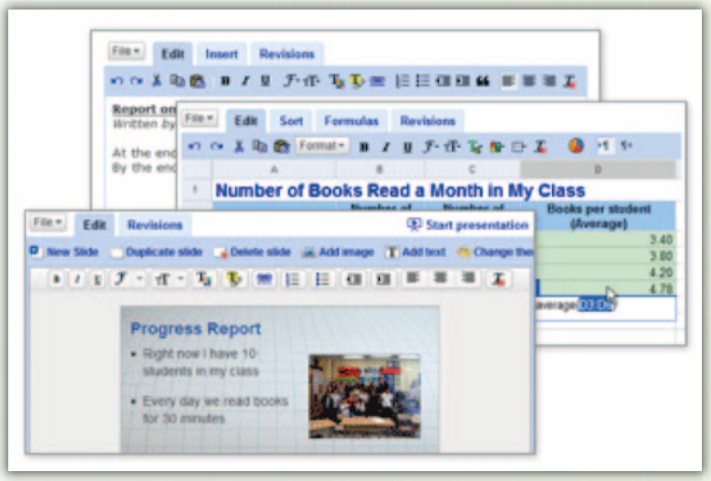
圖一　常見的社群網站關係圖



圖二　E-mail 的運作架構

圖三　Youtube 線上影音串流

圖五　網路遊戲暗黑破壞神三（Diablo 3）



圖四　Google Docs 線上文件編輯

對於更多的現代人來說，網路更是時時不可或缺的，因此如果我們不使用電腦，信手拈來的 PDA（Personal Digital Assistant）、智慧型手機（Smart Phone，圖六）、平板電腦（Tablet PC）、甚至陽春的電子字典、隨身聽（像是 iPod Touch）、甚至手持式的電動玩具（像是 PlayStation Protable，PSP，圖七）和全球定位系統（Global Positioning System，GPS），都可以輕易地達成隨時隨地的上網需求。

圖六　手持裝置上網

圖七　掌上型裝置上網

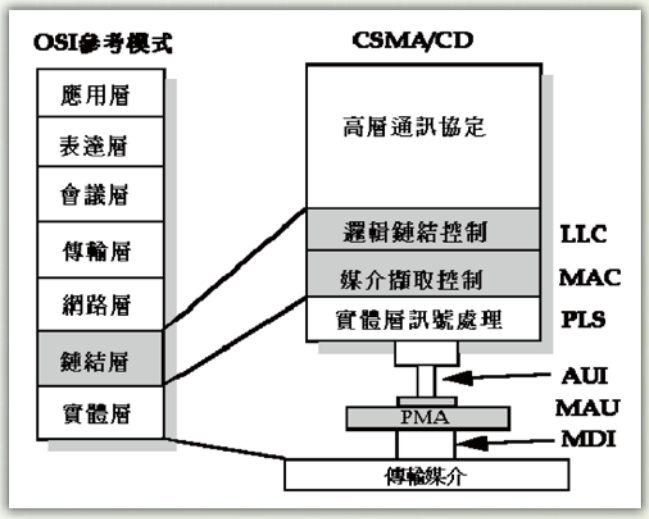
相信現在正在閱讀本文的你 / 妳，一定也是這個網路浪潮裡的一份子。但是，你知道大家所謂的網路，是如何運作的嗎？你 / 妳現在腦子裡想的，是不是覺得網路功能這麼強，一定很複雜很複雜呢？

其實，科技始終來自於人性，網路，其實沒那麼複雜。

一、電腦到底是怎麼溝通的？

所謂的網路，其實就是很多很多台電腦在互相溝通，藉由這些溝通產生的交互作用。因此，了解電腦的溝通方式，就是認識網路的第一步。老實說，它並不困難，因為電腦和電腦之間的溝通，與人類和人類之間的溝通，也沒什麼不同。

電腦與電腦之間的溝通，是在一種類似人類語言結構的系統下面運作的，我們稱它為『網際網路通訊協定』（Internet Protocol，圖八），就像是人類的中文、英文這樣，它制定了一套類似文法結構與單字系統的東西，當所有的電腦都懂得這套事先說好的規則，電腦之間便能互相對話，傳送訊息。



圖八　網際網路通訊結構圖

二、電腦怎麼使用『網際網路通訊協定』溝通呢？

當所有能夠連上網路的電腦都已經知道該怎麼溝通了，我們必須知道的下一件事情，應該是電腦在哪裡使用這套語言。這就好像人類雖然已經有了語言，但是我們還需要像是空氣這樣的介質（medium），來傳遞我們說的話，如果是在沒有空氣的環境（像是外太空），我們即使彼此懂得互相的語言，仍然是無法溝通的。

如同大家所知的，我們需要透過網路線來讓家裡的電腦連上網路。因此，類似於空氣的角色，對於電腦來說，溝通的介質就是電線。更精確地說，這樣一套有線的網路系統，我們給了它一個特別的名字，稱之為乙太網路（Ethernet）。

乙太網路是一種共享介質（Share Medium），也就是說，每一條電線在同一個時間點裡面有一個最大的資料量承載。共享介質的觀念，其實也不難理解。因為平常傳遞我們說話內容的空氣，本身就是一種共享介質。舉個例子來說：假設現在小明跟小美（以下簡稱明美）在一間教室裡想要聊天，但是教室裡同時還有其他人在聊天。當在教室裡只有另外一組同學（小華與小英，簡稱華英）在聊天的時候，當明美與華英音量都不大的時候，雖然兩對彼此都會聽到一些與自己聊天內容不相關的東西（也就是明美聽到若干華英說的內容，反之亦然），但是大致上不會對於自己的聊天內容有太大的干擾，仍然可以清楚地把自己想聽到的資訊聽得很清楚，而能夠自動忽略掉無關的資訊。

但是問題來了，如果華英這一對是使用麥克風在聊天，而明美沒有，情形就有些改變了。因為這時候明美這一對不管如何仔細聽，都已經沒有辦法去忽略掉華英聊天的內容，進而無法把自己想要聽到的資訊過濾出來了！精確一點的說法，就是有人佔用了幾乎所有的共享介質，使得其他人無法用了！

另外一個問題是，如果現在華英和明美都固定在原本的音量，可是突然有一大群同學，從外面剛上體育課完進來，大家都在聊天。雖然這些剛進來的同學聊天的音量都不大，但是這些干擾總和起來，卻也造成了明美和華英兩對，都無法繼續先前的對話了。這個情形，同樣我們也可以用一個比較精確的說法來講，這時候就是因為太多的使用者都想要使用共享介

質，使得共享介質達到了極限，使用者彼此之間訊息互相干擾，使得大家都無法使用這個公用的資源了！

同樣的問題也發生在網路上面，因為在每一個時刻，都會有不計其數的使用者希望能夠使用網路，大家也都希望能儘量地讓自己使用的資源越多越好，這樣下載音樂影片，或者是上傳照片的速度才快。因此，我們發現了一個重要的問題，就是我們必須找到一個方式，來決定誰來使用這個傳輸介質？該怎麼使用才有效率？該怎麼使用才公平？這就是所謂的介質接取控制（Medium Access Control，MAC），它同時也是我們前面提到的網際網路通訊結構的一部分。

三、介質接取控制的內容是什麼呢？

介質接取控制聽起來很複雜，但是其實只有名稱聽起來很困難而已，實際上的作法其實大家都已經知道了。畢竟所有的概念，一開始都是工程師從日常生活中的生活經驗得來的。人類的溝通模式，本身就是一套非常完備而有效率的通訊方式，因此，我們僅僅需要把人類的溝通模式放到電腦中，就可以設計出很有效率的通訊協定了！在開始介紹之前，我們先從一個大家小學一年級的時候，就在課本裡讀過的故事開始，接著我們會把這個故事映證到通訊協定上，你會驚訝於一個有效率的系統，居然如此地簡單！

以下內容摘自國小課本，翰林版第二冊第六課《過橋》：

橋的東邊，有一隻白狗。
橋的西邊，有一隻黑狗。
白狗要過橋，黑狗也要過橋。
兩隻狗走到橋中間，白狗大聲叫，黑狗的聲音也不小，誰都不讓誰。
兩隻狗打起來，都掉到河裡去了。

橋的東邊，有一隻白羊（圖九）。
橋的西邊，有一隻黑羊。
白羊要過橋，黑羊也要過橋。
兩隻羊走到橋中間，黑羊對白羊說：「我退回去，讓你先過來。」白羊對黑羊說：「謝謝你，謝謝你。」
白羊先過來，黑羊再過去，兩隻羊都過了橋。

圖九　黑羊白羊對峙圖

這個例子看似簡單童稚，但是其實隱含了非常深刻的道理。當我們把橋想成是一個同時只能傳遞一份訊息的共享介質，故事裡面的黑狗與白狗，黑羊與白羊是在同一個時間點上，試著想要去存取這份共享介質的使用者，那其實這個故事跟我們想要解決的複雜網路問題，其實是很接近的。要達成一個有效率的介質接取協定設計，其實只要『有禮貌』就行了！

首先我們看黑狗與白狗的例子，它其實提供了一個最直觀卻沒有效率的介質接取控制的方式，就是直接不分青紅皂白，把自己

的想要傳輸的資料放上共享介質。當大家都這樣做的時候，就會造成所有人的資料都互相干擾，結果沒有人順利傳成自己想傳遞的訊息，最後就像黑狗跟白狗一樣掉進河裡去了！

接著我們來看黑羊跟白羊的例子，很明顯地，最後黑羊跟白羊都順利地達到了自己的目的地，因此『有禮貌』，其實就是整個通訊協定最重要的核心部分。再一次地，讓我們用人類說話的行為來類推網路通訊協定的設計：

首先，讓我們想想，如果是一個『有禮貌』的人該怎麼說話？讓我們把整個說話的流程寫下來：

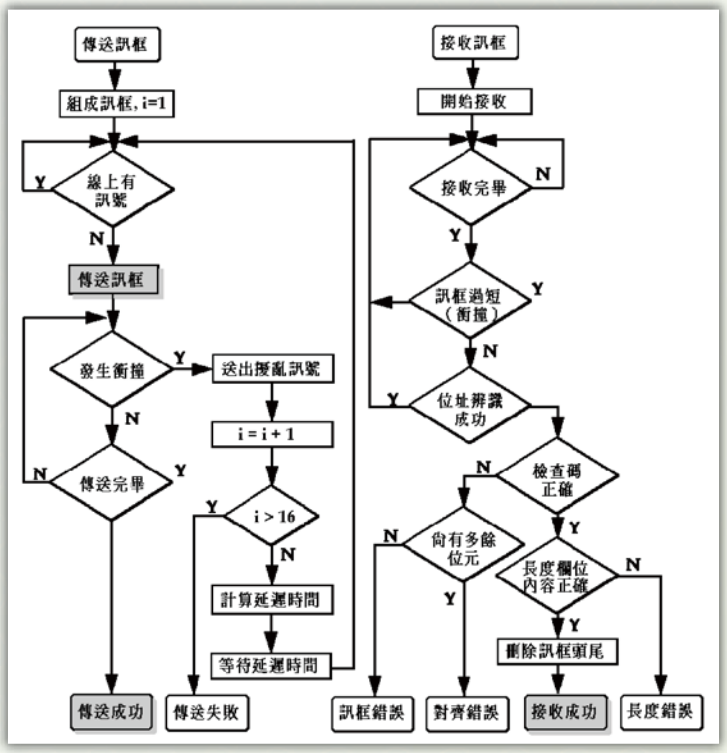
1　我現在想要說話，可是我應該先聽聽看有沒有人現在正在說話。

2　聽看看有沒有人正在說話：

2.1 有人正在說話耶…，如果我說話的話一定會吵到他們，還是等一下好了。(回到 1)

2.2 沒有人正在說話，我可以說話了！

是不是其實相當簡單而且容易理解呢？如果每個使用者都使用這樣的方式來講話的話，雖然有時候可能需要稍等一下，但是大家都一定能說到話了！於是，只要把上面的這套系統，直接移植到以電訊號為主的乙太網路上，其實就完成了一個簡單而有效率的介質接取控制設計了。這個簡單的介質接取控制設計系統，被廣泛地用在所有的有線網路系統，包含古老的雙絞線、主流的同軸電纜，和高科技的光纖上，工程師們稱呼它為 CSMA/CD（Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection，圖十）。



圖十　CSMA/CD 完整流程圖

四、CSMA/CD 到底是什麼意思呀？

讓我們先從字面上來解釋這個詞彙好了。先從前半段 CSMA 開始，所謂的 Carrier 就是載體，在我們的例子裡，可以理解成傳遞資訊使用的介質，就像是說話的時候的空氣一樣。Sense 的意思就是感知。最後 Multiple 的中文意思則是一個以上，很多的意思。Access 則是存取、使用的意思。因此整個合起來的意思就是說：是某種可以讓多個以上的使用者，共同使用整份共享介質的方式，其中每一個使用者均具備有感知介質現在使用狀況的能力。看起來是不是相當地困難？其實不會，這一段就是我們前面講的『有禮貌』的說話方式而已。

我們先從『有禮貌』的說話方式開始，其實整個過程最關鍵的地方是在第 2 個步驟，也就是必須要能聽到有沒有人在說話，然後就能做出相應的判斷。事實上這個步驟就是所謂的 Carrier Sense 了，我們必須先去聽（Sense）空氣這個載體（Carrier）現在有沒有人正在傳遞他們訊號。換到以電訊號為主的電腦通信網路中，也就是在傳輸之前，要先去感知一下目前電線上面有沒有電訊號，如果有的話，就可能要稍等一下。如果沒有的話，就可以傳輸了！是不是觀念完全相同呢？

接著，我們要講的是 CSMA/CD 的後半段，CD（Collision Detection）的部份。這一段我們在前面並沒有多加著墨，但它其實也是存在於人類的溝通結構中的。只是因為它太過於直覺，而且也不那麼常發生，使得大家不太會去注意到他的存在。同樣地，我們從字面解釋

開始，首先是 Collision，它的意思是碰撞；接著是 Detection，它的意思是偵測。合起來的意思就是在這個架構之下的使用者，必須具備碰撞偵測的能力。

那麼碰撞是什麼呢？我們可以用前面白狗黑狗過橋的例子做一個解釋。在過橋的時候，如果發生了碰撞會怎麼樣呢？很明顯地，就會像白狗黑狗一樣掉進河裡去了。同理，在電腦通信網路裡，當只有一份介質，但有兩個以上的人同時傳輸，這時候碰撞就發生了，也就是兩造雙方的訊息因為互相干擾的關係，都無法傳到目的地。所以 CD 的意思，就是雙方必須有能力在碰撞發生的第一時間，偵測到碰撞的發生，進而採取後續的動作。

這時候聰明的你 / 妳，也許會想到一個問題，就是前面我們講的 CSMA 本身，不是就可以避免碰撞發生了嗎？為什麼我們還需要最後這一段的機制來專門處理碰撞呢？原因其實很明顯，就是 CSMA 本身無法去解決所有碰撞發生的可能性。

舉個例子來說，假設現在有三組人打算說話，小英正在跟小美說話，但小華想要跟小明說話，而且小新也想要跟小葵說話。但是由於小華跟小新都是『有禮貌』的人，於是他們就決定等到小英跟小美說完話之後再開始講話。於是小新跟小華就一直靜靜地等待，直到小英跟小美中止談話的那一瞬間…！

是的，碰撞發生了。因為小新跟小華都在等待小英跟小美結束聊天的那一刻，打算開始暢所欲言。在電腦通信網路中，這種情形會更加嚴重，因為等待的人可能不只兩個，甚至有上百上千個！

讓我們回到三方通話的這個例子來，如果是這樣的狀況，該怎麼解決呢？其實是相當直覺的，就是當發現碰撞發生的當下，立刻停止說話，以避免碰撞的問題繼續擴大。接著，如果小新是一個有禮貌的人，他會先禮讓小華，讓小華先跟小明說話，接著自己再跟小葵說話。然而，這樣的解決方式，無法應用到使用者眾多的電腦通信網路中，因為有上百甚至上千個同時想要傳輸的人，根本無法決定要禮讓給誰，而且因為眾多的使用者在這個階段無法互相溝通，即使是被禮讓的人也不知道自己已經被禮讓了！

因此最後這一段，是整個通訊流程裡最不符合直覺的一部分：使用者們在碰撞發生後，首先相同地，會先停止傳輸避免碰撞持續發生。然後，會從手邊拿出一支碼錶，心裡任意想一個時間，然後開始倒數，倒數至心裡預想的的那個時間之後，在重新開始一次聽現在有沒有人在傳輸的流程。由於在機率理論上，在一個可以無限切分的時間裡，每個人心裡預想的時間是落在完全相同的時間點上的機率為零，因此，就能夠有效率地將使用者分開了！是不是其實也沒那麼困難呢？

五、科技始終來自於人性

這篇文章簡要地將一個已經廣泛使用在現有網路架構下多年的重要通訊協定，做了一個初步的介紹。其目的其實不單是希望大家能夠知道通訊協定本身是如何運作，更進一步地，是希望能夠讓大家了解到，其實在高科技領域裡面並不全然都是很複雜的理論分析，和很困難的數學測度。其實大多數設計的出發點，都是從人日常生活的觀察與行為裡出發的，有很多是基本上是相當直觀的設計，所謂的數學和理論工具，僅僅是用於填補在濫觴與應用之間的細微差距而發展出來的。

畢竟最後使用這些機器的還是人類自己，這些機器存在的意義，總是希望能夠讓大家生活得更方便更舒適。一切的科技，最終還是要回歸到以使用者為本的設計！從現在隨時隨地多觀察，多思考，其實每個人都能憑藉著自己的生活經驗，設計出一些了不起的東西的。