

# 駭人大腦

腦機界面科技可以發展到什麼程度？

有一天我們能將人腦當做大容量的硬碟，直接輸入部落格最新內容或棒球比賽的精彩片段嗎？

撰文／斯蒂克斯（Gary Stix）

翻譯／涂可欣

**1980**年代興起的電腦科幻小說，經常要弄可直接連結人腦和電腦的「神經移植」科技，例如在改編自吉布森（William Gibson）的小說、很快就被遺忘的電影「捍衛機密」裡，基努李維飾演的主角曾說：「我剛存了數億位元組到我的腦子裡。」（當時，單是百萬位元組就夠令人驚歎了！）

這類新興文學題材的特點是，喜歡將復古的下階層文化和看來略超越當時最先進的生物醫學工程科技並置。儘管美國麻省理工學院或加州理工學院都還無法做出這樣的科技，但高竿的電腦科幻小說家卻能讓人信以為真，彷彿這些發明可能在我們有生之年實現。

然而過去10年間，有一些最早由科幻小說家提出、較接近現實的科技被實現了。例如，將電極植入腦內，以神經信號來控制電子義肢，為後來肌肉萎縮或中風的肢體癱瘓患者的治療奠定了基礎，科學家正研究如何將電子訊號傳回大腦，好讓

靈長類動物也能感受義肢的觸覺。

這些替代腦或其他神經系統構造的人工器官，能發展到什麼程度？除了用來控制電腦游標或義肢外，有朝一日，新科技能否讓腦部上千億個神經元成為竊取工業機密的秘密儲存中心，或執行如科幻小說家吉布森在書中所描繪的其他任務？

## 人腦變電腦？

今日的好萊塢編劇和未來學家繼承了科幻小說的傳統，雖然技巧較拙劣，但也都熱情擁抱神經科技。預定於今年發行的電影「奇點迫近」，就是根據電腦科學家科茲威爾（Ray Kurzweil）的概念拍攝而成，他假設人類最終可將自己腦中的數位藍圖轉移到電腦或機器人上，而達到一種不朽的形式。

然而，要像電視劇「雙面麥斯」般永遠存活在一台電視機裡（或可以複製、上傳到最新型的人形機器人上），就和17世紀笛卡兒的身心二元論一樣不可思議。要將人們對日出時天邊一抹朝霞的感受、內心

## 重點提要

- 未來學家和科幻小說家臆測著結合電腦和人腦的時代就要來臨。
- 目前的科技已可利用大腦神經信號來控制電腦游標或電子義肢，不過腦機界面能進展到什麼程度，仍然難以估量。
- 雖然我們可以設想出，將文字或其他高層次資訊輸入腦部，以幫助新記憶的形成，但要達成上述目標，需要對大腦功能機制的認識有重大的進展，才能克服技術上的障礙。



▼未來學家與科幻小說家常提及的  
神經移植，已逐漸落實在實驗室  
中，但將文字輸入大腦這類更遙不  
可及的科技，仍然只是文學作品的  
杜撰情節。

經常轉變的情緒，以及融合經驗與情緒後對這世界產生的獨特個人觀感……那些構成人生精髓的自我意識，整批轉移到機器上，仍是小說家筆下的把戲。

此外，以意念控制義肢的實驗受到的大肆宣傳，也掩蓋了事實。對於神經如何運作，好讓資訊傳回大腦以創造真實的「駭入經驗」，我們仍非常缺乏相關知識。加州理工學院神經科學家安德森（Richard A. Andersen）說：「我們對高層認知使用的大腦線路，所知非常有限。」

那麼在現實世界中，人腦與機器的交流能做到什麼地步？從最早的腦電圖到人腦控制義肢與游標，是否顯示這正朝著明確必然的方向前進，就算未達科茲威爾的「奇點」，仍能將一些高層認知資訊輸入大腦？我們有沒有可能將《戰爭與和平》整部小說或直升機駕駛手冊直接下載到大腦（後者就像「駭客任務」的情節）？還是讓人們無意識地將「看見小花跑來」這句話，甚至只有「看」字銘印在記憶中？

雖然有人會辯說買副眼鏡，用傳統老辦法豈不更容易？然而這些問題並不全然不切實際。即使將資訊源源不絕輸入大腦皮質永遠只是科幻小說裡的杜撰，但了解光子、聲波、氣味分子和施在皮膚上的壓力如何轉換成持久的記憶，絕不只是為了娛樂，運用這些知識設計出來的神經輔助裝置，將可幫助中風或阿茲海默症患者形成新的記憶。

現在有數千名失聰或重度聽障者的頭顱內已裝了駭入裝置的原型：人工電子耳，電子耳的麥克風收到聲音會刺激聽覺神經。美國加州大學聖巴巴拉分校神經科學家葛詹尼加（Michael S. Gazzaniga）就認為，人工電子耳是第一個成功的人類神經輔助儀器。此外也有實驗室正在研發以電極陣列做為人工視網膜，如果成功的話，或許還能進一步改良，讓人類也擁有夜視能力。

至於更具野心的目標，像是直接讓大腦

中的海馬（hippocampus，與記憶形成有關）接上亞馬遜網路書店，則因為所需科技尚未誕生而難以實現，它需要建立神經元和腦外世界的可靠聯繫管道，還需要能把數位版的《戰爭與和平》翻譯成神經元彼此溝通時使用的語言。如何達成這些目標，我們可以從最先進的腦機界面研究獲得一些粗淺的認識。

## 建立神經元與外界的連線

要將文句輸入腦部，必須考慮是否要把電極直接植入腦組織中，但除非是治療殘障者，這類神經移植對一般人是不適宜的。科學家在一個世紀前就已經知道，不需打開頭顱就可以在腦外測得電生理活動訊號。現在有種看起來像泳帽、外面佈滿電極的裝置，可傳送癱瘓者腦部的訊號，以此驅動電腦解讀處理，而於螢幕上打出英文字母或瀏覽網頁。德國杜賓根大學的柏包默（Niels Birbaumer）是這項科技的主要開發者，他認為我們可以在腦外利用磁信號來試探刺激皮質，並以電極帽記錄有哪些神經元活化，或許可以找出「看」或「跑」這些字儲存的位置，理論上，一旦找到這些區域後，就可以再度活化它們來喚醒那些記憶。

有些神經科技學家認為，如果特定字詞確實是儲存在腦部某個地方（此點還有爭議），要找出它們的位置，可能需要準確度比現有的電極帽還要高出許多的儀器。有一個實驗中的植入式儀器可能可達到定位所需的精準度：神經信號公司的甘迺迪（Philip R. Kennedy）設計了一套可記錄神經元輸出信號的裝置，能幫助中風病患透過意念發出信號，經電腦詮釋出該信號代表的意義後（例如母音），用語音合成器發聲。這類腦機界面朝讓機器說出完整字詞的夢想又近了一步，未來也可用來活化個別神經元。

奈米纖維可再提高腦機界面的準確度，直徑小於100奈米的纖維因尺寸、電子和



▲「銀翼殺手」  
電影海報

◀《神經異魔》

▼日本動畫  
「攻殼機動隊」



《奇點迫近》▶



◀「捍衛機密」  
電影劇照

機械特性，可輕易連接到單一神經元。美國堪薩斯州立大學的李軍設計了一個刷子狀的儀器，其奈米尺度的電極刷毛可刺激或接收神經信號，李軍預估它可用來緩和帕金森氏症或抑鬱症，也可用來控制電子義肢，甚至幫助太空人在長途飛行時收縮肌肉，以避免無重力狀態下的肌肉萎縮。

## 破解神經語言

若想實現將一本厚厚的微積分課本下載到腦中，或是在旅行前先灌入《旅遊法語》的奇想，就必須對語言和其他神經表徵的腦信號有更深入的認識。

解開神經編碼是神經科學領域中最宏偉又艱鉅的挑戰，而且，借用佛洛伊德的說法，這也可能為意識的研究鋪設一條康莊大道。關於腦部數十億個神經元和數兆個連接神經細胞的突觸如何傳遞富含意義的訊息，理論學家提出了許多不同的看法，最早認為細胞膜上產生最大電位變化的頻率，就是神經元彼此溝通所依賴的編碼。

儘管有些刺激以這樣的頻率碼就足以傳遞訊息，但恐怕還不足以讓法國文豪普魯斯特在腦海中浮現《追憶似水年華》裡的瑪德琳蛋糕，或讓物理學家費曼浮現出微分方程式教科書裡的抽象數學。因此近期神經編碼的研究著重於測量每次電位變化間隔時間的時間碼，以及隨著一起活化的神經元不同而不斷改變模式的群組碼（見92頁〈將文字載入神經元的方法〉）。

為了治療記憶力缺陷病患，科學家進行了人工海馬的研究長達10年之久，讓研究人員能夠了解神經編碼的過程，對實現將資訊下載到腦部有些許助益。海馬位於腦部顳葉深處，與記憶形成有關，美國南加州大學和威克富瑞斯特大學合作設計的人工海馬，就是希望能取代中風或阿茲海默症病患受損的海馬，恢復形成新記憶的能力。這項計畫受美國國家科學基金會和國防高等研究計畫署贊助，還可能進一步發展用來增進正常人記憶力，或協助科學



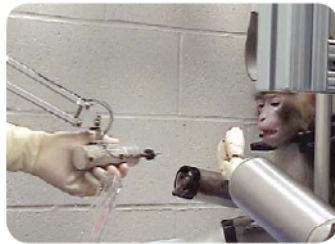
▲四肢癱瘓而坐在輪椅上的病患，戴上可接收腦波的特製電極帽，就可穿越電腦中的虛擬街道。

家推導高層認知時所需的特殊編碼。

由伯格（Theodore W. Berger）領導的南加大團隊和戴德威勒（Samuel Deadwyler）領導的威克富瑞斯特團隊正準備發表一篇論文，說明人工海馬如何取代生物器官，讓大鼠形成壓桿喝水的記憶。在正常記憶形成過程中，海馬會傳送信號到儲存長期記憶的皮質區；實驗時，研究人員先以某種化學物質讓大鼠的海馬暫時失去功能，當大鼠按到正確的壓桿時，來自感覺和其他皮質區的電生理活動訊號會導入一個微晶片，科學家說這個微晶片可釋放和海馬相同的信號。若能驗證人造儀器可模擬海馬發送的信號，將能進一步推導用於運動皮質形成記憶的基本編碼，或許有一天，我們還能揭露更複雜行為的神經編碼。

如果可以確知「看見小花跑來」這句話，甚至整本技術手冊的神經編碼，理論上我們就可以將它直接輸入海馬（或皮質區）內的電極陣列，就像「駭客任務」中以行動電話下載駕駛直升機的指令。人造海馬研究假設的是較平常的情境，伯格說：「美國國防部感興趣的，應該是像駕駛F-15戰機的編碼吧！」

人造海馬相關研究中設想的簡單神經輸入模型，所引發的問題可能比它回答的還多，這樣的移植是否會改寫既有的記憶？「看見小花跑來」這句話，你和我的編碼一樣嗎？說庫德語的人，編碼也一樣嗎？



▲看到什麼抓什麼：美國匹茲堡大學的一隻猴子以腦部發出的神經信號來控制電子手臂攫取食物。

## 將文字載入神經元的方法

如何將《戰爭與和平》或其他高層次資訊直接輸入大腦中，我們可以從最先進的神經科學研究找尋一絲線索。科學家正在探究直接將電腦及人工器官與大腦連接的方法，並解

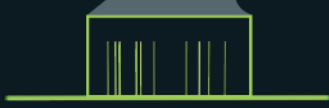
開大腦的神經編碼：輸入的電訊號如何轉變為輸出的行為表現，像是移動手臂或說話。我們能不能克服困難開發出人工的大腦輸入裝置，仍充滿未知數。

### 神經編碼類型



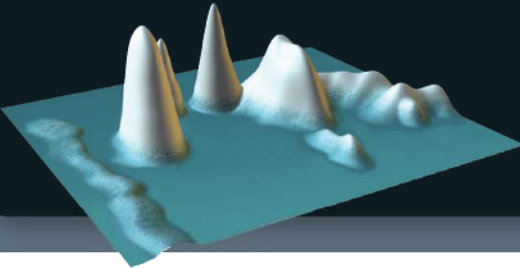
#### 頻率碼 (rate code)

科學家最早認為的神經編碼，為細胞膜上產生最大電位變化的頻率，亦即在特定時間內（例如100毫秒）一個神經元受到刺激所釋放的電位高峰數的平均值。



#### 時間碼 (temporal code)

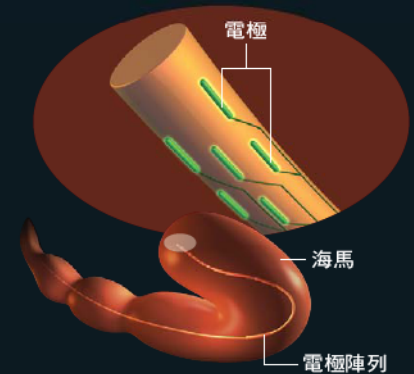
近期的神經科學家將重心放在時間碼，測量在100毫秒內每次電位變化的間隔時間，時間碼比單純的頻率碼隱含了更多的資訊。



#### 群組碼 (population code)

最先進的研究開始評估群組碼：當一群神經元聚合時，隨著時空關係的變化而不斷改變其編碼模式。左圖呈現一群神經元活化時的圖形。

### 與神經元連線



要與大腦連線，存在著許多困難：接觸點可能會抖動脫落、線路分解，甚至造成感染。以目前的神經電極設計，若想將資訊輸入與記憶形成有關的海馬，還需要提高電極的空間和時間精準度。

海馬組織的編碼會不會與提供句子適當語境（語義架構）的其他線路信號結合？「看見小花跑來」會不會被錯誤詮釋成飄落的花朵，而不是快跑的小狗？

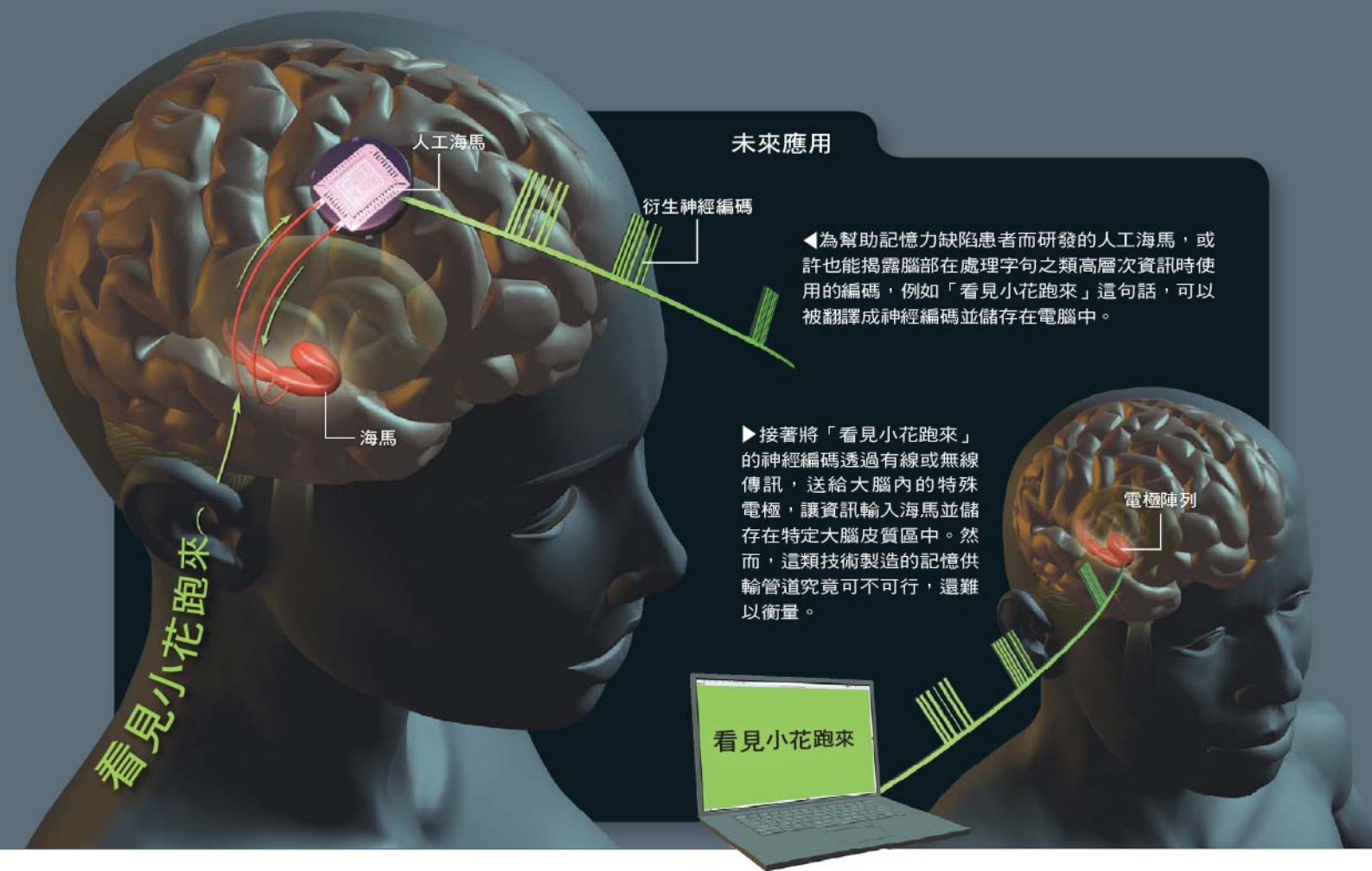
一些神經科學家認為，除非我們對神經的認識超越目前所看到的表面電位變化，才有可能解讀腦語言。瑞士洛桑聯邦理工學院神經科學和科技中心主任馬克拉姆（Henry Markram）說：「如果只是記錄很多信號，然後試圖了解信號的意義，並將這信號與特定行為聯結在一起，是不可能解開編碼的。」當一個或一群神經元收到輸入信號時，可能會經由不同的途徑產生特定的輸出信號（例如海馬將感覺訊息轉變為長期記憶），馬克拉姆說：「只要神經編碼存在許多不同的模式，距離完整的了解就還遠得很呢！」

馬克拉姆所領導的「藍腦計畫」（Blue Brain Project），從2005年起開始利用超級電腦模擬來對腦在分子和細胞層次的神經

功能進行反向工程。他們先從較簡單的大鼠構造著手，再進展到人類，不過人類模擬實驗現在正等待一台運算能力比目前超級電腦還快1000倍的新超級電腦。如果能因此找出神經編碼，可能會發現其結構與今日教科書中的描述差異極大，馬克拉姆說：「我相信會出現觀念性的突破，大幅改變我們對於腦運作的看法。這將是影響深遠的大事，或許這就是為什麼神經編碼如此難解。」

### 藍腦計畫的啟發

從將資訊輸入大腦時遭遇的挑戰可看出，神經科技的進展有可預見的極限。腦部形成記憶需要產生多重連結，這和磁化硬碟上一組位元截然不同。美國布朗大學神經科學家多諾格（John P. Donoghue）觀察到：「像書籍內容之類的複雜資訊，需要動用到神經系統中散佈於多個區域的大量腦細胞，因此你不可能一一打點所有細



## 未來應用

◀為幫助記憶力缺陷患者而研發的人工海馬，或許也能揭露腦部在處理字句之類高層次資訊時使用的編碼，例如「看見小花跑來」這句話，可以被翻譯成神經編碼並儲存在電腦中。

▶接著將「看見小花跑來」的神經編碼透過有線或無線傳訊，送給大腦內的特殊電極，讓資訊輸入海馬並儲存在特定大腦皮質區中。然而，這類技術製造的記憶供輸管道究竟不可行，還難以衡量。

胞，讓它們建立正確資訊所需的連結。我認為，以現有的知識是不可能辦到的。」

將資訊寫入人腦至今仍是科幻世界裡一個飄忽的夢，但即使明知不可為，多諾格對於將資訊反傳回大腦，與發展由腦直接控制的義肢，仍抱著很大的期待。他正領導研究團隊開發可植入腦部的電極陣列，用來連接大腦皮質和義肢、甚至輪椅。

多諾格預測五年以後，癱瘓病患就能透過腦機界面拿起杯子喝水。不久的將來，這些系統還可能會進步到讓脊髓上段受損病患也能做出一些原本想像不到的事，甚至上演像1970年代影集「無敵金剛」中戴著義肢打籃球的情節。即使不能做到將資訊傳送到腦部，殘障者和研究人員仍能從中獲益。奧地利格拉茨科技大學的傅切勒（Gert Pfurtscheller）與同事在2007年的報告中描述，他們讓一名脊髓受傷病患戴著特製的電極帽，僅靠著意念橫越電腦中虛擬的街道。美國杜克大學的尼可列利斯

（Miguel A. L. Nicolelis）是腦機界面領域的另一名開路先鋒，已開始探究連接著腦控電子義肢的猴子如何產生動覺（身體的移動與碰觸感），這有別於從身體器官接收到的感覺輸入。尼可列利斯說：「有一些生理證據顯示，實驗時猴子會覺得與機械手臂的聯繫度要高於自己的身體。」

這些研究最重要的結果可能並不是神經移植或義肢，從藍腦計畫和其他模擬研究獲得中樞神經發育的知識，可讓教育家了解教導孩童的最佳方式，哪個階段適合什麼樣的教學法。馬克拉姆說：「你可以設計一套教育發展計畫，讓學習者在可能的最短時間內具備一定程度的能力。」如果他的看法正確，對神經移植和腦運作模擬的研究所能創造出的實際應用，將比20世紀科幻文學把大腦當做硬碟的夢想還更有意義。

SA

涂可欣 陽明大學神經科學研究所碩士，美國伊利諾大學遺傳所博士研究，現專事科普翻譯工作。

## 延伸閱讀

〈尋找神經編碼〉、〈讓腦與機器也能溝通〉，《科學人》2007年1月號

〈腦晶片X檔案〉，《科學人》2005年12月號

**Toward Replacement Parts for the Brain: Implantable Biomimetic Electronics as Neural Prosthesis.** Edited by Theodore W. Berger and Dennis L. Glanzman. MIT Press, 2005.

**The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology.** Ray Kurzweil. Penguin Books, 2007.

**Human: The Science behind What Makes Us Unique.** Michael S. Gazzaniga. Ecco, 2008.

**The Singularity (The Rapture of the Geeks).** Special report of *IEEE Spectrum*, Vol. 45, No.6; June 2008.