電子新智慧、啟發 21 世紀人腦創新

(Leveraging Electronics Intelligence in 21st Century)

許炳堅博士 國立交通大學榮譽講座教授，暨台積電研發組織處長

在 21 世紀裡，微米電子、奈米電子按照「摩爾定律」持續進展，強力帶動了電腦、通訊、以及消費性產品的蓬勃發展。未來幾年，在車用、醫療、與綠能方面，也會扮演非常領導的火車頭角色。

從有關的研究顯示，一個人的腦部發展在一到四歲時最為重要，也大致定型。我們可以把人腦想像成先進晶片系統的綜合體：含有多核心的微處理器、大量的記憶體，還有『現場可編改的邏輯陣列』(FPGA，Field-Programmable Gate Array)，等等。

如果我們可以把這數十年來在「微米、奈米電子資訊」領域的進展、創新所累積的新智慧擷取，轉換成人腦能夠採用的型式，對於「啟發 21 世紀人腦」可以有莫大的助益！

1. 英文字母 (Characters) 探源

英文有 26 個字母 (characters)。請注意，character 的本意裡，就包含了「(劇中、或小說裡的) 人物、角色，(有特性、或有性格的) 人」。所以，重要的英文字，自然有其原始的本意，可以「發人深省」。我們一定要「歸璞返真」，找出這些最原始、最純樸的原意。

(1.A)

先拿『**re-tire**』這個字來說，傳統的翻譯是狹義的「退休」。『re』就是『再』，『tire』當動詞用的意思是『打氣』或者『換新的輪胎』。所以，『re-tire』廣義的含意包括：「暫停、再打氣 (或者換新輪胎、有時再加上換跑道)、然後再出發」。每當我向國際人士提起此一含意時，他們都會莞爾地笑出來、以前他們怎麼沒有注意到這麼正面的原味呢？實際上，這一層的看法，和打排球的三部曲很像：「擋球、做球、再殺球」。

(1.B)

接著看『**well**』這個字。當有人說：「I feel well」，表面的意思是「我感覺很好」。從英文的本意去看，well 就是躲在井裡，四面被包圍住，當然覺得很安全。但是當威脅來臨時，躲在井裡最不容易逃出來；現在最安全的地方、就成為未來最危險的安排。所以成語說：「生於憂患、死於安樂」。所以必須居安思危。另一個成語也說：「滾石不生苔」(A rolling stone gathers no moss)，就是這個道理。

(1.C)

下一個要談的，就是research『**interest**』這個字，表面的意思是研究的「興趣」。不少東方的研究人員在他(她)的簡歷 (biography) 上、在research interest這一部分就洋洋灑灑地列出了一大堆。其實，『interest』廣義的含意就是『利息』，也就是本金乘以利率所得出來的結果。對於研究人員來說，『本金』就是所受的教育訓練、以及自己累積的研究成果。至於『利率』，就是自己對於該一領域、或者題目，所掌握的有效方法。由此看來，research interest必須有憑有據，而不是興之所至、「天馬行空」式地自由發揮。

(1.D)

再來談一個非常重要的英文字『**re-search**』，直譯是「研究」。我們都知道，『search』的本意是『尋找』；所以，『re-search』自然是『再尋找』。就像「石油探勘」一樣，必須努力地到各處去尋找、發掘。所以，15 世紀的哥倫布勇敢地航海冒險去尋找美洲新大陸。現代的太空人，也勇敢地從事外太空探險。反之，中文的『研究』聽起來比較像是「re-study」；對於已經有的事物，想盡辦法去瞭解、與改善。整體反應出來，西方的學者們對於新的事物很踴躍地發表看法、或者發表論文。而大部份東方的學者們則要等到看了別人的新論文之後，才會想要在某些地方試著做得更完善些，以便在下一年度的國際會議去發表；步調上，就比別人慢了好幾拍了！

在高科技公司裡，個人所從事的『R、D、O』的比重要如何拿捏才恰當？
『O』是Operation 營運，把已知的事物、按照標準作業程序 (SOP) 來做，講求的是效率與準確度。這是相對於『上策』之事，一定會達成的。

『D』是Development 發展，把大部分已知、某些部分未知的事物，根據有效的方法 (methodology) 來開發，時程上會有些變數，選擇上會有些『取捨』(trade-off)，然而成果是可以預見的。這是相對於『中策』之事，還不一定會百分之百成功的，尚有一些變數。

『R』是 Research 研究，處理的是大部分未知的事物，連相關的方法都有待構思。很可能試了幾次都「徒勞無功」。這是相對於『下策』之事，有時必須想破頭才行。

又有少數特殊的研究事物，必須完全摒棄已知的方法，去想出嶄新的方法來。這是相對於『無策』之事，需要有超越的思維、跳躍式的思考，才能達成突破的。

如何判斷哪一件事情是屬於『O』、『D』、或者『R』呢？
拿一件事情去請教十個該領域的專家，如果十個人都告訴你相關的處理方法，那就是屬於『O』Operation 營運的事物，因為有標準作業程序 (SOP) 的緣故。如果只有六、七位告訴你可以去處理，那就是屬於『D』Development 發展的事物，還有些未知的部分需要釐清。反之，如果有七、八位告訴你不可行，剩下的幾位只能祝你好運去碰碰運氣，這一定屬於『R』Research 研究的事物無疑！

(1.E)

接著談一個很有趣的字『**amaze**』，直接的翻譯是「使驚愕」。當然啦，當一個人進入『一個迷宮』 (a + maze)，自然會感到「驚愕」異常。這是非常俏皮的一個字。

(1.F)

在科學園區闖蕩的三大法則就是：「專注、優先次序、與槓桿作用」(focus、priority、**leverage**)。其中，『leverage』這個字的妙用最高，它代表的是『藉力使力』，以及『一魚多吃』等事半功倍的方法。有一個相互呼應的英文字，就是『**synergy**』，直譯是「協同作用、或者共作」，最貼切的說法就是「發揮一加一大於二的效果」。就拿電感 (inductor) 來說，除了『自感』(self inductance) 之外，還要引發『互感』(mutual inductance)，進而產生「正回饋」(positive feedback)，這樣子功效就大得多了。

順著『leverage、synergy』，自然會引出『**authority**、**influence**』(職權、影響) 這對雙胞胎。對於自己的「下屬」給指示、指導，那是屬於『authority』的範疇。楚辭裡，屈原在「卜居」一文說到：「尺有所短、寸有所長」。遇到不屬於自己管轄的人，就要依靠『influence』的功力來贏得對方的敬重 (earn the respect)了。所以說：「authority 和 influence 就像鳥的左右翅膀，必須相互配合，才能成功。」

(1.G)

分進合擊 (Division、Synergy)、亦即 **競合 (Coopetition)**： 西諺有云：「雞蛋不要全部放在同一個籃子裡。」(Do not put all eggs in one basket。) 當一個公司裡參與的人數過多時，自然要分成幾個『處』 (Division)，如此可以鼓勵在研發的初期產生良性競爭、以促進創新。Division 這個字的本意是『除法』，一刀子切下去、左右兩邊的溝通就不會很直接，自然有落差，就形成『矛』與『盾』的現象。這可以看成「政府裡的各個部會」，或者「軍隊裡的各個作戰旅」，或者「公司裡的各個專業技術處」，實際上是兄弟登山、各自努力。人生的成功，離不開『競、合』兩種力量的拉扯。才會有「分久必合、合久必分」的自然現象。

但是到了匯總成果時，就需要「合流」來達到「合擊」的效果，也就是「矛盾中求統一」。所以說，能夠達到相互協調的協同作戰是一大學問、與一大考驗！因此，擅長跨團隊協調的人，就會發現到處都是「有機可乘」，可以好好地使得上力。

2. 「電子學」的內容在活化人腦的應用

有了「正實數」，為什麼需要「負實數」？負數，可以用來描述「借貸」關係，促成社會經濟的活絡與蓬勃發展。在數位晶片上，是以『反相器』(inverter) 來作為最基礎的單位元。實際上，『反及閘』(NAND gate)、或者『反非閘』(NOR gate) 可以看成等效的『多輸入反相器』。

數學上，大家都知道「負數乘以負數，可以得出正數」。然而，正數相乘，卻得不出負數來。所以用『反相器』來當基礎的單位元，輸出電壓可以由最大的電源值，經由放電而減到最小的零，也可以再經由充電而增加到最大的電源值，如此可以重覆不已。反過來說，如果想用『正相器』(non-inverting gate) 來作為基礎單位元的話，就只能傳送正的訊號，也就是一直固定在電源值，而不能傳送有用的、有變化的訊號了。

(2.A)

Inverter (反相器)：晶片的基本組成單位是『反相器』(inverter)，為什麼？坐過雲霄飛車的人都記得，那 180 度、接著 180 度的翻轉，會把口袋裡沒有放好的東西通通滾出來。同樣地，CMOS 反相器不斷地經歷充電與放電的過程，確定從 Vdd 到 0 的電壓值可以被充分地運用。就拿『反相器』的「輸出電壓對輸入電壓的轉換特性曲線」(Vout versus Vin，voltage transfer curve) 來說，可以巧妙地比喻成高科技研發人員在工作職位的三部曲：(1)剛加入的新手，(2)馳逞沙場的鬥士，和(3)拍版定案的長官。每一次我把此一獨特的比喻描述給美籍主管們時，都會博得他們會心的大笑。

當反相器的輸入電壓小於 N-型電晶體的『臨界電壓』(threshold voltage)，則輸出電壓維持在電源值附近，就像是新進人員按照「標準作業程序」 (SOP，standard operating procedure) 照表操課、沒有什麼大變化。當輸入電壓增加到大於 N-型電晶體的『臨界電壓』，則輸出電壓起了很大的變化、從最大的電源值往最小的零值一路像翻跟斗般栽下去，就像是有經驗的工程師、經理必須把重要的問題通通翻出來、把相關參數的權衡 (trade-off) 搞得一清二楚。當輸入電壓加大到靠近電源值附近、而進入 P-型電晶體的『臨界電壓』之內，則輸出電壓完全降為零、而不再有什麼變化，就像是買賣雙方高層相互做最後的選擇、簽約，可以「談笑用兵、握手言和」。整個工作結果的好壞，受到中間翻跟斗部分的力道與陡度有很大的影響。一個人必須把這一層做得快速與漂亮，才能享受那優美的著地；也才有再往上升遷到高層的機會與實力。

整個過程，就像奧運體操隊的表演，從躍上單槓、到翻滾、到翩然落地，是人類『力與美』的最佳表現！

(2.B)

Transistor (電晶體)：電阻、電容、電感、還有二極體，都是兩個接腳的元件。當進步到使用三個、或者四個接腳，就有電晶體出現，無論是『雙載子電晶體』(bipolar transistor)、或者是『互補式金氧半場效電晶體』(CMOS transistor)皆可。以『互補式金氧半場效電晶體』來說，有閘極 (gate terminal)、汲極 (drain terminal)、源極 (source terminal)、和底極 (substrate terminal)。把小訊號加在閘極，可以引起汲極與源極之間電流的大變化，也就是有放大的效用。這就是『借力使力、四兩撥千金』最明顯之處。想一想，一個現代的晶片上有幾千萬個、或者幾億個電晶體在不斷地『借力使力』？那麼我們自己在工作上、以及日常生活上怎麼可以因循苟且、而不找出更有效的『借力使力』的方法呢？

三隻接腳、或者四隻接腳的電晶體，可以帶來「增益」(gain)。這是可以有效地超越「牛頓第三定律」 所描述的：出現在兩隻接腳元件的「反作用力大小等於作用力大小」。

(2.C)

Carry Look-Ahead Adder (進位預看加法器)：很傳統的加法器是『漣波進位加法器』(ripple carry adder)。進位的部份由一個位元、依序再到下一個位元慢慢地傳遞，速度非常的慢。反之，『進位預看加法器』 (carry look-ahead adder) 則把需要決定的進位，一口氣全部平行處理好，這樣子速度最快。同樣地，在新元件、或者新製程的開發初期，就先弄好未來要用的『預測模型』(predictive model)，如此可以搶先一步、提早產品開發的時效，也增加成功的機會。有人提到：「在敵我雙方皆處於技術開發初期的一切未明情況下，做主管的只要掌握到 50% 左右的資訊就要開始做出決策，而非裹足不前、坐失先機」。

(2.D)

Bias (偏壓)：從小到大，小朋友們很喜歡問：「心臟為何偏左邊？」對於半導體晶片來說，製程的開發大部份是以數位電路的考量為優先，因為數量最大。所以數位電路只要接上電源線與地線，就可以 0、1、0、1 地正常工作。對於類比線路來說，因為所選用的特殊線路架構，所以第一步必須調整『偏壓』(bias)，才能讓訊號在兩邊的振幅都很大。由此可見「調整偏壓」的重要性，就好比人生要找尋個人的『致勝點』(sweet spot)。另外，有些人要發揮具有個人特質的『核心專長、核心能力』(core strength、core competence)，才能出奇致勝。

(2.E)

Schmitt Trigger (史密特觸發型)：普通的電路，只有一個共通的『臨界電壓』(threshold voltage)。在特殊用途部分，例如銜接按鍵的電路，就要採用『史密特觸發型』(Schmitt trigger)，分別擁有一個高臨界電壓值、與一個低臨界電壓值，來達成『磁滯』(hysteresis) 現象。在已經平穩量產的產品方面，不要看到稍微好一點的事物就急著做改變。一定要等到好、壞的各個因素都弄得很清楚，再做重大的決定。要不然，就會像 2010 年的日本豐田汽車公司，對於油門零件以為是換成更好的設計，結果卻需召回數百萬輛進行維修、更換，對於公司營運的打擊實在是太大了。不僅是金錢方面的損失，在商譽、品牌上的打擊，更是慘重。

(2.F)

設計： 工學院、電機資訊學院的畢業生到高科技業界上班，一般會先從『設計工程師』做起。在此我們來探討『設』、『計』兩個字的基本意義，看看如何才能達到真正的標準？也就是相關的 KPI (key performance index)。

先談『計』(trick) 這個字，我們可以聯想到春秋時期孫子兵法的『計篇』，或者有名的「三十六計」，還有三國時期諸葛孔明的「空城計、草船借箭計」等等。『計』，是使用智

慧詳加思考的結果，含有「竅門」的意思。

次談『設』(set) 這個字，也就是決定某一個地方要佈置、或者要啟動一個『計』，而在另一個地方卻不要設定一個『計』，等等。如果在每一個地方都使用最貴的零件、或者模組，這樣子產品會太貴而造成銷路不佳。所以，設定與否就是一大學問。想一想，如果「豐田汽車」(Toyota) 的設計人員在汽車的每一部分都選用最昂貴的模組與零件，那麼完工的車子一定比『凌志』(Lexus) 的車子還要貴，怎麼可能以 Toyota 汽車的相對低價出售呢？所以，明知道某些部分有更好的零組件，卻要選擇比較便宜而性能接近的零件，這就是『設計』的精髓所在。

『工程學』講求的是「一板一眼」。『工』字最傳神，下方一橫代表把地基整平，垂直一豎代表使用最節省的材料撐起來，上方一橫代表造福很廣大的使用者。

反之，『商學』的『商』字即是「商議、磋商」(negotiate)，所以不要一味地堅持己見。不可以只是從設計者的角度去著想，也必須從使用者、購買者的角度去做綜合的判斷。

英文字 design，是由 de 與 sign 組合而成。也就是說，經由『設計』(design) 之後，競爭對手就「知其然、而不知其所以然」；導引的『路標』(sign) 被『移除』(de)，也就不知道如何去模仿了？真是神奇！

(2.G)

Variation and Uncertainty (變異與不確定)：第一次接觸『變異』的工程人員會覺得真叫人討厭，除了處理「典型的」(typical) 情況外，還要處理「最佳情況」(best case)、以及「最壞情況」(worst case)。更有甚者，當一大把事物的結果出來，很可能是分佈在「最壞情況」與「最佳情況」之間的高斯分布 (Gaussian distribution)，把人都搞得一個頭兩個大！

『變異』是在空間軸上；至於時間軸上所對應的，就是『不確定』 (uncertainty) ，這在高科技產品發展周期，也是一個很獨特的因素。如果一個新產品、或者一個新製程的開發周期需要好幾年，那麼在最初幾個月所看到的一定是初始狀態、與數年後最終產品的內涵會有蠻大的差距。當時，如果能夠利用系統化的分析方法，從所掌握的有限資料，再加上對於市場走向、客戶的可能需求等等加以策略性的判讀，則可能比其他競爭者搶先釐清狀況、進而掌握先機。所以，『變種』與『不確定』在別人看來是非常頭痛的「挑戰」，也許正是自己千載難逢、可以大顯身手的好「機會」。

生活在世上，有三大層次的原則必須分辨。最高層次的是『真理』(truth)，例如光速的大小，還有海森堡 (Heisenberg) 的測不準原理 (uncertainty principle)，等等。次一層次的，就是『事實』(fact)，例如汽車使用一公升高級汽油可以跑多少公里？電腦晶片的線條寬是多少奈米？再次一層的，就是根據收集到的有限的證據、資料所做的『推論』

(inference)。已知的事實，雖然可以適用在目前，但是很快地會變成「落伍」的。必須不斷地推陳出新才行。

長遠地說，『不變的』與『確定的』事情會陸陸續續地由電腦所取代。留給人們的最佳工作，就是處理『變異的』與『不確定的』事物，這些是電腦還不能做得很好的事情。

對於『不確定的』事物的一種有效處理方法，就是進行「腦力激盪」 (Brainstorm)。大家把可能遇到情形裡，其中最重要的幾項深入地描述、並且想出有利的對策，這樣子就可以搶得先機。這種「腦力激盪」，像是在「拋磚引玉」。有些時候，要是能夠達到「拋磚引磚」、找出各個可能的問題所在，也是很好的收穫。

1999 年拍攝的電影「危險人物」(Payback)，由梅爾吉布森 (Mel Gibson)主演的。其中提到：「如果把玄疑的因素抽走，那麼希望也跟著消失了」 (If you take away mystery，you take away hope)。所以，「變體與不確定」是 21 世紀的要素。

(2.H)

掌握氣態、掌握先機： 對於『不確定』性，還可以有深一層 (insights) 的描述。我們都知道在傳統物理學裡，物質有三態：氣態、液態、固態 (在本文不特別去考慮另一個電漿態)。在氣態的時候、尚未形成一定的形狀。如果有能力，在不等到凝結為液態、或者成為固態之前，就把未來最可能的樣子讀出來 (Read the air)。這代表著能夠『先知先覺、制敵機先』。在氣態的時候，身段最柔軟，沒有過不去的障礙。也就是，氣態的阻力最小。反之，固態的阻力最大，因為有一定的形狀、容易被卡住而過不去。氣態，可以飄著過去，「神不知、鬼不覺」。至於液態，也可以沿著縫隙流過去，只是比較會留下痕跡。到了固態，就容易被卡住。所以我常說：「把身段放柔軟，一再地『除以二』，總有柔軟到過得去的時候。」

有人會說：「在氣態的時候就把未來的結果讀出來，怎麼可能？」想一想，有些高手會『察言觀色』、注意周遭環境的「風吹草動」。有些人甚至會「測字」，只需要一個字、或者一個詞就夠了。如果我們用心，則根據聽到的一些句子、再加上所掌握的一些數據，自然可以做出系統化的推測來。這是『80/20 法則』 (The 80/20 Principle) 的最佳運用。也就是選對了投資 20% 的努力，獲得 80% 的效果，自然是四倍的報酬率。成語所說的：「事半功倍」，也是 2 乘以 2 得 4 倍的同樣意思。

英文成語所說的：「Read between the lines」，也就是中文「字裡行間」的『行間』。至於『字裡』，也可以類似地翻譯做「Read between the words」。在此另外做一個比喻：奈米級的晶片設計要考慮「變異」，分別有「整體變異」(global variation) 與「局部變異」(local variation)。「局部變異」是屬於一個晶片之內的變化量 (intra-die)，可以對應於『字裡』來看；「整體變異」是晶片與晶片之間的變化量 (inter-die)，可以對應於『行間』來

看。

凡事必須從各個角度，擴大或縮小去審視，才會在兩行之間找出隱藏的真諦來。

(2.I)

既愛且恨：地球上有 60 多億人，每一個人如何找到自己的定位？又如何在競爭的環境中「力爭上游」？人類社會有一個很『弔詭』的現象：某一位很成功的領導人實在非常地重要，但是當他(她) 下台或者逝世之後，一切還是隨著「日出、日落」有條不紊地在運行。由此可知，每一個人所要扮演的重要角色，都是自己努力去爭取來的。如果不努力，即使是秦二世由秦始皇傳下皇位，也會被推翻。一個人的工作，除了基本工資的職位是純粹按照「標準作業程序」(SOP、Standard Operating Procedure) 之外，如果想要獲得更高的報酬，就要好好地動腦筋。什麼是做得好的 KPI (key performance index) 呢？那就是達到讓其他人『既恨且愛』。先說『既恨』，因為你要想法子做得比 SOP 所描述的好，就要加入額外的點子，自然可能讓其他人看了有些眼紅。再說『且愛』，如果你的新作法對於整個團隊有直接的貢獻，大家都可以受益於你額外的努力，那麼其他人會對你覺得『且愛』了。所以一個人，如果可以做到「既驃悍、又講理」(tough and reasoning)，就可以贏得無論是同儕、還有競爭對手們的共同尊敬了。

另外一種講法，就拿汽車公司來做例子。有名的車廠，每年都要推出當年的主要款式、希望熱賣，這是『既愛』的一面。但是，在研發部門裡，早就有下一年的主要款式在進行設計，而且會比今年的更好；這是『且恨』的一面，因為需要超越今年的款式、也就是對今年的款式有不滿意的地方。一定還有「衝突點」、或者是「竅門」，需要被找出來、加以改善。請注意：找到最適合的議題，最為重要；至於從哪一個角度去逼近、解決，則相對地可以有很多彈性。

乍聽之下，這個很像典型的『矛』、『盾』說。今年滿意的、明年就不再滿意；明年滿意的、後年就不再滿意。就好像『環狀振盪器』(ring oscillator) 一樣，每一級經由「充電」(charging)、「放電」(discharging) 的過程，往下一級推進，平均的「工作比率」(duty cycle) 是 50%。每兩年就會百分之百更換；就像「摩爾定律」(Moore's Law)，每兩年的功效就要求加倍一樣。

如果拿最好的佳餚來比喻，一定是「酸、甜、苦、辣」配合得恰到好處。同樣地，在工作上需要做「SWOT」分析，以瞭解優勢 (**S**trengths)、劣勢 (**W**eaknesses)、競爭市場上的機會 (**O**pportunities) 和威脅 (**T**hreats)。工作上，千萬不能一面倒地只想討好、只想說好聽的話，那會像是在一盤食物上拼命地加糖，對人體的健康並沒有什麼益處。

(2.J)

正向衝突與**正回饋衝突**： 有『衝突』、才能造成戲劇張力，可以引人入勝，來增加

電影的可看度。

在晶片電路設計裡，除了讓訊號單向傳遞的『反相器』(inverter)、『反及閘』(NAND gate) 、或者『反非閘』(NOR gate) 之外，也要借助於解決「正向衝突」的作用。衝突的地方，就是「癥結」所在。讓來自兩方的訊號做公平競爭，強的一方即可通行。這一類型的電路包含： 作用放大器 (Op-Amp，operational amplifier)、感測放大器 (sense amplifier)、比較器 (comparator)、互斥或閘 (exclusive-OR gate) 等等。

另外一種電路，除了兩方訊號競爭之外、還有把內部資料鎖定的功能，這就是借助於「正回饋衝突」(Back-to-back positive-feedback) 的作用。例如，靜態記憶體的『位元單元』(SRAM bit-cell)、翻轉正反器 (flip flop) 等等。

3. 「通訊、與信號處理課程」的內容在活化人腦的應用

在上一節的「電子學」內容，是從『微觀』(microscopic) 著手。在這一節的「通訊、與信號處理課程」內容，我們要從『巨觀』(macroscopic) 來著手，也就是從「系統」的角度、特別是從「非線性系統」(nonlinear system) 的角度來看 21 世紀。

(3.A)

頻率與時間： 首先談『頻率』(frequency)。在信號處理上，可以分為「時間領域」(time domain)、與「頻率領域」(frequency domain)。有些人覺得，這兩者是不同的東西。再仔細想一想，它們之間的奧秘關係就會顯現出來。其時，「頻率領域的序列」是對「時間領域的序列」加以分類、排序。這樣子，低頻、高頻的概念就可以運用進來。

譬如，佛學裡提到：「首先是『見山是山、見水是水』，接著是『見山不是山、見水不是水』，最後又是『見山是山、見水是水』而且更精進。」

在此，我們可以用「影像壓縮」的『聯合圖像專家小組』 (JPEG、**J**oint **P**hotographic **E**xperts **G**roup) 的國際標準來做『訊號處理』方面的說明、而非只沿用傳統佛學的說明。這要使用到『離散餘弦轉換』(DCT、**D**iscrete **C**osine **T**ransform)。首先是採用「時間領域的序列」 (time-domain pixels)，所以我們眼睛可以看得到圖像的內容，對應的是『見山是山、見水是水』。接著經由『離散餘弦轉換』 轉換到「頻率領域的序列」，我們眼睛看了頻率係數也分辨不出來是圖像的內容，對應的是 『見山不是山、見水不是水』。然後可以把高頻的部分切除、以達到數據壓縮的效果，對應的是「更精進」。以上是「資訊源編碼」(source coding) 的範疇。如果把傳輸所需要的「頻道編碼」(channel coding) 加上去，有時還會特意使用『亂碼』(random code) 來避免被截取，那麼用人們的眼睛去看、真的分辨不出影像的內容。

在接收端，要先使用「頻道解碼」(channel decoding) 轉換。然後進行「資訊源解碼」，也就是經由 『離散餘弦反轉』(Inverse-DCT) 把「頻率領域的序列」再轉換回「時間領域的序列」，那麼我們眼睛又可以看得到圖像的內容，對應的又是『見山是山、見水是水』了。

多麼的神奇呀！兩千多年前的佛學，就可以清晰地描繪出現代的「影像編碼、頻道傳輸」技術了！

所以說，把清楚的說明得模糊，是一大能力。然後，把模糊的說明得更清楚，又是特大的能力。因此，在 2010 年「高中教師研習營」演講裡，交大吳重雨校長特別提到：「要具備『雞同鴨講』跨腦袋的溝通能力，才能不斷地創新。」

(3.B)

Huffman Coding (霍夫曼編碼)：其次，我們來談訊號處理的『霍夫曼編碼』(Huffman coding)，這是一項運用得非常廣的學問，並不局限在編碼學而已。根據維基百科的描述，霍夫曼編碼使用「變長編碼表」來對「來源符號」 (source symbol) 進行編碼。也就是說，對「來源符號」統計其出現的機率；出現機率高的字母使用較短的編碼，反之出現機率低的則使用較長的編碼。這樣子，可以使得編碼之後的字元串的平均長度的期望值 (expectation value) 降低，從而達到「無失真」數據壓縮 (lossless compression) 的目的。

對於不想要求「齊頭式平等」的場合，霍夫曼編碼提供了良好的參考答案。例如，政府的不同部會的編制人員數可以不一樣；大學裡，不同學系的教職人員數可以不一樣。還有，私人公司裡不同員工的薪酬可以不一樣，都可以參考『霍夫曼編碼』的基本精神去做最佳化安排。

每一個英文字(word) 所包含的字母 (character) 數目並不相同。常用的英文字比較短，不常用的英文字比較長，這和「霍夫曼編碼」的精神是相脗合的。

(3.C)

Vector Quantization (向量量化編碼)：俗話說：「筷子一根根分開，很容易被個別地折斷。好幾根筷子綁一起，就不容易被折斷了。」這說明了團結的重要性。同樣地，『向量量化編碼』(vector quantization)，就是把好幾個數據內容一起編碼；其效益比起每一個數據各別編碼 (scalar quantization) 會大得很多。這一項，和前面提到的『leverage、synergy』英文字可以合起來思考。

(3.D)

Global Optimization (全面最佳化)：接著要談系統裡非常重要的一項，就是『全面最佳化』(global optimization) 相對於『局部最佳化』(local optimization)。如果是簡單的「線

性系統」，那麼求解就很直接，把「反矩陣」(inverse matrix) 計算出來，再進行矩陣相乘即可。但是，日常遇到的問題，大部分是「非線性系統」(nonlinear system)；所以一般要採用『牛頓與拉夫森法』(Newton-Raphson method) 來計算「最陡降梯度」(gradient descent)，然後反覆地逼近到想要的答案。請注意，非線性系統可能有好幾組解答，有些是『局部最佳解答』；但是只有一個是『全面最佳解答』。

如何才能成功地找到『全面最佳解答』呢？已知的方法有幾種。一種就是利用「模擬降溫」(simulated annealing)，其方法可以簡單地描述如下：每一次，把現有的答案以隨意的鄰近答案來取代，其機率是根據一個等效溫度來決定。當等效溫度高時，取代的機率就大；這個等效溫度也隨著求解的過程一直在下降。「模擬降溫法」允許「向上爬坡」(uphill) 的移動，可以彌補「貪婪」(greedy) 方法的缺失。以上是比較「正統」、但是比較緩慢的方法。

另外一種方法叫做『隧道穿透』(tunneling)。如果一個『局部最佳解答』與鄰近的另一個『局部最佳解答』靠得很近，那麼就不必依靠非常辛苦的爬坡，只要由底下的「隧道」穿透過去就好。在日常生活裡，『隧道穿透法』就像是「靈光一閃、突然開竅」一般！

還有另外一種方法，就是把系統裡每個單位元的『增益』(gain、也就是相對的斜率) 降低。如此，系統的『成本函數』(cost function) 就會變得很平緩，有利於現有的答案往其他地方去移動、而找到『全面最佳解答』。舉例來說，運動可以使得緊繃的神經放鬆、血管擴張、皮膚的毛細孔也放鬆出汗，這樣子就達到降低『增益』的目的。運動所造成的放鬆，是以「平行處理」(parallel processing) 的方式讓全身的很多細胞全面地同時進行。

青少年們喜歡聽音樂、抽煙、跳舞。對於他們找尋『全面最佳解答』來說，請問：各位覺得是對應於以上哪一種方法呢？

4. 未來學 (Futurology)、未知學

希臘哲學家蘇格拉底說過：「教育不是灌溉、而是點燃火焰。」我們如果可以學習到「帶得走的能力」，就會像『幹細胞』一樣，對於新冒出來的問題，都可以有良策去應付。只要把問題看得清楚，自然可以有對應的答案。

最省力的方法，是不依靠 0 度角的拉 (pull)、或者 180 度角的推 (push)。而是巧妙地從 90 度角「垂直」切入 (『虛數』)，沒有投影量、所以阻力最小。0 度角的代表是電阻，90 度角的代表是電容、與電感。

「垂直」切入，可以從「超大型積體電路晶片」來看。在『互補式金氧半場效電晶體』的符號，輸入訊號的閘極 (gate terminal) 正好與汲極 (drain terminal)、源極 (source terminal)

相垂直的角度。這種省力的方式，促成了幾億個電晶體、或者幾十億個電晶體可以積體在同一個晶片上。

2010 年 1 月 23 日「新新聞雜誌」(The Journalist) 報導,看過了電影「阿凡達」(Avatar) 之後，在亞洲的華裔電影導演說到：「我們拍點被矯改過的歷史片就可以了，幻想片是肯定不行的。不是我們技術不行，而是我們想像力不行。並不是想像力不行，而是不敢對未來負責任。」

有人對於 21 世紀所下的注解是：「Nothing is certain。Everything needs change。」這句話在每一世紀都可以適用，只是現在聽起來更貼切。哈佛大學經濟學曼昆（N. Gregory Mankiw）教授也強調：「未來唯一確定的事，就是它絕對是不確定的。」

報紙報導，台北市的房地產價格，節節飆高。對於新出生者，他們即使在台北市落得「貧無立錐之地」，仍然可以許一個美好的未來。未來會更好，明年會更好，會有更新的車種、更酷的電子產品出現。祇要活著，任何人 (無論貧窮或者有錢) 都可以擁有未來。誰能系統化地預測未來、規劃未來、掌握未來 (洞燭機先)，誰就可以變成更「富有」；無論是在物質方面、在精神方面、或者是影響深遠的抽象的哲學方面！(請看**附錄一**。)

萬世師表 孔子在論語•爲政篇說過:「知之為知之，不知為不知，是知也。」難道『不知為不知』只是『知之為知之』的反義而已？如果只是反義詞，那麼 孔子就不需浪費篇幅地重複贅述了。再仔細想一想，極有可能前後兩句是闡述不同的東西。

就拿現代科技的晶圓專業製造公司，譬如台積電來說，『知之為知之』對應於已經設計清楚的物品，可以由研發組織轉到營運組織去生產。反之，『不知為不知』對應於尚未開發的物品，還有很多影響的因素沒有弄清楚，有相當多的選項需要釐清。看樣子，萬世師表 孔子在兩千多年前，就有「研發組織」與「營運組織」需要分工的先見之明。

結語：

這篇文章的內容，代表一種創新的嚐試。把從二十世紀後葉一直到二十一世紀所進展的微電子學、奈米電子學，以及所牽連的資訊技術 (Information Technology) 革命，擷取其精華，轉換成人腦能夠採用的型式。這是一個起頭，還有很多相關的議題留待大家去共同探討、與衍伸。在此，『演繹法』可以派上用場。

這篇文章，希望起了些帶頭作用，來影響讀者們去觸類旁通。無論大家是接著寫出相同角度 (0 度)、或是相反角度 (180 度)、還有其他角度(如 45 度、90 度、135 度等等)的文章；都代表大家在採用『演繹法』又向前邁進一個大步。謝謝！

附錄一：『未來學、未知學』

對未來的詳細預測，就算會有一定程度的誤差，但總可以掌握住大方向，勾勒出大輪廓。中庸所言：「凡事豫則立，不豫則廢。」如果五十年、一百年後的地球溫室效應可以推算出來，為什麼不能推算出二十年後、三十年後「很可能」的生活環境與工作狀況 (對各式各樣職業、職位的需求)呢？當我們對於颱風來襲、氣候變遷投注大批心力去研究，為什麼不對與年輕一代攸關的未來社會也設立「專責機構」去詳加探討、預測，然後加以規劃呢？

有些人特別喜歡「已知的事」，這樣子比較保險、不會犯錯。但是「已知的事」就好像一加一等於二，電腦可以記錄得很清楚，不需要人類去操煩。倒是「未來的事」，現有的電腦程式還沒有聰明到可以自動處理這麼多變化的狀況，正是「人腦」可以多做貢獻的地方。祇要能夠掌握預估的可能「誤差值」，仍然可以加以有效的運用。

目前國內的電機資訊領域，比較流行單一教授自組『實驗室』，對於先進與未來的發展做出研究。相對地，缺乏跨越整個系、或者整個學院、乃至於整個大學的『整合未來學』綜合探討，殊為可惜！這是極大的挑戰，也是一個絕佳的機會。

參考資料：

1. 許炳堅，『21 世紀 全球競爭力、創新與合作模式優先』，國科會晶片系統科技報導文學集體創作，2011 年。
2. 吳仁傑注譯，新譯孫子讀本，三民書局印行，1996 年 1 月。

感謝：

本文承蒙諸位先進提供改進建議與文字校正。在此特別加以感謝，包括：鈺創科技董事掌暨執行長盧超群博士(美國工程院院士)，台灣大學電機學院陳良基副院長(國家講座教授)，成功大學謝錫堃電腦中心主任及前電機系系主任、陳曉華工程科學系特聘教授。

作者簡介：

許炳堅博士於 1978 年畢業於台大電機系，獲得加州柏克萊大學的電機哲學博士，曾任美國南加州大學電機系正教授，目前在台積電公司研發組織擔任處長。是 1996 年「國際電機電子學會」會士 (IEEE Fellow)。

許博士擔任過 IEEE「超大型積體電路系統期刊」(SCI) 總編輯，IEEE「多媒體期刊」(SCI) 創刊總編輯，以及「線路與系統學術會」(IEEE Circuits and Systems Society) 總裁。於 2004 年獲得學術會「優值服務獎」。於 2006 年教師節，領取教育部頒發的第一屆「教育奉獻獎」。獲得國立交通大學頒授榮譽講座教授。從 2007 年起，擔任「晶片系統國家型科技計劃」人才培育分項召集人。

讀後感想：

感謝欄所列舉的教授、教師們提供了不少發人深省的感想。茲綜合節錄數段於此，不再個別列名。謝謝他們。

(A)

這是一篇充滿了激勵，而且很有意義的文章。其內容無論是在科學、心理學、生理學、哲學、以至於工程學方面，都有極為深入的知識。想要讀通這篇文章、並且瞭解真正意涵的人，必須有相當廣泛的知識底子。(This is a pretty meaningful article with very good inspiration issues. There is actually much deep knowledge inside including science, psychology, physiology, philosophy, and engineering. The people who want to read the article and know the real meaning may need to have more background.)

(B)

感謝你這一篇很好的文章。我覺得你可能是華人圈子裡，第一位把電子學與人文科學融合得極為貼切的人。(Thanks for your great articles! I think you are the first person in the Chinese world to blend Electronics and Humanities so pertinent.)

(C)

這篇文章論述得非常好，很適合「國科會晶片系統科技報導文學集體創作」。可以激發學生們不少新的觀念。

(D)

本篇文章在第一部分 「英文字母 (Characters) 探源」的觀念主要是延續另一篇文章「21 世紀競爭力、創新優先」中對中文與英文的相互翻譯之獨特的詮釋。其次，作者以其深厚之電子電機背景，藉由賦予大家耳熟能詳的許多電子元件與電路全新的詮釋。緊接著，作者更是從系統的角度切入來賦予電子化社會許多的新智慧與新思維。

(E)

在這篇文章中，作者再度發揮了其看似天馬行空，卻又一體貫之的龐大想像力和詮釋力；特別對科技人常用的詞彙以及專門用語 (e.g., research interest, leverage, synergy,… just to name a few) 提出了許多大膽新穎源自其他思想領域 (如佛學、管理學、甚至孫子兵法) 的觀點，能自成系統、又能自圓其說。這乃是作者本身在生活和工作體驗上的紮實閱歷，兼學養豐厚之故。年輕人若受這種鮮明風格吸引，也不宜在青少年時模倣此種文體。因為缺乏本文作者在經驗與知識上的深厚累積，行文之間必受限於腹笥甚窘、縛手綁腳，怎樣也無法如此飛揚輕快。切記！

最後，作者著墨了些其對現今兩大跨領域議題「未來學 (Futurology)、未知學的看法。此段仍然獨到精彩，可惜內容較短，讓讀者有未能一窺全豹的遺憾。但在附錄中所提到對於台灣高教 (特別是電機資訊領域) 未能有效對內整合、與對外交流，而可能不利其在未來學相關的議題上發展。此皆暮鼓晨鐘，發人深省！

(F)

本文解釋電機與電子學的觀念如何應用於未來之發展。第一節由英文文字之字根字意出發，佐以中文之意涵，鼓勵讀者不該安於現狀，應不斷的創新與學習。第二節與第三節則分別使用電子學與通訊系統的運作來譬喻其觀念與人生思考邏輯有不謀而合之處。文章內容新穎有趣且題材豐富，展現作者學貫中西的素養。

(3A) 中「見山又是山，見水又是水」有著隨著閱歷豐富、人生境界提升，有種反璞歸真、內心精瑩剔透之意味，與老子所謂「大音希聲、大巧若拙」的想法類似。但與影像壓縮過程相較，文字表象雖然吻合，但底蘊似乎有所不同，因此該譬喻是否貼切？作者可以斟酌或再加以說明。

［作者按］非常感謝提出極為精闢的見解。畢竟，兩者相差有兩千年之久，又是在不同的領域 (『哲學』領域相對於『電機資訊在通訊的應用』領域) 的獨立發現，至少後者的專利發明項目並沒有因為兩千年前一直流傳下來的話而失效。在某些面向來說，它們有一定程度的關聯性；譬如，相關係數可以估計大約在百分之六、七十左右。在沒有找到與「見山又是山，見水又是水」關聯性更高的解說之前，影像壓縮不失為一個「拋磚引玉」的例子。對於善用『演繹法』的歐美學者們，這樣的關聯性是可以接受的踏腳石 (stepping stone)。然而，對於善用『歸納法』的亞洲學者們，對於相關係數的要求就比較高，大約要在百分之八、九十才行。

同樣地，我們在每年中秋節賞月、吃月餅。而美國的太空人已經順利地登陸月球、又返回地球了。當然啦，這又是兩個不同領域的關聯性：一個是賞月的「詩情畫意」，另一個則是幾十萬公里飛行的「硬底子科學」。