

人工智慧面面觀

今日智慧型系統簡介

作者：劉昭麟、許永真

劉昭麟為政治大學資訊科學系特聘教授，目前為美國哈佛大學量化社會科學研究中心及東亞語言與文化學系之傅爾布萊特資深訪問學者。

許永真為臺灣大學資訊工程學系暨資訊網路與多媒體研究所教授，研究專長為智慧型多代理人系統、資料探勘、服務導向計算、網路技術。

本文透過人工智慧研究的主要產出「智慧型系統」，介紹人工智慧這一領域。全文分成若干子題，前半部從基本定義討論實現智慧的大方向，並觸及實際技術；後半部則帶入延伸議題，討論實際的智慧型系統，探討較為長遠的研究議題，並將視野拉回到智慧型系統與我國社會的關係，最後則是簡要的結論。

何謂「智慧」？

何謂「智慧」，是許多探討智慧型系統的文獻常見的開場問題。這類問題看似簡單，卻有深層的哲學和實質意涵。教科書或科普文章中常見的討論案例是涂林（Alan Turing）所提出的「涂林測試」（Turing test）[1]。要客觀定義「智慧」不是一件簡單的工作，許多學者對於「涂林測試」有許多後續討論。簡略而言，「涂林測試」是藉由人類測試者能否分辨與其對應者是人類或智慧型電子資訊系統，來認定電子資訊系統是否具備一般人所認知的智慧。

從粗淺的角度看，「涂林測試」所定義的「智慧」是針對系統的外在表現，但智慧的定義是否只在於系統的外在表現？這是另一層次的問題。美國哲學家梭爾（John Searle）所提出的「中文房間」（Chinese room）[2]，是另一個常用來討論此議題的案例。如果我們對系統內部運作的機轉有深度瞭解，且此機制看似機械化，那麼一個即使能進行中文對話的系統，是否還該被認定為具有「智慧」？

是否必須產自「有智慧的機制」，才能算是智慧？1997年首次贏過人類西洋棋冠軍卡斯帕羅夫（Garry Kasparov）的IBM深藍系統（Deep

Blue）[3]，以當時極佳的運算設備與速度，藉由考慮超乎尋常數量的可能棋路來擊敗對手。深藍的獲勝固然沒有爭議，但它是否具有智慧卻是當年熱議的議題[4]。除了得勝之外，真正聰明的人類通常知道自己如何致勝，同時能有所說明，當年的深藍能回答這方面的問題嗎[5]？

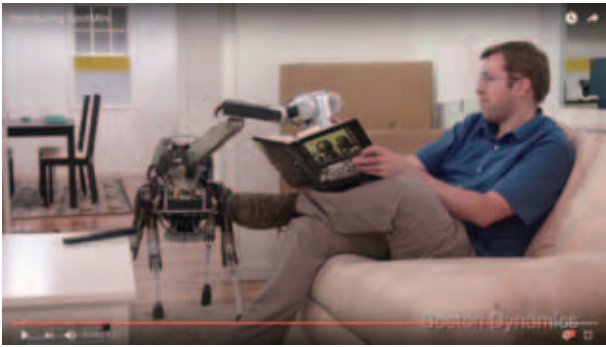
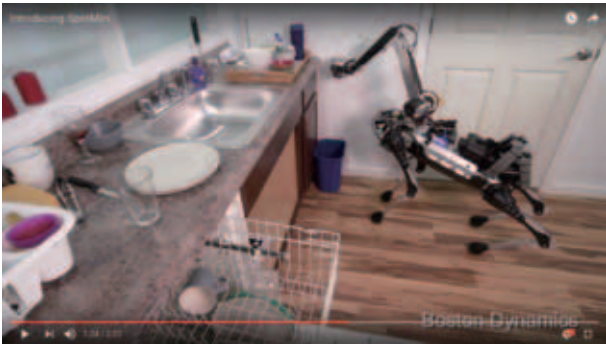
如果具備「有智慧的機制」是智慧型系統的基礎，那我們又如何定義「有智慧的機制」？人類大腦的運作是否真的是「有智慧的機制」？想想看，號稱萬物之靈的人類，在學校學習新的語文（例如英語），靠著背誦單字和文法所習得的語文能力，是否可稱為「智慧的機制」？現今大家唾手可得的電子計算器，可以輕易算出例如12,345乘以98,765的結果，而大多數人不見得能迅速算出正確的答案，這樣的計算工具能否稱為具備算術的智慧？人造機具（artificial artifact）的表現勝過人類平均能力時，是否就能冠以「智慧」的稱號？

再者，「表現得像人一樣」是否是定義「智慧」的另一種思考方向？“To err is human”是英語世界裡講人都可能犯錯的俗諺，大概沒有人一輩子大錯小錯從來不犯的。我們希望我們建構的系統或者購買的智慧型手機像人一樣，偶爾會犯些小錯嗎？這樣的系統或許較為人性化，但在實務上卻似乎難以讓人接受，尤其當這些系統負責的是關鍵性任務，例如核能電廠的監控工作時。

現代的電子資訊系統，不論在計算速度或記憶容量上，都勝過1950年代的千萬倍，我們對於「智慧型系統」的標準可以有更多的期待。60多年前涂林測試的標準，已經不足以框限現代研究者的視野，有興趣的讀者可以參閱*AI Magazine*中關於



波士頓動力公司所建構的機器人，可執行家居、粗重和救援工作。（畫面截自 youtube: Introducing SpotMini）



「現代塗林測試」的眾多專輯文章 [6]。

「智慧」的智與能

英文 artificial intelligence 常被譯為「人工智慧」。中文的「智慧」是比較靜態的名詞，而真正能發揮作用的智慧型系統，除了內在的智慧外，應該還有執行能力。這讓我們了解到，在實務上，「智能」才是 Artificial Intelligence 裡 intelligence 一詞較為適當的翻譯。

大家想想，日前谷歌的 AlphaGo 系統雖然擁有勝過人類棋手的運算機制，但還是得依賴團隊成員在實體棋盤上代為落子。能否實際落子對於圍棋棋力固然不是中心問題，但另一方面，缺乏自我獨立的執行力卻不能不說是缺憾。

智力與能力是智慧型系統不可或缺的兩個要素。

舉例來說，路徑規劃 (path planning) 的研究在資訊科學領域有相當悠久的歷史，優質的路徑規劃當然重要，但最終目的在實現所規劃的路徑。這時實現計畫的能力就很重要，例如可能就需要有自動駕駛車的技術與設備。

機器人學 (robotics) 的發展與人工智慧有相當淵源，兩者關係密切、相輔相成。結合各種尖端的辨識和控制技術，研究人員可以設計輔助醫院手術的微型機器人 [7]。手術工作繁複且涉及眾多專業知識和能力，具備相關知識的機器人參與的程度也與日俱進。除了微型機器人，又如波士頓動力公司 (Boston Dynamics) 所建造的大型機器人，輔以相當的智慧軟體，可以執行家居 [8]、粗重和救援工作。當然，具有智慧的機器人具備用於作戰任務的潛力，這也帶來了不少憂慮和辯論 [9]，許多知名學者聯名反對這方面的發展 [10]。

實現「智能」的機制——大自然的啟示

人工智慧主要的研究項目之一，是如何應用工程技術來實現 (realize) 智慧生物的智能。本文無法在短短數頁篇幅，全面深入闡述人工智慧創建 60 多年 [11] 來，所有前人嘗試過的技術，不過若採取鳥瞰角度，可約略看到兩大類相輔相成的思維。

實現智能是否意味著智慧型系統必須 (或者可以) 模仿智慧生物的思考或行為模式？採用此類思維的研究者，某些成果令人印象深刻 [12]，仿生機器人 (biologically-inspired robot) 的研究者即提供了不少實例 [13]。不只是仿生，自然現象也成為研究者的有用提示。模擬退火演算法 (simulated annealing algorithm) 是模仿冶金技術中的物理現



日本新幹線 N700 系列車「氣動雙翼」的獨特空氣動力造型車鼻，是應用基因演算法運算結果。(維基)

象，來求得最佳化答案 [14]；基因演算法 (genetic algorithm) 與大自然優勝劣敗的篩選機制有密切的關連 [15]；近期大眾常聽到的類神經網絡 (artificial neural network) [16]，則是受到大腦神經系統結構的啟發。

仿生系統的研究不必然是為了建構智慧型系統，但如果可以建構出逼真的仿生系統，就能利用它協助診斷和治療所模仿生物體的病症。因此，仿生系統的研究有其獨立存在的價值 [17]。

雖然仿生系統能提供人們研究智慧型系統的線索，但仿生並不是創造智慧智能的唯一途徑。飛機的發明過程就是絕佳例子。鳥類的翅膀提供了早期飛行研究的初步構想，但飛機的「翅膀」不見得要同鳥類一樣透過拍擊來產生浮力。

因此，實現智能表現不見得要採用與生物系統完全一致的機制，我們也可以透過電子系統或計算機制所建構的計算模型 (computational model) 來產生同樣的智能表現——雖然以這種管道所產生的智能表現是否能稱為「智慧」，尚有許多討論空間 (參看前文)。

實現「智能」的機制——計算模型

電腦完成工作的方式，本就不與人類亦步亦趨。以最平常的算術運算來說，人們慣以十進位進行算術運算，電腦則是把十進位數字轉換成二進位，在二進位的世界中進行運算，最後再把運算結果轉換為十進位呈現給人類。這兩種計算程序雖然不同，



Shadow Robot 公司的機器手臂結合人工智慧系統，展現靈敏的抓握功能。(圖片提供：Richard Greenhill、Hugo Elias，維基)

但只要結果相同，則電腦所提供的算術服務仍能為人們所用。

實現智能與完成算術運算類似，電腦可以用自己的方式實現智能，尤其現今電腦硬體中計算單元 (processing unit) 的工作原理迥異於人腦，因此電腦的「思考」方式異於人腦，是完全可預期和理解的。

在資訊科學領域中，我們把處理某件事情的固定程序稱為演算法。相對複雜的工作因涉及項目較多，可以組織眾多演算法來完成，這個較高階的程序常稱為「計算模型」。

舉例來說，為了辨識人類所講的話語，語音辨識

系統需要有一整套計算模型：能接收聲波、分析聲波、將聲波轉換成可能的文字、選擇諸多可能文字組合中的最佳組合以構成語句，最後甚至能分析和推得這一語句的句法和意義。每個階段的工作各有其必要的演算法（甚至是另一個計算模型），而這些演算法（或計算模型）可能採用邏輯或任何必要的量化技術來完成任務。

儘管母語使用者通常不會意識到，自己需要經過上述那些步驟才能了解對話者所說的話（當然，這並不表示人類大腦沒有實際採用這些歷程來處理語文資料），但為了完成繁複的工作，智慧型系統的設計者經常把繁雜的工作分解成幾個主要步驟，先解決個別子問題，最後再把個別問題的答案結合起來，完成原本看似複雜的工作。

這類以工程設計為基礎的設計原則，不見得需要完全了解、模仿和具備智能生物的思考方式，只要最後完成的系統，可以體現想表現的智慧行為即可。

「大自然的啟示」與「計算模型」這兩個觀點，提供我們觀察和實現智能的不同設計角度，在達成優質智能系統的路上，兩者通常相輔相成，並非絕對互斥。例如，以類神經網絡或基因演算法為基本設計理念的計算模型，在設計一個完整系統的時候，大多還得考慮所處理的問題特性，不會一味只採用最原始的仿生概念。

計算模型的理論基礎

藉由計算技術建構智慧型系統的作法不可勝數，但近年來人工智慧的入門教科書大致採行一套共同說法 [18]：智慧型系統需具備推理的能力，而推

理仰賴知識，我們得設法在電腦裡儲存人類所認知的知識，因此需要以數位技術的方式來作知識表示（knowledge representation）。擁有知識且能夠推理的系統，大致就能成就一些智慧行為。總之，我們需要以適當形式，把相關專業知識儲存在電腦系統中，以便電腦軟體進一步運用，分析問題、推理和解決問題（problem solving）。

不過，如果系統必須靠賴專家提供知識才能有所作為，其所展現的智力總是有限，因此前輩學者很早就提出機器學習（machine learning）[19][20] 的概念，希望機器能自行學習新知，自己教育自己。搜尋技術（search）是許多早期研究的共同議題，同時也成為其他尖端技術的核心元件，因此這一議題也是許多人工智慧教科書的標準內容。

舉例來說，象棋、西洋棋、圍棋各有其走法和勝負規則，我們必須找到方法在電腦裡記錄這些規則，並且讓電腦依照規則下棋，才算建立了基本的下棋程式。當然，會下棋不代表就下得好，下得好棋需要更高層次的經驗或知識。對於圍棋來說，布局、中盤、打劫和收官等不同階段與情境就需要不同的考量和策略。

人類會透過觀察或參與對戰來增進自己的棋力，在設計下棋系統時，我們也可以讓電腦系統有自我學習的功能。藉由蒐集專業棋士對戰的棋譜，建構出能分析過去棋譜的學習子系統，從對戰紀錄中學習勝棋的策略，將來再以學得的策略去下棋，這就是一個機器學習的子系統（參見本期其他文章）。

知識表示、推理能力及機器學習，是設計智慧型系統的三大支柱，不只對於下棋系統如此，其他應用領域也可以依此角度分析智慧型系統的基本結

構。再以動態人臉辨識為例，首先我們得有辦法在電腦系統內記錄人臉的資訊。什麼是「人臉」？這是知識表示的問題。攝影系統不見得每次都拍攝到人的正面，拍攝時的光線、角度、被攝者的表情等，都會影響攝得的臉型和辨識的挑戰度。好的辨識系統要有相當的推理能力，才能在不同情境下獲得良好的辨識成效。當然，如果我們擁有辨識對象的大量照片，甚至包括他不同年紀的照片，則辨識系統的學習功能或許還能學習到人臉在不同情境和時空的變化規則，因而達成更高難度的辨識成效。

知識表示、推理能力、機器學習這三個議題是相互關聯又自成獨立的研究領域，需要更大篇幅才能詳細說明如何運用電腦來實現這些功能。簡略而言，「知識」的範圍非常廣泛。若是針對特定問題，有些應用所涉及的知識與邏輯關係較為接近，或許可用邏輯語言來表示相關知識。諸如命題邏輯（propositional logic）、一階邏輯（first-order logic）、非單調邏輯（non-monotonic logic）等邏輯推理系統，在人工智慧發展上，不論過去或現在都具有重要地位，是人工智慧研究和哲學家相當重視的議題。

在另一類問題之中，事件與事件之間不見得有絕對確定的關聯，這時就可使用機率或其他量化方式來表示事件間的不確定性。除了機率之外，不同類型的不確定關係，其表示方式還有模糊性（fuzziness），以及可用機率區間表示的「含糊」性（vagueness）。

搭配不同的知識表示機制，智慧型系統所採用的推理機制也經常不同。資訊科學教科書中，計算交通網絡的最短路徑（shortest path）和最快路徑

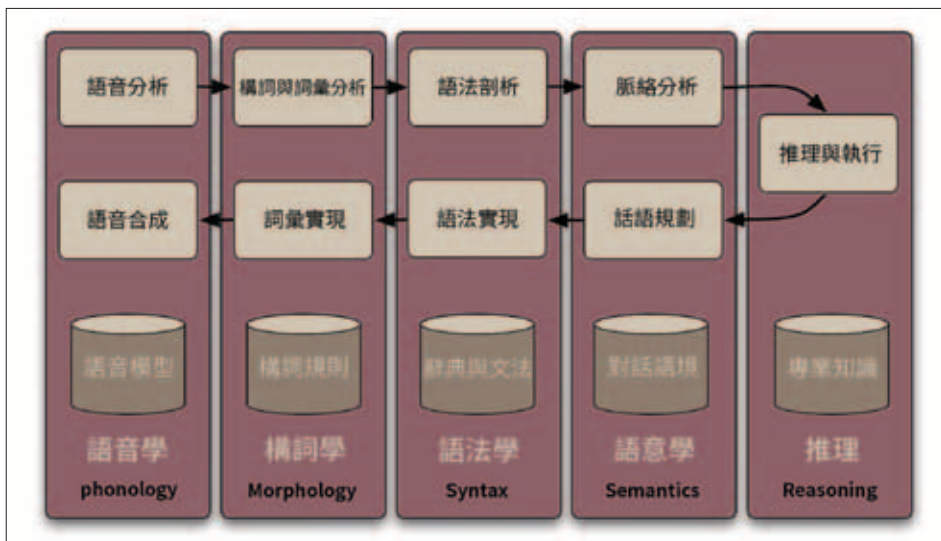
（fastest path）是常見的教學範例。兩者雖是類似的運輸問題，但要找到答案所採取的推論（或者計算）程序，可能因基礎知識表示法的不同而有所差異。例如在搜尋技術和機率計算裡，處理「含糊」關係機率區間的計算，與一般的機率計算雖有關係，但也有許多不同的細節需要處理。

大多數機器學習技術都涉及如何從大量資料中找出潛在的有用規則，因此除了軟體程式的設計之外，我們尚需借助諸如線性代數、數理統計、圖論、幾何等數學專業知識，來分析資料中潛藏的有用特徵。

各種基礎研究 文字與語音

自然語言處理（natural language processing，NLP）[21][22]是整合資訊科學、語言學與認知科學等的跨領域研究，在人工智慧發展初期，已有許多學者期待智慧型系統能以中文、英文等自然語言（而非如 Python 或 C 語言這類「程式語言」）與人溝通。語文資料的處理可粗略分為文字和語音兩大類型，例如，谷歌的線上翻譯服務 [23] 是處理文字的系統，而智慧手機上的 Siri [24] 則需要處理語音資料。為了與人溝通，完整的系統當然還需要語音合成（speech synthesis）[25] 的能力。

要真正深度了解人類的話語需要大量知識，對人工智慧研究來說至今仍是很大的挑戰。例如字詞、語法（syntax）、語意（semantics）的知識是相當基本的，一般母語使用者幾乎是毫不自覺地運用語文知識來進行日常溝通。以中文處理為例，電腦程式要如何知道「購物中心有圖書館」這句話通常是



人工智慧完成「涂林測試」的步驟之一是能聆聽、思考並回答人類的問題。因此自然語言處理是人工智慧重要的一環。圖中顯示的是對話聽講循環中，需要用到的知識技術。

表示「購物中心的區域內有一間圖書館」，而少用來表示「在購物時，心裡想到圖書館」？不論在中文或大多數語言裡，字詞的順序都相當重要，因此「某甲喜歡某乙」跟「某乙喜歡某甲」雖然用字完全相同，卻表達了完全不同的意思。

語文不只傳達資訊，還經常攜帶著情緒的資訊 [26]。「某甲喜歡某乙」、「某甲不很喜歡某乙」、「某甲不喜歡某乙」、「某甲很不喜歡某乙」和「某甲討厭某乙」傳達了不同程度的喜好關係；資訊系統需要適切分析這些陳述，才能分辨其間的差異。另一方面，書寫的文字不見得能精確記錄口頭陳述的情緒，以不同抑揚頓挫的語氣來說「某甲喜歡某乙」這句話，可以表達從喜歡到不喜歡的多種程度關係。因此，語音訊號的處理除了把聲音轉換成文字再進行處理之外，也可能需要深入情緒分析的境界。

事實上，不管是字面上或口頭上，說「討厭」不見得是真正討厭，特別是在男女朋友的對話中。詮釋語文資料所傳達的意義不見得都是字面的意思，有時也依賴弦外之音或者反諷。因此，正確詮釋語文資訊有時還需要該語文的文化背景資訊，甚至基本常識 [27]。基本常識屬於看似簡單，但極難定義和掌握的基礎資料類別。人們往往不自覺地應用必要的「基本常識」，但不見得能清楚表列哪些是完

成某一工作的必要常識，這是目前許多研究者仍在努力的部分 [28]。

機器人及其介面

前面提過智慧應該包含智與能，因此機器人的設計也其來有自，而且有相當的歷史淵源 [29]。機器人的設計牽涉到許多基本研究，電腦視覺 [30]（或感測）系統是其中較容易想像，在人工智慧研究史上也是較早開始的領域。此外，機器人如何移動而不跌到、不撞到其他物體（特別是不撞傷人）是很重要的基本要求。視覺當然不只是偵測物體的有無，以自動駕駛車的應用來說，顯然還需要區辨車輛前方的物體是行人或是一起前進的車輛，才能採取正確的行動。

使用者介面幾乎是所有與人互動的資訊系統必備的部分，具備友善的使用者介面，系統才能與人平順有效的溝通 [31]。尤有甚者，如果必須蒐集個人即時的生理資料，要如何完成這項任務且不影響個人的正常工作？是運用穿戴式設備（wearable device）還是利用間接偵測技術？這是現今智慧型使用者介面的重要研究課題，有興趣的讀者可繼續參考 *AI Magazine* 的「與機器人對話」專輯 [32]。

自我調適學習的系統

在電腦計算速度不夠快、記憶體容量不夠大的年代，前輩學者提出機器學習的概念時，曾受到眾人的質疑。近幾年計算速度與記憶容量的障礙大幅降低，讓機器學習從實驗室走向實務界。與此同時，機器學習的目標也應該同步擴大。



2016年在德國萊比錫舉行的機器人世界盃足球賽，這是 B-human 隊的機器選手。(維基)

智慧型系統的智慧，不應該固定在被建構完成時當下的靜態 (static) 智慧，而應該具備隨時調適 (adapt) 自己智慧的能力。機器學習技術不僅僅用在協助我們建立智慧型系統，更應成為該系統的一部分，藉著隨時察覺智慧型系統本身執行的成效，動態地調適自己的行為模式。這種動態學習的智慧與人類的智慧更加接近，也讓智慧型系統具備更加可觀的潛力。

集體的智慧——多代理人與物聯網

如果「三個臭皮匠勝過一個諸葛亮」，那麼數個智慧型系統合作，是否更勝於單一的智慧型系統？多代理人系統 (multiagent system, MAS) [33] [34] 在人工智慧研究領域已有多年歷史，機器人世界盃 (RoboCup) [35] 足球賽是相當知名的國際競賽。機器人世界盃雖然比賽項目多樣，但多數不只是單一機器人的挑戰。既是競賽就有隊友與對手，機器人的控制程式必須分辨場上何者是隊友何者是對手，並與隊友合作共同與對手競爭，而且隊友合作也依靠團隊策略。這類競賽中，參賽的智慧型系統必須考慮多個參與者的問題，使得系統設計進入更加複雜和廣闊的境界。

這個發展趨勢並非只是為了學術興趣，物聯網 (Internet of Things, IoT) [36] 已經是各國產官學界極為重視的發展方向。物聯網和多代理人系統有明顯的共同點：兩者都著重多個系統的合作。如果能把物聯網的研發、智慧型系統技術和多代理人系統適當結合，必可發展出許多有用的應用

系統 [37]。這或許也是英特爾 (Intel) 公司選擇與臺灣大學資訊工程系人工智慧多代理人系統團隊合作的著眼點 [38]。

以交通運輸問題的最佳化為例，如果車載電腦可以相互交談，兩車的電腦可以估算自己的動線是否將與其他車輛在同時同地交會，則車輛碰撞事故的機率可大幅降低。再以每逢連續假日就讓大家頭痛的塞車問題來說，如果資訊安全和保密可以做到讓所有車主都放心的程度，讓國家交通控制中心掌握每一輛行進車輛的動向，結合智慧型運輸系統 (intelligent transportation system) [39] 的研究，或許就有機會適度分配車輛的行進路線，尋求駕駛人滿意度與道路使用率的最佳組合，藉此減緩假日塞車的嚴重程度。此外，我們可以蒐集和整合電子票證 (例如悠遊卡和一卡通) 的旅程資訊，或透過重要路口攝影機所蒐集的交通流量資料，甚至廣邀上班族群提供其來往住家與上班處所的固定交通需求，以智慧型系統分析技術來解析都市交通運輸的常態和動態需求，這對於大眾運輸的效能 / 效率最佳化，包含路口紅綠燈秒差的控制、捷運公車班次及路線的調整等，將有很大的助益 [40]。

人與機器的競合經驗

不少人工智慧研究以「勝過人類」作為研究成果的指標，像棋賽就長期受到國內研究社群的廣泛注目 (參見本期〈電腦圍棋四十年〉一文)。人機棋賽則是近年深受媒體矚目的項目。早在 1979 年，



IBM 華生電腦在搶答益智競賽 Jeopardy 中勝過人類常勝軍。(IBM Research, YouTube 截圖)

示在電腦系統中，則電腦便可用嚴謹步驟嘗試可能的證明程序。即使電腦不見得能立即找到證明的路線，只要數學猜想為真，不疲不憊的電腦應有機會為人類找出證明的路線。這系列最新成果是 2016 年所證明的「布林畢氏三元數問題」(Boolean Pythagorean triples problem) [54]。(關於數學之電腦證明可參考本期〈數學需要電腦與新數學基礎〉)

前景與挑戰

硬體計算能力的持續大幅增進 [55]，特別是大量平行運算機制，讓我們可以高效率的處理更多資訊 [56]。近 20 年來，網際網路的盛行與資料開放的趨勢 [57]，讓我們可以透過分析相關資料，建構更多以人為中心的智慧型服務。智慧型系統的研究與開發可謂是蒸蒸日上。電腦圍棋程式勝過人類高手固然是重要里程碑，但也僅只是一個里程碑，我們還有更多研究和開發工作可以做。

從對局論 (game theory) [58] 的角度來看，諸如西洋棋、象棋、圍棋等棋賽的勝負和參賽者的目標，都是完全公開的資訊，這類問題屬於相對簡單的完全資訊 (complete information) 類。現實生活的許多決策則常需面對不確定的因素，屬於不完全資訊 (incomplete information) 類。例如打橋牌時，

牌局中的個人不能確知他人手中的牌 [59][60]；或者在競標活動中，單一競標者無法確知其他競標者對標的物的評價和實際意圖 [61][62]。這

種情況和下棋不同，無法掌握盤面所有資訊，因此要用智慧型系統找到優質決策的難度也不一樣。

大數據 (big data) 時代帶來許多新的機會和挑戰。大量的資料，讓機器學習技術的研究者可以應用更多的資料。一般來說，資料愈多，機器學習的成效愈好。不過，由於資料來源的多元化，不同來源的資料不僅格式和內容不一致，品質也可能參差不齊，如何從中篩選優質的資料以增進計算的效能，已成為重要議題 [63][64]。

有了大量且優質的資料後，如何善用這些資源，就是智慧型系統設計者的任務。工作重點在於讓機器學習和資料分析程式深度了解資料所潛藏的意義 (semantics 或 meaning)，藉此發現真正、甚至更有用的潛在知識 [65]。資料分析過程常見的問題是資料的歧義 (ambiguity) 現象，例如前述「購物中心有圖書館」就有兩種可能的詮釋。假設資料所攜帶的意義必然只有一種 [66]，資訊科學領域已可利用去歧義 (disambiguation) 技術找出正確的意義。去歧義技術可能參考人們日常處理資訊的經驗法則，因此有研究者試圖探究人腦處理多義資訊的腦部活動和認知歷程 (cognition)，希望有助於設計有效的去歧義技術。有興趣的讀者可以參閱 *AI Magazine* 的「大數據語意研究」專輯 [67]。

智慧型系統的設計大都假設系統將在友善環境中

運作。這與早期電腦系統大多不考慮電腦病毒的時代類似，只不過現在大多數電腦都配備防毒軟體，具有基本的防護措施。智慧型系統將來也有可能敵對環境下運作？針對智慧型門禁系統，侵入者是否可能偽造指紋甚至瞳孔影像來欺騙系統？目前門禁系統設計應已納入這類安全因素，但其他智慧型系統未來是否需要考慮類似的防偽或防騙機制呢？

最後，人工智慧能否展現自主的創意 [68]，是不少人提過的挑戰問題。何謂「創意」或許跟何謂「智慧」一樣見仁見智。例如經常有人會問智慧型系統是否能聽懂人類的笑話 [69]？是否能編笑話 [70]？甚至人工智慧是否能寫詩 [71]、作曲、作畫 [72] 等，都可作為思考這類議題的引子。

智慧型系統與我們的社會

智慧型系統近年進步迅速，已有許多研究成果陸續展現於大眾面前。由於智慧型系統應用的方向十分多元，不該以簡單的看法或預言來框限其發展。每個國家或社會應該量力而為，發展對自身最相關、最有利的應用方向 [73]。

例如回顧前文提到智慧型運輸系統的應用。臺灣可居住地區的人口十分密集，如果在六都之內發展區域型經濟中心，搭配（甚至透過收費機制導引）上班日大眾運輸系統的使用，應能大幅降低尖峰時間的能源消耗量及二氧化碳排放量。若能適度最佳化，或許還可大幅減少上下班時間的堵車之苦，達到全民與個人的雙贏。前面也提到，在連續長假或例假日，由於大量私家車出籠，超過道路系統乘載能量的負荷，使得熱門觀光路線和景點的堵車成為固定問題。這類問題雖然難解，但如果多方蒐集

堵車前後的車流資訊，擴大相關道路系統的疏導範圍，加上適當的堵車預警，或許可以減緩堵車的嚴重程度。

全球暖化問題日益嚴重，許多國家政策必須考慮永續發展的課題。舉例來說，電力是基本民生和經濟發展的必要基礎，但我國欠缺自主能源，如果透過數據分析 [74]，調配電力負載的時段，能否更有效率的運用電力？再以水力資源為例，臺灣的中央山脈在颱風季節經常發揮屏障西部平原的作用，但陡峭的高山也讓我們不容易留住珍貴的水資源。智慧型系統能否協助分析水資源的應用，讓多雨的臺灣少有缺水之苦？如果我們在主要的水源地區設置監測系統，透過長期的資料蒐集和分析，或許可以模仿密西根大學推動的 Internet of Water [75] 研究計畫，減緩臺灣的淹水和缺水問題。AI Magazine 曾經連續兩期特別推出永續經營的專輯 [76]，有興趣的讀者可以參考。

智慧型系統是跨領域的研究，不僅只侷限於電機、資訊或數學領域。我國自 921 大地震之後，有許多關於利用電子資訊系統，例如救災機器人 [77] 來協助救災的研究。救災固然重要，但如果智慧型系統能協助建立預警系統防患於未然，更能收預防勝於治療的功效。橋樑老舊是我國交通運輸系統的長期問題 [78]，由於臺灣地震頻繁，橋樑安全性的監測不是一次性的工作，需要持續的監測和改善。另外，臺灣輸電線路大多沿海邊或循高山而建，電塔與輸電線的穩固影響全國電力供應甚鉅，這項基礎建設可能受到地震、颱風與鹽害的長期影響，需要固定檢修。如果有智慧型系統整合影像處理和土木力學等專業知識 [79]，就能以更高效率和更低成



臺灣電力系統圖，含各類型電廠以及電網圖。圖中橘色線就是超高壓輸電線。未來希望能建立臺灣智慧電網與智慧型輸電系統檢測。(本圖出自臺灣電力公司〈2013年永續報告書〉)

[81]，有興趣的讀者可以深入探索。

少子化問題目前雖然只衝擊到教育系統，但人力資源以異常速率降低，終將影響到各行各業。基本勞動人力的急速減少，讓許多企業開始著手或規劃引進智慧型機器人。舉例來說，鴻海近期宣稱將在廣東昆山廠引進相當於 6,000 名人力的機器人 [82]。人口高齡化與少子化是一體兩面的發展，未來青壯人口比例變少，需要照護的高齡人口比例變多 [83]，如何利用智慧型系統與家居機器人協助長期照護，也是值得政府與大眾注意的研究議題。

智慧型機器人的問世和進入職場，對於資方固然有正面

本長期即時的監測公共工程安全性。

在教育方面，以智慧型系統技術搭配現今的開放式網路教學環境，是我國發展智慧型應用系統可考慮的方向。在少子化問題逐漸嚴重的今天，國家更應該重視每個小孩的教育。雖然現實上很難對每位學童進行一對一教學，但如果透過智慧型分析技術，了解個別學生的特質 [80] 以及尚待補強之處，就可以朝向適性化教育方向發展。經過教育專家評鑑合格的教學輔助軟體，可輕易普及化到城市與偏鄉，降低偏鄉教師人力不足的缺憾，縮減城鄉差距。AI Magazine 曾推出「智慧型教學系統」專輯

助益，但正因智慧型機器人的能力與日俱進，對勞方人力市場造成的影響值得密切注意。前面提到，IBM 以華生系統為基礎發展名為 ROSS 的律師系統 [84]；波士頓動力公司的家居機器人可以擔任比清掃更加複雜的管家工作。另外，從 2012 年開始，谷歌就開始在美國各州爭取自動駕駛車的上路權利，自動駕駛車的研究目前已蔚為風潮（相關資料可在網際網路上看到）。但若將智慧型系統進一步整合，更將開拓出過去難以想像的跨界運用，例如整合自動駕駛和 IBM 華生系統的應用，已跨入遊樂區的導覽工作 [85]。

智慧型系統或許在短期內不會大量取代人力，但科技持續進步，相關的社會衝擊為期不遠。李開復在接受《天下雜誌》訪問時，列出將大量被智慧型系統取代的四種「師」級白領職位 [86]。這類憂慮早自人工智慧發展的初期就有類似論述，近幾年由於智慧型系統的加速進步，使得更多人，包括知名科學家霍金（Stephen Hawking）都注意到其潛在影響 [87]。科技進步、經濟發展與社會就業的均衡，是國家政策決策時必須認真考量的問題 [88]。隨著科技發展的成熟，或許再過幾年，即使智慧型系統不至於全面取代某一類專業人力或基礎勞力，也將使得資方雇用的同等級人數大幅下降。與目前已高度自動化的廠房類似，這類工作內容將只是監控和確定機器人系統是否依照規劃完成工作而已。

結語

以人工智慧發展超過 60 年的歷史來說，以上不算短的介紹短文只能算是蜻蜓點水，不少議題雖然也很重要，只好暫時擱著。例如，部分人工智慧學者認為我們應尋求單一機制來建立智慧系統——學者稱之為通用人工智慧（artificial general intelligence, AGI）[89]，而不是如同本文所言，每個系統都個別針對特定應用而設計。在許多科學領域的發展中，科學家試圖找尋最精簡的理論來說明更多的現象 [90]，物理學 [91] 和數學 [92] 都有類似的研究。我們也沒有能就人工智慧發展的過去歷程多所著墨，著名的人工智慧前輩學者尼爾森（Nils J. Nilsson）的專書著述 [93]，應該可以稍稍滿足對人工智慧發展歷史有興趣的讀者。另外，除了前面引用多次的 *AI Magazine* 之外，美國人工

智慧學會 [94] 在其 AI Topics 網站 [95] 上也提供了許多與人工智慧相關的介紹和專門著述 [96]。國內的相關學會相當多，本文無法完整表列，與前述議題相關的包括中華民國人工智慧學會 [97]、中華民國計算語言學會 [98]、中華民國影像處理與圖形識別學會 [99]、中華民國模糊學會 [100]、臺灣機器人學會 [101] 與中華智慧運輸協會 [102] 等。

近年來智慧型系統研究與開發的進步，讓許多人以為這個領域的發展已達尖峰，實際上，這些都只是一連串重大發展的中間過程。隨著計算與數理基礎、硬體設備、軟體技術的更上層樓，我們期待智慧型系統可以為人們的生活帶來更多、更大的貢獻，有興趣的讀者可以繼續參考美國史丹福大學近期所發表的展望報告 [103]。∞

本文參考資料請見〈數理人文資料網頁〉
<http://yaucenter.nctu.edu.tw/periodical.php>

延伸閱讀

► *AI Magazine*（人工智慧雜誌）。本文多處引用的這本雜誌，是美國人工智慧學會（Association for the Advancement of Artificial Intelligence, AAAI）旗下出版的季刊雜誌，以其涵蓋的廣度與專題著稱。

<http://www.aaai.org/Magazine/magazine.php>

► Nilsson, Nils John *The Quest for Artificial Intelligence: A History of Ideas and Achievements*（追求人工智慧——觀念史與成就史，2010）Cambridge University Press。本書補足本文比較缺乏的人工智慧哲學面與歷史面。

網路版：<http://ai.stanford.edu/~nilsson/QAI/qai.pdf>

► 多人合寫 *Artificial Intelligence and Life in 2030*（人工智慧與 2030 年的生活，2016）Stanford University。這是 2015 年史丹福大學「人工智慧百年」之研究論壇展望報告書。

<https://ai100.stanford.edu/2016-report>