

# 人工智能的新範式： 行為主義學派的理論和實踐

• 李建會

## 一 經典人工智能面臨挑戰

機器能夠思考嗎？1950年著名的計算機專家圖靈 (A. M. Turing) 在《心靈》 (*Mind*) 雜誌上發表了一篇劃時代的論文：〈計算機器和智能〉 (“Computing Machinery and Intelligence”)。在這篇論文中，圖靈認為，機器能不能思考的問題，應當用機器能否通過他設計的著名的「圖靈測試」的問題來代替。如果機器能通過這個測試，就可以說機器具有思維。

圖靈在這篇文章中的豐富想像和博學引起了人們對機器智能的極大興趣。1956年，十位數學家 and 邏輯學家在美國達特茅斯學院舉辦學術討論會，他們的目標是確定智能的特性原則上可以用機器來模擬。與會人員中有麥卡錫 (John McCarthy)、明斯基 (Marvin Minsky)、西蒙 (Herbert Simon) 和紐厄爾 (Allen Newell)。這四個人後來奠定了人工智能這門交叉學科的基石。

明斯基把人工智能定義為「讓機器作本需要人的智能才能夠做到的事情的一門科學」，也有人認為人工智能的目標是建造有用的智能系統並通過它們來理解人的智能。計算機誕生初期，主要被用來幫助人們進行數值計算，在這方面，計算機表現出卓越的能力。與此同時，人們也開始嘗試用計算機做下棋、翻譯語言和定理證明等智能行為。1976年，美國伊利諾斯大學的阿佩爾 (Kenneth Appel) 用了1,200小時，在三台計算機上做出了二百億個邏輯判斷，終於證明了百多年來人們一直想證明的四色定理。這一成果引起了轟動，它說明在專門領域內，計算機的運算能力遠遠超越了人類。在這樣的背景下，70年代後人工智能的研究從理論轉向應用，出現了專家系統和知識工程兩大熱點。

70年代專家系統發展起來，如西蒙的學生費根鮑姆 (Edward A. Feigenbaum) 與諾貝爾獎得主、遺傳學家萊德伯格 (Joshua Lederberg) 合作研製的，可以作質譜分析來確定未知有機化合物結構的ENDRAL系統，斯坦福大學研究的醫療諮

詢系統MYCIN，匹茲堡大學研製的疾病診斷系統INTERNIST等。它們利用專門的知識庫、相互關係和專門範疇的推理規則完成各自的工作。

由於專家系統的知識都是由人事先整理後輸入計算機的，所以工作量非常巨大。這樣，知識的獲取就成為開發專家系統的瓶頸。計算機還遠沒有人類自我歸納學習的能力，對高層次的智能雖已有近似專家的水平，但模擬低層次的智能如聽覺、視覺信息的識別還不如三歲小孩，對許多下意識的常識推理、不確定的知識和直覺思維更是無能為力。在這種背景下，知識工程應運而生。知識工程就是在把人類知識整體與計算機結合的基礎上，研究知識的結構、分類、預測、存取、獲得、傳輸、轉換、管理、利用、增殖、學習和表示等問題。

然而，到了80年代，人工智能及與其相關的機器人製造遇到了前所未有的困難。人們發現，用單純程序的形式表達人類專家所具備的知識，遠比想像中要困難得多。當然這並不是說專家系統停止了工作，但比預期的要少得多，並且往往都是在一些不太複雜的領域。

與人工智能相關的機器人製造的進展，也沒有像最初想像的那麼迅速。1966年，明斯基和他在麻省理工(MIT)的同事認為，他們能夠在一年內搞清楚視覺的工作機制，然而並沒有成功。為了簡化這個問題，他們轉而試驗設計可以用模塊搭建房屋或塔樓的機器人。但這個「微模塊世界」的研究同樣不順利。機器人的視覺系統在辨別玩具模塊時表現不佳；馬達控制程序無法精確地放置玩具模塊；機器人放置物體時顯得非常笨拙。

麻省理工的研究者認識到，智能遠遠不像他們最初想像的那麼簡單。「與期望的相反，微世界研究方法沒有導向對一般智力問題的漸進解決。」<sup>①</sup>

面對這些困難，一些專家認為，這主要與計算機的能力有關。他們相信，隨着功能更強大的計算機出現，計算機的智能將達到和超越人類。

另外一些專家則認為，傳統人工智能和機器人研究的方法存在着根本的缺陷。要想獲得新的發展，必須有全新的研究思路。恰在這時，人工生命的研究興起，為機器人研究提供了全新的思維方式。

## 二 行為主義學派的興起

傳統的人工智能研究和機器人製造採取的是自上而下的研究方法，即研究者先確定一個複雜的高層認知任務，接着把這個任務分解為一系列子任務，然後構造實現這些任務的完整系統。這種研究事先要把相關知識存儲起來，然後利用計算機的大容量存儲能力和快速計算能力對相關知識進行處理。所以，這種研究又被稱為「以知識為基礎的研究」。傳統的人工智能在一些專門領域取得了成功，比如在下棋方面，「深藍」已經能夠戰勝國際象棋大師。但是「深藍」下棋與人類下棋非常不同。人類象棋大師很多時候靠直覺移動棋子，而「深藍」依靠的則是它快速的計算能力，從成千上萬的可能走法中搜索並挑選出一種。因

此，以知識為基礎的人工智能系統的智能，跟動物和人類智能的意義並不相同。人類的智能，甚至動物在對外界環境反應過程中表現出來的智能，要比已有的機器人靈活和自然得多。所以，一些機器人專家開始考慮向自然界的生物學習。

從生物進化的角度看，人的智能並不是突然出現的，而是經歷了一系列的中間發展階段。這種發展可以從很多動物身上看出來。一些機器人專家認為，對這些較低層的生物智能的認識，可以幫助我們認識人類較高層次的思想是怎麼組織的。因此，與傳統的人工智能研究相反，新的方法採取自下而上的研究策略，把注意力集中在處在現實世界中可以自主地執行各種任務的物理系統，比如移動機器人上。

威爾遜 (S. W. Wilson) 是較早進入這個領域的研究者之一。威爾遜認為，智能與生物體對生存的需求緊密相關。正是生存的動力不斷界定自然界中的不同問題，從而使生物產生多樣性。所以，只有從複製動物的智能開始，才能達到最終複製人類的智能。威爾遜把主要目標定在製造能夠躲避危險、尋找食物、能用動物的方式應付環境的機器人。威爾遜把他的人造生物取名“Animat”。他主持召開了數次關於Animat的國際研討會，Animat一詞很快就在人工智能和人工生命領域流行開來。

布魯克斯 (Rodney Brooks) 也是從80年代初期開始以全新的眼光來看待人工智能和機器人研究的學者。他在研究過程中發現，傳統的邏輯程序在機器人的導航方面顯得非常緩慢和笨拙。傳統的機器人研究先假設真實的世界是靜止的，當我們把這個靜止的世界中的所有問題都解決了，再回到動態世界中研究它。但布魯克斯一開始就假設世界是動態的，這樣就可避免陷入無止境的運算中。他的目標是製造能夠處理變化多端的日常事務的移動式機器人，一開始關注的就是機器人的行為。布魯克斯認為，為了真實地檢驗智能觀念，重要的是建構完整的、能夠在動態環境中使用真實的感官和外界發生相互作用的機器人。對外部世界進行完全表徵的內部模型，即傳統的人工智能模型，一方面很難建立起來，另一方面對機器人的行為並不必要。

基於這樣的認識，布魯克斯認為，新的研究應當強調以下幾個方面<sup>②</sup>：

(1) **現場化**。機器人被放置在現實世界中，它們不處理抽象的描述，而是直接對其所處的外部世界作出反應。(2) **實體化**。機器人具有身體，用身體直接感受動態的外部世界。(3) **智能化**。這些機器人看上去應當表現出智能，但是智能並不只是來自它的計算引擎，而且也來自環境世界的情景、感應器內的信號轉換以及機器人和環境的相互作用的情況。(4) **突現性**。機器人與其環境之間動態的相互作用，以及機器人各部分之間的動態的相互作用，可以突現出令人驚異的結構和功能。智能就是突現出來的一種結果。

80年代中後期興起的這種新的人工智能研究思路，有人把它稱為「自主行動主體研究」(Autonomous Agent Research)，也有人稱之為「行為主義學派的AI」或「自下而上的AI」，以區別於經典的「基於知識的AI」，或「自上而下的AI」。也就

是在這時，蘭頓 (Christopher G. Langton) 發起了首屆人工生命的國際研討會，宣布一門新的學科——人工生命的誕生，其最終目標是建立具有智能的人工生命。但人工生命不是直接走向智能，而是先從研究低層生命開始。某種低層生命構件的存在提示我們尋找解決智能問題的新方法，從而有計劃、邏輯地取代其他方法。可以看出，蘭頓的感覺和威爾遜、布魯克斯等人通過研究相對簡單的生物行為，使機器人先具有低層次的智能的思想極為相似。正由於此，基於行為的人工智能研究與人工生命融合在一起。

### 三 行為主義學派的理論

由於傳統人工智能集中在「推理」上，在建造機器人時，採取的是「感覺—建模—計劃—行動」(sense-model-plan-act) 框架。早期的機器人都被放置在簡單的人工世界中，它們感覺這個世界，然後思考它，努力建立關於這個世界的二維或三維的模型。接着，它們根據這些模型做出計劃，並通過這種計劃使機器人產生獲得特定目標的行為。

然而，布魯克斯認為，機器人從感覺到行動完全不必如此複雜，只需要兩個步驟就可以：感覺，然後行動。機器人感覺到某種東西，然後對這種感覺作出反應。如何把這種思想變為現實呢？布魯克斯把機器人的不同行為看作是緊密交織在一起的類似模塊化的東西。機器人在給定時刻根據它的感官接受的信息的不同，選擇適當的行為。本質上，機器人的行為類似一個巨大的有限狀態自動機。關於機器人的環境和當前狀態的信息將根據規則得到處理，這些規則並行地運行，而機器人的行為則從這些運行可能導致的一系列持續的活動中突現出來。運用這些新的觀念，新的機器人可以放棄傳統人工智能範式所要求的那些複雜的計劃、映射 (mapping) 和認知等內容。新的機器人具有許多在適當時候能夠觸發其行為的模塊層。模塊層最頂端的行為模塊可能是「探索」(explore) 模塊；靠它下面的是「行走」模塊；接着可能是一組更低層次的由腿部感官輸入決定的行為。與傳統自上而下的運作不同，布魯克斯的機器人從最低層開始向上活動。

由於這些過程允許一種行為包容控制另外一種行為，比如，利用低層次的行為讓機器人應付外部世界，利用高層行為讓機器人尋求目標，因此，布魯克斯把他的理論框架稱為「包容結構」。包容結構與傳統人工智能的中心控制模式完全不同，具有如下幾個特點：(1) 沒有關於外部世界的中心模型的位置；(2) 機器人的知覺、中心處理和制動系統緊密聯繫在一起；(3) 通過在已有的網絡中增加更多新的行為網絡，可以增強系統的能力；(4) 層次與層次之間沒有高低之分；各種行為並行起作用。布魯克斯認為，這種包容結構可以避免傳統人工智能研究框架的認知瓶頸，並且可以利用它建造能夠突現出複雜結構的行為。利用這種包容結構，就有可能建造越來越聰明的機器人，包括人類水平的智力。

## 四 行為主義學派的實踐

布魯克斯以及他的實驗室的研究人員利用這種包容結構設計了多個機器人，其中最早的是「艾倫」(Allen)。艾倫共有三個行為層。第一層用於避開障礙物，第二層用於隨機遊動，第三層用於朝遠距離移動。艾倫可以沿着牆走，可以識別門口，但由於它的程序是在LISP機器上運行的，所以，艾倫並沒有成為完全自主的機器人。

利用布魯克斯的包容結構製造的第二個機器人叫做「赫伯特」(Herbert) (根據人工智能先驅赫伯特·西蒙的名字命名)。赫伯特的包容結構由二十四個鬆散連接的八比特處理器運行，裝配有三十個幫助它躲避障礙物的紅外線感應器。它依靠一個以激光為基礎的視覺系統辨別物體，還有一隻用於抓東西的機械手。它可以根據從感應器獲得的信息在實驗室中走動，可以沿着牆走，可以躲避障礙物，也可以從地上撿起蘇打罐。

最能體現布魯克斯機器人製造思想的是「根格斯」(Genghis)。根格斯是類似螳螂的六條腿「機器人」。它的身體裝有計算機芯片的金屬底盤；腿帶有橡膠套的金屬棒；頭上有一排六個像燈一樣的感應器；從它的胸部突出來兩個硬的像鬍鬚一樣的電線。根格斯之所以如此命名，是因為它可以踩踏在別的物體上行走。雖然根格斯的六條腿可以協調一致向前走動，但它的每條腿都是獨立控制的。每條腿都被賦予幾種簡單的行為規則，以便在不同情況下知道應當怎樣移動。

在基本的行走行為被創造出來以後，布魯克斯等人又開始為根格斯添加更多感應器和行為層。其中一些感應器監控根格斯晃動時身體傾斜的角度，另一些則測量腿在擺動中的力度大小。根格斯利用從這些感應器蒐集的信息，又產生出一些新的行為，可以幫助它走得更好。在添加新的行為時，研究者並沒有對原來的行為作甚麼修改。新的行為只是在條件需要的時候覆蓋在基本的行為上。

根格斯的這種包容結構大大增強了它的能力，不僅可以在平坦的地面上行走，而且可以在高低不平的地面甚至斜坡上行走，還可以翻越像電話號碼本那樣的障礙物。在這個過程中，沒有人「告訴」根格斯在遇到像電話號碼本、斜坡等特殊情況時，應當怎樣移動，但它遇到這些情況時可以很有效地找到解決問題的方法。根格斯的這些看似有智能的活動，實際上是從各種沒有智能的活動中突現出來的。所以，根格斯的行為鮮明地體現了布魯克斯一個重要的設計思想：複雜的智能行為是從簡單的規則中「突現」出來的。根格斯從1990年一直到1997年，都是麻省理工移動機器人實驗室的明星，後來被有更好行為表現的機器動物阿提拉(Attila)代替。

## 五 邁向人的智能

布魯克斯也遭到一些堅持傳統研究方法的人工智能學者的反對。這些人論辯說，布魯克斯所做的工作只不過是表明，模擬低等生物的智能是容易的，但

這種模擬與人的智能是不相關的。布魯克斯及其追隨者給自己設定了較低的標準，因此，他們取得一些沒有令人失望的結果並不令人驚異。這些人的言外之意就是說，傳統人工智能研究沒有進一步取得矚目的成就，是因為研究者設定的目標太高。面對這種挑戰，布魯克斯開始思考運用他的方法製造類人機器人。他最新的研究項目「考格」(Cog) 就是迎接這種挑戰的嘗試。

與機器昆蟲類似，考格的智能在直接與外部世界相互作用中表現。所不同的是，考格具有類似人的外表。布魯克斯的一個假設是：類人智能需要機器人與外部世界有類似人的相互作用。首先，我們的身體形態對表徵我們的內在思想和我們的語言是至關重要的。如果我們要製造一個具有人的智能的機器人，那麼它就需要擁有類似人的身體，以便能夠發展類似人類的表徵。不過，因為機器人的身體只能是人體的粗略近似，所以一定要注意把握住人類身體的本質方面，而不是人體無關緊要的方面。其次，製造具有人類外觀的機器人，人們就可以更自然地以人的方式與這樣的機器人互動。布魯克斯等人已經觀察到，只要類人機器人發出一點點類似人的信號，人們就會自然地進入到好像它就是人的互動模式。

迄今為止，考格裝配有軀幹、胳膊、脖子以及具有眼睛和耳朵的頭部。軀幹被放在一個能讓它盡可能轉動的座架上。身體主要裝有為胳膊提供動力的齒輪和隨動系統。身體和胳膊用橡膠皮膚覆蓋着。橡膠皮膚上裝有感應器，這樣可以讓考格知道它的身體在幹甚麼。考格的脖子可以轉動，這可以使它看到它所感興趣的東西。它的兩個眼睛可以協調地移動，也可以伸縮和變焦。它的頭部運用了一種與人類相似的可以自動使頭部保持平衡的前庭系統。考格也有一個大腦，但與傳統的人工智能研究者運用的單一序列處理器不同，考格運用多個並行的處理器。人的大腦工作起來就類似一個並行計算機，因為它在同一時間能夠處理很多不同感官的信息。考格大腦的並行處理器將幫助它協調各個獨立的組成部分的活動。脖子、頭和眼睛的協調運動要求它有相當的並行處理能力，不同的感覺系統也要求有自己不同的處理系統。這與我們人類的感知覺系統是平行的。布魯克斯說，「我們從這種感覺水平開始建造類人機器人，所有的智能將建立在對感覺信息或從感覺中衍生出來的信息的計算的基礎上。」<sup>③</sup>

考格的研究仍在進行，它還沒有腿，不能自由移動。也許是意識到複製人類智能的困難，布魯克斯說，他並不打算讓考格具有成人水平的智能，要是能夠達到類似兩歲兒童的智能就可以了。這是不是又降低了自己的標準了呢？這次布魯克斯能成功嗎？

支持中心控制範式的一些人工智能建造者希望看到布魯克斯的失敗，因為這可以說明布魯克斯的研究方法存在根本的缺陷。布魯克斯所在的人工智能實驗室的開創者明斯基就曾指出，布魯克斯拒絕讓他的機器人結合傳統的人工智能程序的控制能力來處理諸如時間或物理實體這樣的抽象範疇，這無疑使他的機器人毫無使用價值。也有人認為，布魯克斯的研究太瑣碎。「倒退到二十世紀50年代，反射性行為能幫助機器人避免撞到牆上，但我們現在需要的是高層次的智能，是使機器人在遇到十字路口時能做出向左轉或向右轉決定的智能。」<sup>④</sup>

布魯克斯本人則認為，只有時間可以告訴人們哪種方法是正確的。他說，「我是正確的還是錯誤的將是一個經驗問題。」<sup>⑤</sup>如果布魯克斯進一步取得成功，那麼就從經驗上證明布魯克斯方法的可行；反之如果他失敗了，那麼就從經驗上說明其方法存在缺陷。最終的判斷我們還須等待。但從目前來看，布魯克斯在機器人研究上取得的成就超過了傳統的AI模式。現在他是麻省理工人工智能實驗室的主任，而不僅僅是「移動機器人實驗室」的主任，這從一個方面反映了人工生命視野下的人工智能研究已經成為這個領域的主流學派之一。

### 參考文獻

- Rodney Brooks, "Intelligence without Reason", MIT AI Memo no. 1293 (1991).
- Rodney Brooks, "The Relationship between Matter and Life", *Nature* 409, no. 6818 (18 January 2001): 409-11.
- Rodney Brooks and Lynn Andrea Stein, "Building Brains for Bodies", MIT AI Memo no. 1439 (1993).
- Daniel Crevier, *AI: The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence* (New York: Basic Books, 1993).
- C. G. Langton, "Artificial Life", in *Artificial Life*, Volume VI of SFI Studies in the Sciences of Complexity, ed. Christopher G. Langton (Redwood City, Calif.: Addison-Wesley, 1989).
- Steven Levy, *Artificial Life: A Report from the Frontier Where Computers Meet Biology* (New York: Vintage Books, 1992).
- The Cog Shop Website: [www.ai.mit.edu/projects/cog](http://www.ai.mit.edu/projects/cog).
- The MIT AI Lab Mobot Group: [www.ai.mit.edu/projects/mobile-robots/robots.html](http://www.ai.mit.edu/projects/mobile-robots/robots.html).
- A. M. Turing, "Computing Machinery and Intelligence", *Mind* 59, no. 236 (October 1950): 433-60.
- Mark Ward, *Virtual Organism: The Startling Word of Artificial Life* (New York: Thomas Dunne Books, 1999).
- 弗里德曼 (David Freedman) 著，張陌等譯：《製腦者：創造堪與人腦匹敵的智能》(北京：三聯書店，2001)。

### 註釋

- ① Daniel Crevier, *AI: The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence* (New York: Basic Books, 1993), 114。
- ② Rodney Brooks, "Intelligence without Reason", MIT AI Memo no. 1293 (1991).
- ③ Rodney Brooks and Lynn Andrea Stein, "Building Brains for Bodies", MIT AI Memo no. 1439 (1993), 4。
- ④ 轉引自弗里德曼 (David Freedman) 著，張陌等譯：《製腦者：創造堪與人腦匹敵的智能》(北京：三聯書店，2001)，頁20。
- ⑤ 轉引自Mark Ward, *Virtual Organism: The Startling World of Artificial Life* (New York: Thomas Dunne Books, 1999), 167。