

人工生命：走向新的創世紀

• 李建會

生命是甚麼？它是如何起源的？我們可以創造生命嗎？這些是人們一直在探索並試圖回答的問題。二十世紀80年代末和90年代初誕生了一門新的探索複雜性的研究領域，就是人工生命——生物學、電腦科學和哲學等學科交叉的產物。聖菲研究所 (Santa Fe Institute) 是探索複雜性的研究中心，也是人工生命研究的孕育地。1987年第一次國際人工生命研討會在美國召開，標誌着該研究領域正式誕生。

一 在混沌邊緣的「生命」遊戲

對於生命來說，也許最具代表性的特徵就是它的自我繁殖和發育生長的能力。電腦先驅圖靈 (Alan Turing) 在二十世紀50年代初發表了一篇論生物學形態發育的數學論文，提出了人工生命的一些萌芽思想，證明相對簡單化學過程可以從均質組織產生出新秩序。馮諾伊曼 (John von Neumann) 則證明，原則上可以創造出能夠自我繁殖的自動機，雖然它複雜到了當時的電腦都不能類比的程度。圖靈和馮諾伊曼的人工生命觀念被忽視了許多年，因為其進一步研究所需要的計算能力當時尚不具備，這方面的發展不可避免受到了限制。

馮諾伊曼未完成的工作，在他去世多年後由康韋 (John Conway)、沃弗拉姆 (Stephen Wolfram) 和蘭頓 (Christopher G. Langton) 等人進一步發展。1970年，劍橋大學的康韋編制了一個名為「生命」的遊戲程式，該程式由幾條簡單規則控制，其組合就可以使「細胞自動機」(cellular automata) 產生無法預測的延伸、變形和停止等複雜的模式。這一意想不到的結果吸引了大批電腦科學家研究「生命」程式的特點，最終證明細胞自動機與「圖靈機」(Turing Machine，圖靈機理論上被定義為具有無限磁帶的計算系統，原則上可以執行任何計算) 等價，也就是說，給定適當的初始條件，細胞自動機可以類比任何一種電腦。到80年代，沃弗拉姆對細胞自動機做了全面研究，發現它可以演化到均質狀態、周期性迴圈模式、混沌狀態——或者展現局域化和持續的結構，其中有些結構具有空間傳播能力。

蘭頓則定義了一個細胞自動機活動性參數 λ ，發現，當 λ 很小時，自動機收斂到單一、穩定模式； λ 太大，則無組織混沌行為會發生； λ 適中則局域化結構和周期行為會發生。蘭頓把最後一類型看作是表達了部分發展了的混沌行為，稱之為處於「混沌邊緣」的自動機。在此基礎上，他大膽地假設生命或者智慧就起源於混沌的邊緣。

二 從現實到「可能的生命」

綜合蘭頓和埃默希 (Claus Emmeche) 兩者的思想，人工生命主要包括下列觀念：

(1) **綜合的方法**。人工生命不是用分析的方法，即不是用分析解剖現有生命的物種、生物體、器官、細胞、細胞器的方法來理解生命，而是用綜合的方法，試圖在電腦或其他媒介中合成似生命的過程和行為。

(2) **「可能的」生物學**。人工生命並不特別關心地球上特殊的、以水和碳為基礎的生命，而要研究「如其所能的生命」，認為只有在「生命如其所能」的廣泛內容中考察現實生命，才會真正理解生物的本質。

(3) **生命本質在於形式而非物質**。生命當然離不開物質，但是生命更是一個過程，恰恰是這一過程的形式而非其所依托的物質才是生命的本質。因此可以忽略物質，從其中抽象出控制生命的邏輯。如果我們能夠在另外一種物質中獲得相同邏輯，就可以創造出不同材料的另一種生命。

(4) **自下而上的建構**。人工生命的實現，最好的方法是通過以電腦為基礎的被稱為「自下而上編程」的資訊處理原則來進行，這與人工智慧 (AI) 中主導的編程原則完全不同：它模仿或類比自然中自我組織的過程，力圖從簡單的局部控制出發，讓行為從底層突現出來。

(5) **並行處理**。經典的電腦資訊處理過程是接續發生的，而在人工生命中，資訊處理原則是基於發生在實際生命中的大量並行處理過程的——例如大腦神經細胞並行工作產生意識。

(6) **人工生命與突現**。人工生命最有趣的特徵是展示「突現」的行為，即在複雜非線性形態中許多相對簡單單元相互作用時產生出來的引人注目的整體特性。在人工生命中，系統的表現型不能從它的基因型 (即系統運作的簡單規則) 中推導出來。用電腦的語言來說，正是自下而上的方法，能夠在上層水平突現出新的不可預言的關鍵現象。

(7)「活的」人工生命總會誕生。在蘭頓的人工生命「宣言」中，他非常謹慎地避免宣稱人工生命研究人員所研究的實體是「真正」活的，但是，如果生命真的只是組織問題，那麼如蘭頓確信，「真正的」人工生命應當總有一天會誕生，而且也許會很快誕生。

三 Tierra：人扮演上帝

1990年是人工生命發展的又一個不平凡的一年，特拉華大學的熱帶雨林專家托馬斯·雷(Thomas Ray)編寫的Tierra(西班牙語，意為地球)模型轟動了整個人工生命界。Tierra的不平凡之處不僅在於它第一次由一個生物學家設計，而還在於雷第一個宣稱，他的「地球」(Tierra)上的「生物」事實上就是「活的」。他不無自信地說，「創造生命其實很容易」。他把他的模型命名為「地球」，其意就在表明，人們已經在扮演上帝，開始了第二次創世紀！雷在編寫他的模型時，與大多數人工生命的類比研究不同，他的目標不是直接類比自然生命，而是製造出完全不同於在我們看得見的生命形式，讓它在電腦環境中演化，產生獨有的種系。

在Tierra中，「生物」由一系列能夠自我複製的機器程式組成，它在電腦中的複製分別受到存儲空間和中央處理器(CPU)時間約束，能有效地佔有記憶體空間和利用中央處理器時間的生物體，將具有更高適應度，傳遞到下一代的機會就越大。Tierra的「祖先有機體」包含80個組合語言程式指令，包括產生子代有機體的方法。因為每一個由組合語言程式指令編碼的行動具有一定的執行錯誤的概率，因此進化是不可能的。為了避免複製有機體快速填滿所有可用記憶體，Tierra包含一個「收割器」功能，以類比自然「死亡」。一旦群體達到某一臨界水平，「收割器」就開始消滅有機體。事實上，有機體一出生，它就進入收割器佇列。當收割器功能判定到了要求有犧牲者的時候，它總是清除佇列前面的有機體。產生錯誤的有機體被提到佇列的前面，而有效完成行動的有機體則被拉回來，因此延長了它們的生命。

雷在操作Tierra時吃驚地發現，他的電子世界的的確確生出許多「生物」，顯示出一個令人目眩的結構與活動序列。開始時只有一個祖先生物，但經過526萬條指令計算之後，有類寒武紀大爆發的現象在數小時內發生了。這時，在Tierra虛擬世界中遊動的是366種不同大小的生物(雷把它們解釋為不同的「物種」)。在運行25.6億條指令後，1,180種不同大小的生物產生了。在新產生的生物中，不但出現了一些寄生生物，而且也出現了超寄生生物，甚至超一超一寄生生物。與真實世界中的生命演化類似，Tierra生物最終產生了對寄生生物具有免疫能力的生物。Tierra中也演化出了一些長期進化的特徵，例如間斷平衡現象，即很長時間內進化非常緩慢，然後出現急劇進化，在相對短暫的時間內產生許多新物種。在Tierra世界中，甚至可能演化出社會組織。

總之，差不多自然演化過程中的所有特徵，以及與地球生命相近的各類功能行為組織，全都出現在Tierra中。並且，生物系統所具有的高度複雜性也出現

在演化生物高度發達的行為中，例如開始時互相不交流的生物後來發現了互相利用以及避免被利用的方法。當然，雷的實驗是限制在單個的電腦中的，其中中央處理器和記憶體規定了Tierra的邊界，因此可能演化出來的生物種類受到了限制。雷已經提出在國際互聯網上建立Tierra，這樣就可以利用網上電腦中間置的空間，作為Tierra資源的一部分。

四 Animat：機器動物與機器人

雷主要研究的是虛擬(virtual)的人工生命。當然，也可以利用電腦和非有機物質在現實物理世界中創造出「現實」(real)人工生命，或「機器人版本人工生命」，包括機器人和機器動物，所以這種版本的人工生命又可稱作Animat。不過，Animat研究往往仍是在虛擬環境下進行的。

Animat基本上由感知、認知及運動三個部分構成，分別體現獲取資訊、處理資訊以及產生相應行為這三種能力。雖然機器人的研究很早就已開始，但在人工生命新視野下的Animat研究，卻僅僅是剛剛開始，它存在許多尚待解決的問題，這些也是人工智慧研究者所關注的問題。比如，哪一種表示方法可以使Animat具有學習和自適應能力？怎樣才能使Animat產生進化？哪一種表示方法可以接近實際的感知和認知？等等。

在一些專家看來，目前機器生物和機器人智慧的限制主要在硬體。莫里維克(Hans Moravec)在《科學美國人》1999年第12期一篇名為〈機器人的興起〉的論文中認為，要使計算機具有與人類相當的大腦，電腦必須有足夠高的處理速度。通過比較和計算，他認為，要類比1,500克重的人腦的活動，普通電腦的功能至少必須提高一百萬倍以上。按目前電腦的發展速度，跨越電腦與人腦之間的鴻溝只需30年到40年的時間。他認為，在2010年，我們將創造出第一代「通用機器人」，運行速度為5000 MIPS(每秒執行百萬次指令)，智力與蜥蜴相當，能做簡單雜務；第二代 10^5 MIPS的通用機器人將具有老鼠智力，並可以接受訓練；第三代 5×10^6 MIPS機器人的智力與猴子相當，能夠通過學習迅速領會周圍環境；第四代通用機器人速度達到一億MIPS，智力與人相當，具有進行抽象歸納的能力。因此他說：「到2040年，我們最終將達到最初機器人的目標，也就是科幻小說中描述的機器人：智力水平和人相當的能自由移動的機器人……到2050年，基於電腦的每秒執行一百萬億條指令的機器人『大腦』將開始與人類智慧競爭。」

五 結語

人工生命被認為是走向二十一世紀的科學。蘭頓的老師和人工生命學科的堅定支持者法默曾這樣說到：「隨着人工生命的出現，我們也許會成為第一個能夠創造我們自己後代的生物……這種生物的知識和智慧將遠遠超過我們。當未

來具有意識的生命回顧這個時代時，我們最矚目的成就很可能不在於我們本身，而在於我們創造的生命。」雖然許多人可能不像法默這麼樂觀，但人工生命在二十一世紀肯定會有重大的突破則是毫無疑問的。

人工生命不僅僅是對科學或技術的一個挑戰，而且要涉及社會、道德、哲學和宗教信仰等的很多問題。假若具有智慧的人工生命能在二十一世紀中葉被創造出來，那麼，人工生命就會像哥白尼的太陽系理論一樣，「將迫使我們重新審視我們在宇宙中所處的地位和我們在大自然中扮演的角色」^①。

參考文獻

- Margaret A. Boden, *The Philosophy of Artificial Life* (Oxford: Oxford University Press, 1996).
- Claus Emmeche, *The Garden in the Machine: The Emerging Science of Artificial Life* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1994).
- Stefan Helmreich, *Silicon Second Nature: Culturing Artificial Life in a Digital World* (Berkeley, Calif.: University of California Press, 1998).
- Christopher G. Langton, "Studying Artificial Life with Cellular Automata", *Physica D*, 10 (1986): 120-49.
- Christopher G. Langton, "Artificial Life", in *Artificial Life*, ed. Christopher G. Langton (Redwood City, Calif.: Addison-Wesley, 1989), 1-47. Reprinted in Boden (1996), 39-94.
- Hans Moravec, "Rise of Robots", *Scientific American* (December 1999): 124-35.
- Thomas Ray, "An Approach to the Synthesis of Life", in *Artificial Life II*, ed. Christopher G. Langton, et al. (Redwood City, Calif.: Addison-Wesley, 1992), 371-408. Reprinted in Boden (1996), 111-45.
- Glenn Rowe, *Theoretical Models in Biology* (New York: Oxford University Press, 1994).
- A. Turing, "The Chemical Basis of Morphogenesis", *Philosophical Transactions of The Royal Society* (London, 1952), Series B, 237: 37-72.
- Mitchell M. Waldrop, *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos* (New York: Simon and Schuster, 1992)。中譯本為：《複雜：誕生於秩序和混沌邊緣的科學》，陳玲譯（北京：三聯書店，1997）。
- Michael Wheeler, "From Robots to Rothko: The Bringing Forth of Worlds", in Boden (1996), 209-36 .
- Stephen Wolfram, "Universality and Complexity in Cellular Automata", *Physica D*, 10 (1984): 1-35.

註釋

- ① 沃爾德羅普 (Mitchell M. Waldrop) 著，陳玲譯：《複雜：誕生於秩序和混沌邊緣的科學》（北京：三聯書店，1997），頁398-99。

李建會 1964年生，北京大學科學與社會研究中心博士候選人，北京師範大學哲學系副教授。