包容架構

主要參考資料來源：《失控》，Kevin Kelly著，東西文庫譯，新星出版社，2010

羅德尼•布魯克斯是澳大利亞人，小時候特別喜歡機器人，而且總是喜歡逆觀念行事，後來受聘在麻省理工學院負責移動機器人的研究項目。

在那裡，他開展了一項研發更接近昆蟲而非恐龍的機器人。最先誔生的是「阿倫」，牠的身體具有視覺、聽覺和觸覺，感知到的信號通過纜線傳送到「大腦」------ 一台桌上電腦裡。問題是在纜線上會產生太多背景干擾，使他的團隊倍受困擾，挫折不斷。他想盡各種辦法都解決不了，最後只好放棄，決定把機器人的大腦中樞整合到機器人的體內，就算再小也沒關係，因為只有這樣才可以不再用到纜線！

他們隨後製作的二個機器人「湯姆」和「傑瑞」，被迫只使用了最簡單的邏輯步驟和連接。結果出乎意料，在完成簡單任務時，這種簡陋的自帶神經電路居然表現得比「大腦」要好。這次精簡讓布魯克斯嘗到了甜頭，促使他繼續探索，看看機器人能「傻」到什麼程度但仍能做些有用的工作。最後，他設計了一種基於反射智能的機器人，這種機器人並不會比螞蟻聰明，但牠們和螞蟻一樣能夠讓人聒目相看。

布魯克斯設計了一個橄欖球大小命名為「成吉思」的機器人，把精簡的理念發揮到了極致。小成吉思像隻蟑螂，有6條腿可是沒有腦(中央處理器)，在可解耦網絡上有12個充當肌肉的小馬達和21個傳感器，它們之間的交互作用竟然產生了令人驚訝的複雜性和類似生命體的行為。成吉思的每條小細腿都在自顧自的工作，和其餘的腿毫無關係，每條腿都是通過自己的一組神經元(微型處理器)來控制動作，只需要管好自己即可。可是如果要走路，當然需要一個團隊也就是6條腿的合作，以及腿與腿之間的通訊。昆蟲學家說，這正是螞蟻和蟑螂之類爬行昆蟲的運作方式，每個足肢上的神經元只負責為該足肢思考。

成吉思機器蟑螂的行走要通過12個馬達完成，每條腿上2個馬達的起落，取決於周圍幾條腿在做什麼動作，只要起落的次序是正確的就可以走起來了，整個裝置中並沒有任何一部份是掌管走路的。也就是說，無需藉助高級的中央控制器，它是一種「自底向上的控制」。在真實世界，如果我們折斷蟑螂的一隻腳，牠會馬上調整步態用剩下的5隻腳爬行，並不會亂套。這樣的轉換不是斷肢後重新學習來的，這是即時的自我重組。成吉思也是一樣，並沒有所謂的中央控制器來指揮身體把腳放在哪裡，或者跨過障礙時要把腿抬多高。實際上，每條腿都能依事先設定的條件自主做些簡單動作，也能獨立判斷在不同環境下該如何行事，一旦感知的條件成立了就會觸發，這樣就能在「無知無覺」的狀態下走起路來。

當機器生物能在平滑的表面隱步行走了，就可以增添一些其他功能使它走得更好。例如，要跨過障礙物時，需要加裝一對觸鬚用來把地面上的訊息傳到第一組腿，來自觸鬚的訊號就會調整小馬達的動作，在學會爬過障礙物的同時，其基本的行走模式並沒受到絲毫的擾亂。這正符合普適的生物神律 ------ 當某個系統能夠正常運轉時，不要擾亂它，而是要以它為基層來構建。在自然體系中，改良就是在現存調試好的系統上「打補丁」，因此，原先的層級繼續運作，不會也不必注意在其上面存在有更高的層級。就像我們下班開車回家，不需告誡自己「別撞車」，因為駕車能力是低層次的，而機動決定要走哪條路則是屬於高一個層次的。動物在進化過程中的學習方式正與此類似，牠們通過建立行為層級來學會生存在複雜的世界，其內涵和順序大致如下：

* 避免碰觸物體
* 無目的漫遊
* 探索世界
* 構造內在地圖
* 注意環境變化
* 規劃行走方案
* 預見變化並相應修正方案

布魯克斯移動機器人實驗室依此行為層級製作了一個「拾荒機器人」，一到晚上就在實驗室裡四處收集空飲料罐。雖然這個回收系統效率極其低下，但夜復一夜，這個傻乎乎卻很可靠的拾荒者居然也搜集到了數量可觀的空罐。如果能在原有的功能上添加一些新的行為方式，就能發展出更複雜的系統。複雜是靠疊加而不是改變其基本結構累積起來的，往上疊加時底層的行為並不會被擾亂。這樣的分布式控制結構設計後來被稱作「包容架構」，因為更高層級的行為要包容較低層級的行為。

「國家」不就是使用「包容架構」建造的嗎？就從鄉鎮的層級開始吧，鄉鎮要修建街道、鋪設水電管道、提供照明、制定律法。在能保證鄉鎮能夠正常運轉的基礎上增加縣市，設立議會、警察、監獄、學校……等，就算是縣市的層級消失了，也不會影響鄉鎮照常運轉。縣市數量多了，就可以再添加省的層級，負責收稅等，省多了就再設立中央政府。這樣的結構就是上面的層級包容了下面層級的包容結構，一旦上面的層級失靈了，下面的層級仍能照樣繼續做自己工作，所以所謂的高層並不是「管理」下面層級的！