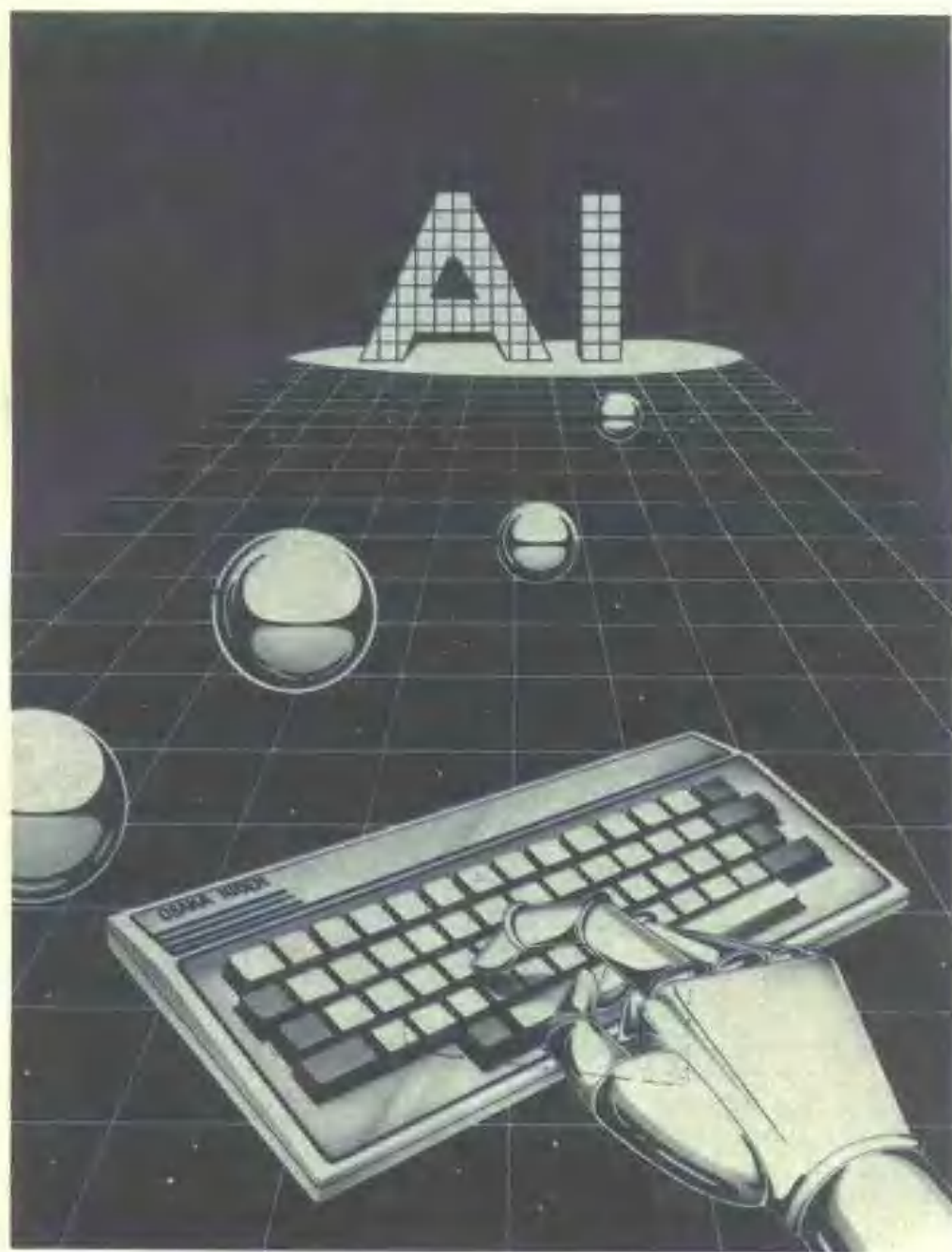


人工智慧

張怡婷 編譯



全欣科技圖書股份有限公司 印 行
全華科技圖書股份有限公司 總經銷



全欣圖書

法律顧問：陳培豪律師

人工智慧

張怡婷 編譯

出版者 全欣科技圖書股份有限公司

地址 / 台北市龍江路76巷20-6號4F

電話 / 5 0 7 1 3 4 7

發行人 陳 本 源

印刷者 宏懋打字印刷股份有限公司

電話 / 5 0 8 4 2 5 0 • 5 0 8 4 3 7 7

行政院新聞局核准登記證

局版台業字第三二六一號

總經銷 / 全華科技圖書股份有限公司

地址 / 台北市龍江路76巷20-2號2F

電話 / 5 0 7 1 3 0 0 (總 機)

門市部 / 全友書局(黎明文化大樓7樓)

地址 / 台北市重慶南路一段49號7樓

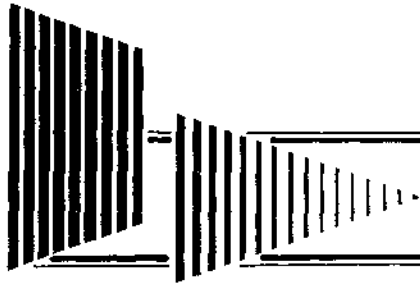
電話 / 3 6 1 2 5 3 2 • 3 6 1 2 5 3 4

定價 / 新台幣 270 元

初版 77 年 10 月

版權所有 翻印必究

圖書編號 A021095



序 言

本書旨在提供程式設計師和電腦科學家一些關於人工智慧的問題和技術的簡介。本書既可做為人工智慧的教科書，也可以做為想一探人工智慧究竟的電腦從業人員的自修範本。

本書是為研究所一個學期的人工智慧課程而設計的。在這種課程中，應該能夠授盡全書的內容。我還要求學生必需選讀 10 至 15 篇相關論文，以熟悉人工智慧的研究方式。

本書削除部份章節後，也能做為大學部一個學期的人工智慧教材。其中，第一至第三、第五、七、八各章介紹基本的解題技術及知識表示法，所以應該盡可納入教授範圍。其他章節則可以視時間而斟酌補充。

為了使學生能夠有效地利用本書，他應該先具備電腦科學和數學的基本知識。在電腦科學方面，應該有設計程式的經驗，且瞭解大學部資料結構的課程，熟悉控制程式的遞歸結構，並有能力簡單地分析演算法的時間複雜度。至於數學方面，學生必需先修過大學部的邏輯課程，瞭解含量詞的述語邏輯和決策程序的基本符號。

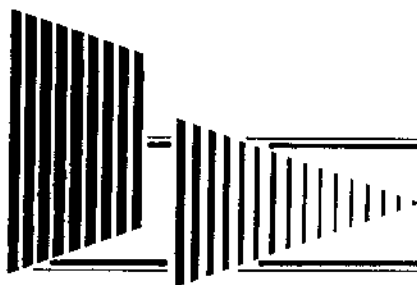
本書中包含了許多人工智慧的研究報告，之所以提供這些報告有二個重要因素。第一，他們有助於學生不受本書的空間所限，而對特定的問題做更深入的探討。這也是一般書籍中包含參考書目的原因；第二個原因則特別因本書的內容而生。因為人工智慧還是一個相當新的領域，所以在很多方面仍然沒有一致認同的作法。這些參考書目能保證學生不只接受一種方法，而是盡可能的多方面接受這些在理論、實驗上仍需更進一步的

研究才能判定其成敗的方法。

因爲人工智慧的最終目的在於建立程式以解決困難的問題，所以學習人工智慧一定得實際撰寫程式，才能算完整。目前大部份人工智慧的程式都以 LISP，或以 LISP 爲基礎所建立的高階語言來編寫。然而 LISP 至今尙無統一的標準，所以如果書中包含實際的 LISP 碼，將使學生因爲無法在他們的電腦上執行書中的範例，而大受挫折。因此，書中的演算法都非常詳盡，學生可以將之應用於程式上；而不在書中直接提供程式。一本人工智慧方面的 LISP 書籍〔如 (Winston, 1981 ; Charniak, 1980) 〕及其使用手冊將是本書所必需的工具。

本書承多人頂力相助，原稿經 Woody Bledsoe、Jaime Carbonell、Elaine Kant、Janet Kolodner、Doug Lenat、Allen Newell、Robert Rich、David Scott、Vincent Sigillito、Robert Simmons、Aaron Temin，及許多課堂上忍受初稿的學生們，多方指正，而大爲改善。尤其，特別感謝 Janet 及我父親不下三次的校正全書。至於書的付梓，我必需感謝 Brian Reid 書寫書中的草體字，及其助手 Ed Frank。另外 Jon Bentley 提供寫書過程的專家性建議。發行人對這一切都非常的瞭解。感謝 Lee Erman 和 Doug Lenat 分別提供語音識別和 EURISKO 二範例的照片，Don Speray 利用 NASA Langley 研究中心的繪圖設備製造出本書的封面，及 Alan Cline 的封面設計，在此爲此事及其他多方面的協助致上吾人的誠摯謝意。

Elaine Rich



目 錄

第一章 人工智慧是什麼？	1
1.1 定 義	1
1.2 基本假設	3
1.3 人工智慧的技術	5
1.3.1 井字遊戲	7
1.3.2 圖形辨別	11
1.3.3 結 論	15
1.4 模式的層次	15
1.5 確定成功的標準	17
1.6 一些一般性的參考資料	19
1.7 摘 要	20
 第二章 問題及問題空間	 23
2.1 將問題定義為狀態空間的搜尋	23
2.1.1 作業系統	29
2.1.2 控制策略	30
2.1.3 滿足式搜尋	32
2.2 問題的特性	35
2.2.1 問題是否能分解？	35
2.2.2 解題步驟能不能忽略或解除？	37
2.2.3 問題是否可預測？	39
2.2.4 好的解法是絕對性或相對性的？	40
2.2.5 知識庫是否和諧一致？	42

2.2.6	知識扮演什麼角色	43
2.2.7	工作是否需要與人溝通	44
2.3	作業系統的特性	45
2.4	其他問題	47
2.5	摘 要	48
2.6	習 題	49
第三章	基本的解題方法	51
3.1	向前或向後推理	52
3.2	問題樹及問題圖	56
3.3	知識的表示方法和架構問題	57
3.4	匹 配	59
3.4.1	索 引	60
3.4.2	符合變數	61
3.4.3	複雜而近似的符合	62
3.4.4	過濾符合後的輸出	64
3.5	滿足函數	66
3.6	弱方法	67
3.6.1	產生並測驗	67
3.6.2	斜坡式搜尋	69
3.6.3	廣向搜尋	71
3.6.4	最佳向搜尋：OR 圖	72
3.6.5	最佳向搜尋：提案	77
3.6.6	減化問題	80
3.6.7	滿足限制	87
3.6.8	方法終點分析	92
3.7	搜尋演算法的分析	95
3.8	摘 要	99
3.9	習 題	99

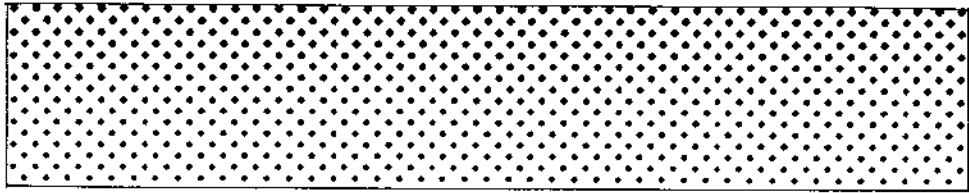
第四章 談下棋	105
4.1 概 論	105
4.2 極小極大搜尋程序	108
4.3 加入上下限截止	112
4.4 其他改良方法	118
4.4.1 等待穩定	118
4.4.2 二次搜尋	119
4.4.3 使用預定走法 (book moves)	119
4.5 方法的限制	119
4.6 摘 要	121
4.7 某些棋類的參考	121
4.8 習 題	122
第五章 應用述語邏輯的知識表示法	125
5.1 表示法簡介	125
5.2 使用邏輯來表示簡單的事實	127
5.3 增加計算函數及述語的表示法	133
5.4 分解法	139
5.4.1 轉換成子句型態	139
5.4.2 基本的分解法	143
5.4.3 命題邏輯的分解法	144
5.4.4 單一化演算法	146
5.4.5 述語邏輯的分解法	149
5.4.6 嘗試各種代換的需要	155
5.4.7 回答問題	156
5.5 自然演繹法	159
5.6 總 結	160
5.7 習 題	161

第六章 使用其他邏輯的知識表示法	165
6.1 簡 介	165
6.2 非單調性推理	167
6.2.1 非單調性推理簡介	168
6.2.2 TMS：一種非單調性的推理系統	172
6.3 統計與機率性推理	176
6.3.1 處理隨機情況的技術	177
6.3.2 沒有足夠資料的決定性情況的處理技術	179
6.3.3 MYCIN：使用不確定推理以規則為主的系統	184
6.3.4 結 論	190
6.4 摘 要	190
6.5 習 題	191
第七章 知識的結構化表示法	193
7.1 簡 介	193
7.1.1 一些普通的知識結構	196
7.1.2 選擇表示法的程度	199
7.1.3 尋找所需要的正確結構	204
7.2 宣告表示法	206
7.2.1 語意網路	207
7.2.2 觀念相依	214
7.2.3 架 構	221
7.2.4 劇 本	225
7.2.5 表示法的語法 —— 語意分析譜	230
7.3 程序表示法	231
7.4 摘 要	234
7.5 習 題	234

第八章 高級解題系統	237
8.1 計 劃	237
8.1.1 一個例子—積木世界	241
8.1.2 一個計劃系統的各部份	242
8.1.3 使用目標堆疊的簡單計劃	248
8.1.4 使用目標集合的非線性計劃	257
8.1.5 階層計劃	263
8.1.6 使用最少承諾策略的非線性計劃	264
8.1.7 使用限制設定的計劃	267
8.1.8 其他計劃的技術	268
8.2 系統組織	268
8.2.1 再談提案	269
8.2.2 黑板作法	269
8.2.3 Delta-Min 的搜尋程序	273
8.2.4 摘要：物體間的通邊	275
8.3 專家系統	275
8.3.1 專家系統的結構	276
8.3.2 和專家系統交談	279
8.3.3 結 論	282
8.4 摘 要	282
8.5 習 題	283
第九章 瞭解自然語言	285
9.1 簡 介	285
9.1.1 何謂瞭解？	286
9.1.2 瞭解的難處在那兒？	287
9.2 瞭解一個句子	292
9.2.1 關鍵字的符合	294
9.2.2 語法分析	297

9.2.3	語意分析	309
9.2.3.1	語意文法	310
9.2.3.2	位格文法	312
9.2.3.3	觀念相依	316
9.3	瞭解多數的句子	319
9.3.1	集中注意力的瞭解方法	320
9.3.2	使用目標結構的瞭解方法	322
9.3.3	使用架構表示法及劇本表示法的瞭解方法	324
9.3.4	瞭解對話	325
9.4	另一種方向：產生語言	330
9.5	雙向進行的機器翻譯	332
9.6	總 結	333
9.7	習 題	333
第十章	感 知	337
10.1	為什麼感知的研究是困難的	337
10.2	解決感知問題的技術	341
10.3	滿足限制 —— WALTZ 演算法	342
10.4	總 結	350
10.5	習 題	350
第十一章	學 習	353
11.1	何謂學習？	353
11.2	隨機學習和神經網路	354
11.3	記憶學習	355
11.4	調整參數的學習方式	357
11.5	以GPS來學習	359
11.6	觀念學習	360
11.7	發明型態的學習：AM	365
11.8	類似學習法	374

11.9	總 結	376
11.10	習 題	378
第十二章 建立A.I.系統：語言與機器		381
12.1	AI 語言的重要特性	381
12.2	IPL	384
12.3	LISP	385
12.4	SAIL	387
12.5	PLANNER	388
12.6	KRL	389
12.7	PROLOG	393
12.8	總 結	395
12.9	適合應用人工智慧的電腦架構	398
12.10	習 題	401
第十三章 結 論		403
13.1	人工智慧程式的各部份成員	403
13.2	人工智慧在電腦科學中的地位	403
13.3	習 題	404
參考書目		407



人工智能是什麼？

WHAT IS

1

ARTIFICIAL INTELLIGENCE?

1.1 定義 (A DEFINITION)

人工智能 (artificial intelligence) 究竟是什麼呢？雖然對一些複雜的常用名詞做精確的定義是沒什麼益處的；然而給此概念一個大致的範疇，可使你對本書將討論的內容有點概念。所以，筆者對人工智能做了以下的定義。但是，請注意，這個定義並不是全世界一致認同的。人工智能（簡稱 A.I.）是研究如何使電腦從事一些目前人們做得比電腦好的工作。當然，這個定義是有點暫時性的，因為它與目前電腦的進步情況有關。但是，從本書以下的討論中，你將發現此定義可隨著你的想像力之所及而改變，做同樣適當的解釋。事實上，在電腦的緩慢進展中，替人類完成“困難”的工作，就是一項早期人工智能的實驗成果。在這個學問發展的初期（約西元 1960 年），專家們曾過於高估了它的進展；到目前為止，人工智能的發展並不如原來想像中的神速。所以，這個定義至少在未來的幾年內，尚能對人工智能做一良好的描述；而且它避免使用哲學的觀點來定義所謂的人工或智慧。

其次，A. I. 包括了那些問題呢？最早被研究的問題是棋賽及定理證明。Samuel [Samuel, 1963] 曾寫過一個下西洋棋的程式，它不僅可與玩家下棋，而且可以從過去的棋賽中吸取經驗，來增加本身下棋的段數。Logic

Theorist [Newell, 1963a] 是一個最早嘗試做數學定理證明的程式。它能夠證明懷海德與羅素 (Whitehead and Russell) 的 Principia [Whitehead, 1950] 書中第一章裏的若干定理。

雖然人們認為棋賽或是定理證明是一種智慧的展現，但電腦只是快速的求出許多解決方法並選擇最好的途徑來做。表面上看起來，這似乎不需要太多的知識，很容易程式化的。但你將逐漸發現，這種想法是錯誤的。因為沒有任何一種電腦的速度可以克服這些問題所組合出的龐大資料。

另一個早期人工智慧研究的對象，是類似於我們每天早上決定如何開始工作之類的問題。為了深入研究這類推理性的問題，Newell、Shaw 及 Simon 建立了 GPS (general problem solver) 系統 [Newell, 1963b]。他們用這套系統來處理一些事務，包括了邏輯運算式的符號處理。但他們並未嘗試對某個特定的問題建立含有大量知識的程式。他們又處理了一些簡單的工作。

隨著人工智慧研究的進步，以及處理大量實際知識的技術逐漸被開發，使得上述的問題有了一些進展，同時也開始對一些新的問題做合理的嘗試。這些新問題包括了知覺（視覺與語音）的辨認、語文的瞭解，以及某些特殊問題的解決，如醫療診斷及化學分析等。

對周圍環境的知覺，對我們的生存而言，是很重要的。一些智慧低於人類的動物常擁有比現今機械還要精細的視覺。早期簡單、靜態的人工視覺主要在兩個方向上發展；一為統計式的圖型辨別，另一為更富彈性的影像認知。因為這二個方向在彈性上的差異（參看 1.3 節），只有後者被視為屬於人工智慧的範圍。處理知覺是一件困難的工作，因為他們涉及類比（而非數位）訊號，這種訊號通常是很雜亂的，而且必需能立刻感覺出許多事物（況且某些事物又可能遮蓋了其他事物）。這些知覺問題將在第十章作詳細的討論。

人類和其他動物的最大不同，或許在於人類能夠使用語言來溝通各種不同的觀念。瞭解口語是人工知覺的問題之一，這個問題如前述的原因，也是很困難。但假定我們問題簡化，侷限於書寫語言中。這個問題通常被稱為自然語言瞭解 (natural language understanding)，仍是個相當困難的問題。若想要瞭解文章中關於某一主題的句子，不僅須先知道這個語文本身（如字彙及文法），也得對該主題有一番認識，才能瞭解文章中未說明的假設。這個問題將在第九章中作詳細的討論。

上述的知覺及語言瞭解幾乎是每個人每天的例行工作。除了這些每天的事務外，人們尚從事一些專門性的智慧活動。由於只有少數人有能力做這些工作（如診斷疾病），所以通常人們認為這些事務比平常事務要困難些。但是如今已有若干此類的問題可用程式來處理，這類程式稱為專家系統（expert systems）[Feigenbaum, 1977]。這些系統將在8.3節中討論。

以下列出人工智慧所研究的一些問題：

- 棋 賽。
- 定理證明。
- 解決一般的問題。
- 知 覺。
 - 視 覺。
 - 語 音。
- 自然語言瞭解。
- 解決專門性問題。
 - 符號數學。
 - 醫療診斷。
 - 化學分析。
 - 工程設計。

在開始研究某項人工智慧的問題及解決技巧之前，我們至少要先討論（如果不能回答的話）以下四個問題。這是一件很重要的工作。

1. 我們對智慧的基本假設是什麼？
2. 解決人工智慧的問題時，將用到些什麼技術？
3. 我們想要模仿人類的智慧到怎樣的程度？
4. 我們如何知道一個智慧型的程式已被建立好了？

本章中以下的四節將分別討論這些問題。下一節將綜覽一些有趣的人工智慧方面的書籍。最後一節將對本章作一總結。

1.2 基本假設 (THE UNDERLYING ASSUMPTION)

在人工智慧的研究過程中，Newell 及 Simon [Newell, 1976] 的實體符號系統假說佔有重要的地位。他們將實體符號系統定義為：

一個實體符號系統是由一羣稱為符號的實體所組成。這種實體是一種可當作另一種稱為運算式（或符號結構）實體之組成元素的實際型式。因此，一個符號結構是由一些有物理關係（如某記號在另一記號之後）的符號所組成的。此系統隨時包含了這些符號結構的集合。除了結構之外，此系統也包含了處理這些運算式並產生其他運算式的過程。這些過程有：建立、修正、複製及破壞。一個實體符號系統是一個隨著時間製造出符號結構的發展集合的機器。在實際的物質世界中，這樣的系統要比只有符號運算式本身廣泛多了。

他們的假說是：

實體符號系統假說：一個實體符號系統有充份且必要的方法來進行一般的智慧活動（參看 4.1）。

這假說只不過是個假說。似乎無法用邏輯去證明或否定他，所以只能靠經驗來評斷。或許我們會發現它是錯誤的；或許也可能發現許多證據支持它成立。然而，我們只能靠實驗來決定它的對錯。

因為電腦能夠模擬任何我們希望的實體符號系統，所以是這種驗證實驗的最佳媒體。電腦對符號的處理能力，在電腦史的早期就廣受注意了。Lovelace 女士在 1842 年針對 Babbage 提出的分析引擎做了以下的觀察：

運作機械論甚至可以獨立操作，而不管他所操作的東西是什麼（雖然這樣的運作不能發展出任何成果）。而且除了數字外，他也可以作用於其他可用抽象的科學運作來表示，而且也適合於此引擎的機械性及操作符號的運作性的東西之相互基本關係。例如，如果和聲及作曲中的各種音調的相互關係，可以適合於一引擎的表示法及運作特性，則此引擎就可以作出既精緻又科學的任何無限複雜的曲子 [Lovelace, 1961, p. 248]。

隨著各種計算機械愈來愈容易建立，實體符號系統假說的驗證實驗也愈可能進行。每個驗證的實驗都擇定某一項需要智慧的事件做研究，而完成執行此事件的程式，並測試之。雖然，到目前為止，我們無法將所有選定的事件都成功地程式化，但大部份的科學家相信，現在遇到的許多問題遲早會被更精巧的程式解決。

不僅是人們認為最能證明假說成立的棋賽，就連大家所認為受非符號作用影響的視覺都支持此假說成立。曾有一項有趣的嘗試，把人類瞭解笑話的能力，變成爲一連串符號運作的過程。這個過程記載於 *Mathematics and Humor* [Paulos, 1980] 一書中。當然，這假說可能只有部份正確；或許人類智慧的某些方面可以依實體符號系統建立模式，但其他方面卻不行。只有讓時間及努力來告訴我們答案了。

實體符號系統假說的重要性是兩方面的。它是關於人類智慧本質的重要理論，引起了心理學家對這方面的廣大興趣。另外，它是使人們相信現今人類做的智慧性工作可以寫成程式的基本信念。雖然我們將很快的看到，這兩點並非毫不相關；然而我們比較關心的是第二點。

1.3 人工智慧的技術 (WHAT IS AN A.I. TECHNIQUE?)

人工智慧所涉及的範圍很廣。這些問題除了都很困難以外，就是很難找出共同的特性了。有沒有什麼技術可以解決這許多的問題呢？答案是有的。這些技術除了運作符號外，是否有其他的描述方法呢？我們如何知道這些技術或許在其他方面的問題上，或許是一些傳統上不被認為屬於人工智慧範圍內的工作，也是很有用的？本書的內容將試著詳細地回答以上的問題。但在我們分別仔細地探討這些技術之前，先大致地看看這些技術所共有的特性，應該是很有助益的。

在人工智慧發展的前 20 年，很快地得到一些困難的結論，其中之一是“智慧需要知識”。即使知識本身是非常重要的而不可或缺的，它也有一些不受歡迎的性質，包括了：

- 它是大量的。
- 它是難以精確地描述的。
- 它是經常變化的。

所以在此情況下，我們該如何定義人工智慧的技術呢？我們只得做以下的結論：人工智慧的技術是將知識依下述的方式表示出來的一種方法。

- 它能掌握一般性。換句話說，它不需要針對個別的情況分別來表示，而把重要特性的相同情況集合在一起。如果知識沒有這個特性，那我們將不足以提供它所需要的大量記憶體。並且須花費比目前多得多的時間來執行。

- 它應該能被提供知識的人瞭解。雖然許多程式可以自動地取得大量的資料（如由各種儀器讀取資料），但在許多人工智慧的領域中，程式所有的大部份知識還是必需由人類用他自己能瞭解的形式輸入。
- 它是易於修改以糾正錯誤，並反映世界及我們對世界看法的變化。
- 它可以用於許多情況，即使它本身並不完全精確、完整。
- 它可以用來幫助自己克服大量的資料，將必需經常考慮的範圍縮窄。

雖然人工智慧的技術必需符合以上人工智慧的問題所給予的限制，然而在問題及解決問題的技術間仍舊有某種程度的獨立性。不用人工智慧的技術也可能足以解決人工智慧的問題（雖然，如我們前面說的，這些解決方法可能不是很好）。同時，我們也可以用人工智慧的技術來解決非人工智慧的問題。這對與人工智慧的問題有許多相同特性的問題而言，可能是個好方法。爲了盡可能用與問題獨立的方式來描述人工智慧的技術，讓我們先看看兩個完全不同的問題，及一系列解決的方法。

1.3.1 井字遊戲 (Tic-Tac-Toe)

在本節中，我們將一系列介紹三個玩井字遊戲的程式。這些程式依次增加：

- 複雜性。
- 使用的一般性。
- 知識的清晰性。
- 方法的擴展性。

因此，他們漸趨於我們所說的 A.I. 技術。

程式 1

資料結構

盤面 用一個含有 9 個元素的向量表示盤面。每個元素所代表的盤面位置如下：

1	2	3
4	5	6
7	8	9

每個元素的值可能包含 0（代表此格空白）、1（代表此格填上 X），或 2（代表此格已填上 O）。