

使用設計草圖於高中程式設計之氣泡排序法教學

鞠一文
武陵高中
ywjiu@ms11.hinet.net

陳振炎
中央大學資工系
jychen@csie.ncu.edu.tw

摘要

氣泡排序法雖簡單，但高中學生仍不易了解。本研究提出一套教學方法：利用設計草圖將氣泡排序的抽象概念具體化，並評估是否對了解其虛擬碼有幫助。

在武陵高中進行實驗，有 250 位學生參與，實驗結果統計分析顯示：設計草圖在氣泡排序之高抽象概念的了解上(如回合數)有顯著幫助；在低抽象概念的了解上(如比較、交換、回合)，則有妨礙。

關鍵詞：設計草圖、虛擬碼、教學方法、氣泡排序法

1. 簡介

程式設計是高中學生從未接觸的新學科，與文史的記憶或數理的理論推導不同，它是靈活的、有彈性的，是將具體事物轉換成抽象符號的活動，同樣的題目可以用不同的方法解答，就看該學生是如何思考問題的，沒有固定解法是它的特性，也是不易教的主因。

排序(Sorting)是程式設計中常用的教材，它的方法有許多種，高中常先教氣泡排序法，因為相較於其它方法，它最容易教。儘管如此，在教學上，老師還是常遇到挫折，因為不是所有同學都能了解其原理。通常，高中老師使用抽象的陣列觀念與文字解說教氣泡排序法，陣列包含位置(註標, index)與內容(值, value)兩個概念，而內容會因為比較的結果產生交換，同學往往在經過幾次比較與交換後，就不知陣列內容為何了，無法達到教學效果。因為人腦對抽象概念的了解不如具體事物來得容易，所以本研究探討：要用什麼具體事物來教才有效。

本研究想了解設計草圖的圖形輔助是否對程式設計有幫助，改善上述教學困境，所以有別於一般傳統教學方法，我們加入了 PowerPoint 製作的氣泡排序法動畫式設計草圖 (Design Sketch) (Chen, 2007)，藉由模擬真實情境的動畫演示，減輕人腦對了解抽象概念的障礙，讓同學能夠具體了解氣泡排序法的原理，進而能輕鬆讀懂描述程式邏輯的虛擬碼 (pseudo code)。

2. 相關文獻

根據認知資訊學 (Cognitive Informatics) (Wang, 2002)，資訊在人腦的處理有 5 個層次，如圖 1，由最低層次的 Analog objects (類比物件) 到最高層次的 Philosophies (哲學)，程式語言的抽象層次介於第 3 層 Professional notations (專業符號) 與第 4 層 Math (數學) 之間，人必須經過特定訓練後，才能在這個層次了解他人所表達的邏輯(如虛擬碼)。



圖 1 資訊抽象層次

又根據認知資訊學，人所接收處理的資訊分為兩個世界 (world)：1. 物理實體的世界 (physical or concrete world) 與 2. 抽象感知的世界 (abstract or perceived world)；其相互關係如圖 2，人藉著各種感官知覺 (視、聽、觸、味、嗅) 來獲取屬於物理實體世界的資料，再轉化為心智與思維等抽象感知世界的資訊，而心智的抽象思維可藉一連串具體動作進行轉換，程式設計就是這一連串轉換的動作。

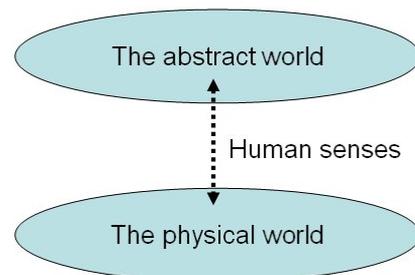


圖 2 Abstract world 與 Physical world 關係圖

根據瑞士認知發展心理學家皮亞傑(Piaget)的基模理論(Schema theory)，個體運用與生俱來的基本行為模式來了解周圍世界，當個體所獲得新的概念與既有的認知有所衝突時，個體會產生同化(assimilation)與調適(accommodation)來適應環境(張春興, 民 90)，同化與調適所需的時間視個體對概念抽象程度不同而有所不同，對某些人來說有些概念可能永遠無法理解(Sfard, 1991)，也就是，上段所述程式設計之一連串轉換動作，可能對某些人有效，但對另一些人無效，所以程式設計方法論需因人而異。

3. 實驗設計

本章分為三節，第一節描述實驗如何分組，第二節敘述如何對學生進程式設計基礎訓練，第三節說明氣泡排序法設計草圖與實驗步驟。

3.1 實驗分組

為讓實驗結果能代表母體，我們將桃園縣武陵高中一年級隨機選出 6 個班，分成實驗組與控制組，每組各三個班，實驗組 123 名同學，控制組 127 名同學，共 250 名同學。為確定兩組學生程度相同，在實驗前，讓同學填寫電腦自我效能量表，量測受試者電腦操作能力的信心程度，本量表改編自 Computer Self-Efficacy Scale (Murphy, 1989)，以統計 t 檢定法，分析結果顯示，兩組分數無差異；又因數理能力與程式設計所需的邏輯推理能力較為相關，我們蒐集兩組學生入學的學測數學成績進行 t 檢定分析，統計結果也無差異。

3.2 程式設計基礎訓練

實驗前，同學們多半沒有程式設計經驗，所以我們對實驗組與控制組進行 6 週，每週 1 小時的程式設計基礎訓練課程。內容包含物件導向程式設計的觀念(物件、屬性、方法、事件)、資料型態、變數與常數、程式結構(循序、選擇、重覆)、陣列與函數等基礎觀念。

實驗組與控制組由同一位老師授課，每班授課內容與方式儘可能一致，以避免畢馬龍效應(Pygmalion Effect)(源自希臘神話故事，引申有老師為求實驗效果而對實驗組特別用心教學)(林清山, 民 79)；另外我們不讓同學知道他們是實驗組或控制組，以避免強亨利效應(John Henry Effect)(美國工人，因為怕被裁員而和機器比賽，引申為控制組為了和實驗組一較高下而特別努力)(王文科, 民 95)。

3.3 氣泡排序法設計草圖與教學實驗

本節分為兩個部分，第一部分描述設計草圖所包含的各個概念，第二部分描述實驗進行的方式。

3.3.1 設計草圖

我們利用 PowerPoint 製作了動畫式設計草圖供實驗組使用，它包含 1) 數值大小、2) 位置關係、3) 比較、4) 交換、5) 回合、6) 回合數等概念，說明如下：

1) 數值大小: 用大小不同的圓表示大小不同的數值，即愈大的數，圓的直徑愈大，此為數值大小的概念，如圖 3。

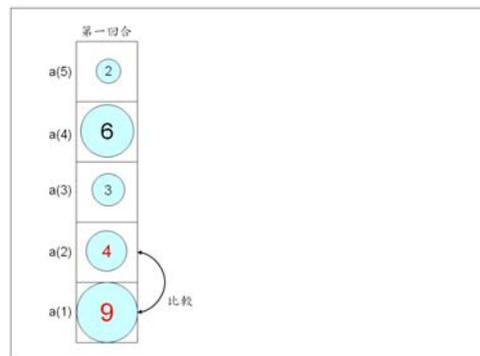


圖 3 數值大小、位置關係與比較的概念

2) 位置關係: 每個氣泡都放在垂直排列的方格中，方格由上到下的位置代表完成排序時數值大小的順序，如圖 3。

3) 比較: 利用弧線箭頭指出要比較的兩個數，並將這兩個數用不同顏色表示，明確的指出比較兩個數的大小，如圖 3。

4) 交換: 當比較結果符合交換條件(下方的圓大於上方的圓)時，我們用動畫的效果將大與小的圓交換位置，表達交換的概念，如圖 4。

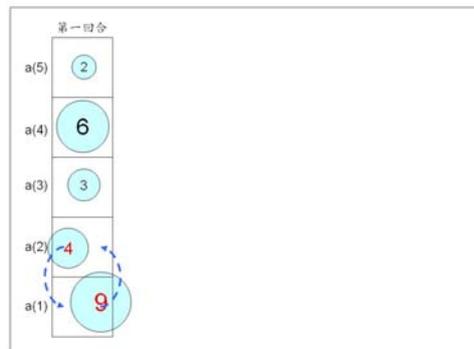


圖 4 交換的概念

5) 回合: 當最大的圓經由比較和交換最後 "浮" 到頂端時，表示完成一個回合的排序，我們在

方格最上方標示出 "完成" 字樣，表達回合的概念，如圖 5。

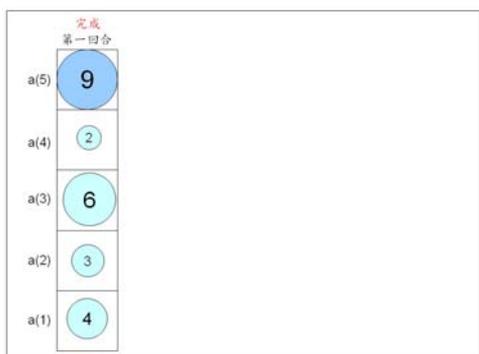


圖 5 回合的概念

6) 回合數: 將排序開始到完成的每一回合顯示在設計草圖中，表達完成排序需要 $n-1$ 回合的概念，如圖 6。

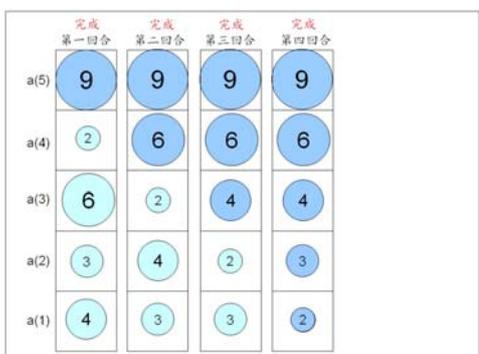


圖 6 回合數的概念

概念具有階層性，須先了解抽象程度低的概念後，才能了解抽象程度高的概念(ThinkQuest Team, 2007)，如圖 7，"鳥" 和 "魚" 是較具體概念，抽象程度低，容易了解，"動物" 是較高抽象程度的概念，須了解 "鳥" 和 "魚" 等概念後才能建構 "動物" 的概念，而 "動物" 又為 "生物" 概念的低層概念，是了解 "生物" 概念的基礎。

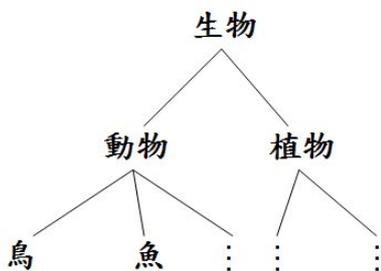


圖 7 概念的階層

上述有關氣泡排序的六個概念，抽象程度不同，如圖 8，"數值大小"、"位置順序"、"比較" 這三個概念接近類比物件，人腦轉換容易，抽象程度

低；"交換"、"回合" 需具備前三個概念後才能理解，抽象程度較前三者高；"回合數" 則需了解前五個概念後才能理解，為較高的抽象程度。

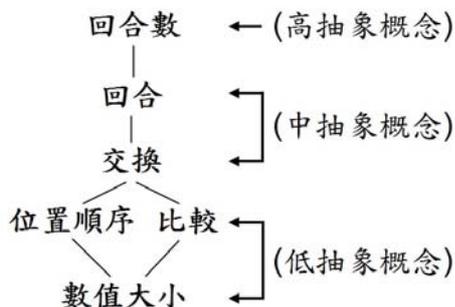


圖 8 氣泡排序的概念階層

3.3.2 實驗進行

同學具備基礎程式設計觀念後，進行實驗。實驗組教學程序為，將動畫式設計草圖配合老師的講解播放給同學看，讓同學了解氣泡由水中浮起的物理現象與氣泡排序的原理一致，再將氣泡的位置關係與數值大小的概念導入陣列資料結構中(氣泡的位置關係對應陣列的註標，數值大小對應陣列的值)，然後將程式邏輯的條件結構、重覆結構和比較、交換、回合、回合數的觀念對應，轉換成程式的虛擬碼，如圖 9、圖 10；控制組沒有使用動畫式設計草圖，其餘程序與實驗組相同。

在教學過程中，老師的觀察發現，實驗組在使用動畫式設計草圖輔助下，當進行到兩數因比較而產生交換的動畫時，同學明顯表現出好奇與專注的神情，動畫式設計草圖成功的吸引同學的注意力，因此同學更願意去思考與回答老師所提出的引導式問題，因為加入思考，所以與四周同學產生較頻繁的討論，與控制組的靜態圖解文字解說教學方式，同學的反應較為被動，有明顯的差異。



圖 9 陣列表示

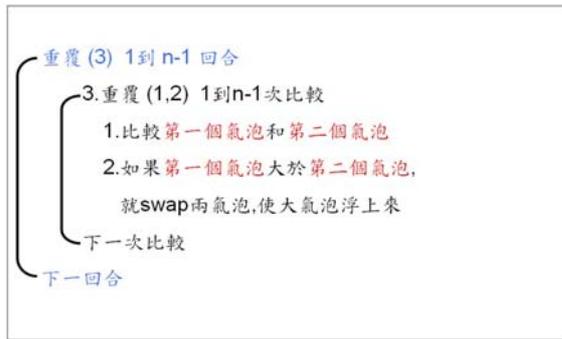


圖 10 虛擬碼

3.4 測驗

實驗完畢後，隨即進行測驗，題目採用問答題方式，共 4 題，題目如表 1，每題 2 分，使用問答題的原因是可以從同學的答案中，看出他是否真的了解虛擬碼的邏輯概念。題目在量測同學對下列 6 個概念的了解程度：1) 數值大小、2) 位置關係、3) 比較、4) 交換、5) 回合、6) 回合數。

表 1 測驗題目

題號	題 目
1	數列 (21、19、37、5、2)，利用 "氣泡排序法" 由小至大排序，執行第一個 "交換" (swap) 指令之後所得的結果為何? (寫出數列的順序)
2	有一數列含 8 筆資料 4、2、6、5、1、7、3、8 以 "氣泡排序法" 排序，由小排到大，"第一回合" 完成後，其數列順序為何?
3	使用 "氣泡排序法" 排序，需幾個 "回合" 的比較，才能將一有 8 個元素的陣列排序完成?
4	使用 "氣泡排序法" 將數列 4、2、4、3、1，由小到大排序，"第一回合" 第二次的 "比較" 是那兩個數在作比較?

我們假設：經由以上 3.3.2 所述的教學實驗之後，實驗組在上述六個概念了解程度上，會比控制組有顯著提昇。

4. 實驗結果

我們將測驗成績利用統計 t 檢定方法分析，以確認實驗結果是否支持我們的假設。我們逐題比較，表 2 為各題概念與平均分數列表。

表 2 各題概念與平均分數

題號	概念	實驗組平均	控制組平均	P 值
1	位置關係 比較 交換	0.881	1.296	0.0005***
2	位置關係 比較 交換 回合	1.034	1.424	0.0008***
3	位置關係 比較 交換 回合 回合數	1.881	1.664	0.0039***
4	位置關係 比較 交換 回合	1.220	1.536	0.0038***

*** p<0.01

其中第 3 題(使用 "氣泡排序法" 排序，需幾個 "回合" 的比較，才能將一有 8 個元素的陣列排序完成)，實驗組的平均分數大於對照組，本題的概念為 "回合數"，經過 t 檢定分析，P 值為 0.0039 ($<\alpha$ (0.01))，證明達顯著水準，如表 3，這表示設計草圖對較高層次概念 "回合數" 的理解有幫助。

表 3 測驗第 3 題 t 檢定分析

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數相等		
測驗第 3 題	實驗組	控制組
平均數	1.8814	1.664
變異數	0.2251	0.5636
觀察值個數	118	125
假設的均數差	0	
自由度	241	
t 統計	2.6799	
P(T<=t)單尾	0.0039	
臨界值：單尾	1.6512	
H ₀ ：實驗組成績 等於 控制組成績 (實驗組與控制組 無差異)		
H ₁ ：實驗組成績 大於 控制組成績 (實驗組 優於 控制組)		
結論：不拒絕H ₁		

第 1、2、4 題，實驗組平均分數都低於控制組，經 t 檢定分析結果，皆達顯著水準，這表示本設計草圖對較低層次的概念有妨礙。

5. 結論與分析

我們的假設為實驗組經過動畫式設計草圖的輔助，對氣泡排序的理解有幫助，在測驗成績上會超越控制組。但是實驗的結果卻不盡然，我們的分析如下：

測驗第3題的概念主要為"回合數"，本題實驗組的平均成績超越控制組，我們的推論是：因為動畫式設計草圖在動畫中很清楚的表達了"回合數"的概念，而用陣列的方式不易表達"回合數"的概念，所以實驗組的同學在這一題的表現優於控制組。

測驗第1、2、4題的概念為"比較"、"交換"、"位置關係"與"回合"等中低抽象程度的概念，雖然在動畫式設計草圖中對於"比較"與"交換"的概念表達得非常清楚，然而這兩個概念的抽象程度不高，經由口頭講述也能讓控制組同學了解這兩個概念；而在"位置關係"的概念方面，由於實驗組同學所看的動畫式設計草圖，氣泡是由下往上垂直"浮"起，要將這個概念對應為由左至右的陣列順序，還要多一道思考轉換過程，多數同學無法將此一概念同化，反而成為了解氣泡排序的干擾，而控制組是以陣列方式教學，數列順序就是陣列順序，沒有轉換的問題。因此控制組測驗成績優於實驗組。

結論是：人腦對抽象事物的處理有一定的能力，對於較低抽象程度的概念(如氣泡排序中的"數值大小"、"位置關係"、"比較"、"交換"、"回合")，人腦尚能應付自如，不需設計草圖輔助，但對於較高抽象程度的概念(如"回合數")，動畫式設計草圖是有幫助的。

未來方向：本研究在實驗設計時仍將陣列講解加入實驗組的教學內容中，以致在概念形成中發生干擾現象，日後若再做實驗時，可將其刪除，看看是否對了解虛擬碼有顯著幫助，又本研究使用低階的資料結構"陣列"，日後可對較複雜的資料結構如"樹"(tree)與"圖形"結構(graph)再做實驗，看看設計草圖是否有幫助。

參考文獻

- [1] 王文科、王智弘 (民 95)：教育研究法，增訂十版。台北市：五南書局。
- [2] 林清山 譯 (民 79)：教育心理學-認知取向 (Richard E. Mayer, Educational Psychology: A Cognitive Approach)。台北市：遠流。
- [3] 張春興 (民 90)：現代心理學。台北市：東華。
- [4] Chen, Jen-Yen and Liu, Chih-Hao. (2007) Enhancing Extreme Programming for Not-so-extreme Programmers, under revision, the Journal of Software

Engineering Studies, Software Engineering Association of Taiwan.

[5] Murphy, C. A, Coover, D. & Owen, S.V. (1989). Development and validation of the computer self-efficacy scale, Educational and Psychological Measurement, 49, 893-899.

[6] Sfard, A. (1991). On the dual nature of mathematical conceptions: reflections on processes and objects as different sides of the same coin., Educational Studies in Mathematics, 22(1), 1-36.

[7] ThinkQuest Team (2007). Cognitive processes, Relationship of different Concepts., Understanding Human Behavior. <http://library.thinkquest.org/26618/index.html>

[8] Wang, Y. (2002). On Cognitive Informatics, keynote lecture, Proc. of 1st IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI'02), 34-42.