

超媒體網路教材暨互動式演算法動畫對學習成效影響之研究

Empirical Studies on the Learning Effect of Web-based Hypermedia Courseware and Algorithm Animations

徐熊健

銘傳大學資訊科學系

桃園縣 333 龜山鄉德明路 3 號

sjshyu@mcu.edu.tw

蘇家賢

銘傳大學資訊管理研究所

桃園縣 333 龜山鄉德明路 3 號

jiashian@ms8.hinet.net

摘要

演算法課程中強調的是抽象概念的建立和邏輯思考的培养。利用網際網路超媒體教材突破學習時間與空間限制的便利,並結合演算法動畫的互動特質,來輔助學習者學習這門艱澀的學科,是許多學者有興趣的研究課題。本論文引用具如此性質的輔助教材,針對資訊科系及非資訊科系大學生從事實地實驗,藉以評估網際網路超媒體暨互動式演算法動畫對演算法學習成效之影響。在所設定的實驗方法、對象和內容中,實驗結果顯示互動式動畫可提升演算法的解題能力、網際網路超媒體加上互動式動畫可提升演算法的理解能力,而網際網路超媒體或互動式動畫對演算法記憶能力方面影響並不顯著。

關鍵詞：超媒體、演算法動畫、網路教材、學習成效評估

一、前言

近些年來,由於網際科技與電腦多媒體的迅速發展,建構於網際網路上電腦助學習(Computer Assister Learning, CAL)的研究和應用皆受到廣泛的重視。學習的方法由傳統靜態書本的閱讀轉變為使用電腦互動式超媒體的探索;而教學環境也由傳統的教室演變為網際虛擬教室,突破了傳統學習時在時間與空間上的限制。基於上述理由,國內外有許多學者和專家從事於網際學習、多媒體動畫學習系統的研究與學習成效評估等研究課題。最常見的是將多媒體動畫應用於英語、數學以及電腦軟體等的教學內容上,大多屬於較簡單、易懂、一般性的課程;針對這些系統所做的學習成效評估中,多數的實驗數據肯定了網際及多媒體教材確實對學生在學習上提供了正面的輔助(謝

麗菁,民 83; 王裕方,民 87; 簡綜合,民 88; 王靜宜,民 89; Marchionini and Crane, 1994)。

學習演算法(algorithm)強調的是抽象概念的建立和邏輯思考的培养。傳統的演算法課堂著重於老師於課堂的教授、學生的自我演練以及程式撰寫的練習。然此課程著重抽象思考的本質,對資訊相關科系的大學部同學而言,仍屬艱澀的科目。利用網際網路超媒體教材作為學習的輔助(謝樹明,民 87),甚至引用動畫呈現演算法執行的細部過程,輔以演算法視覺上的詮釋,自然成為學者深感興趣的研究主題(Brown, 1984; Stasko, 1990; Brown, 1991; Brown and Hershberger, 1992; Stasko, 1992; Brown and Najork, 1996; Brown and Raisamo, 1997; Pierson and Rodger, 1998; Baker, 2000; Shyu, Tsai and Lee, 2000; Shyu 2001)。

一些方便學生在程式中利用繪圖程式庫(graphics library)或腳本語言(script)製作動畫的系統因此產生,如 Xtango, Zeus, JCAT, PILOT, 等等。這些系統皆以供學生自行製作視覺化的動畫,方便程式除錯,進而達到輔助學習演算法的目的為設計宗旨。至於演算法動畫對學習成效的影響,則有(Stasko, Badre and Lewis, 1993; Stasko, 1997; Hansen, Schrimpscher, Narayanan and Hegarty, 1998; Jarc, 1999; Byrne, Cartrambone and Stasko, 1999) 提出實驗的評估結果,說明演算法動畫是否對學習有正面的幫助。雖然實驗課目、對象、方法、時間或有些不同,實驗的結果大多肯定演算法動畫對學習的輔助。然而我們認為這些系統在軟體技術和視覺化工具上的確有其價值,但對學習輔助上則並未加入妥善的考量,學習者除了要吸收演算法的抽象概念,撰寫程式時,還得瞭解動畫輔助系統提供的功能,方得以利用之產生動畫,得到視覺上的驗證

；這較多的學習內容，可能造成學生的學習負荷。我們也認為若學生已有能力撰寫演算法的程式，且是具動畫呈現的程式，其自然在學習成效上能有較高的成果；但是讓學習者在撰寫程式之前，即有視覺化互動動畫可供其反覆操作，驗證其非化之所得，學習者應可強化認知，加速學習的過程；之後撰寫程式測試的練習，亦能因演算法執行過程已了然於心，而收減少除錯(debugging)、縮短撰寫時間之效。

本論文即利用 (Shyu, 2001) 所設計具有互動演算法動畫的網路超媒體教材，作為實驗的工具；針對資訊科系及非資訊科系之學生從事實地實驗，來評估網路超媒體教材暨互動式演算法動畫，對演算法學習成效的影響。

本論文之架構如下：第二節介紹演算法動畫系統的演進，以及評估演算法動畫的文獻探討；第三節敘述實驗的評估方法，包括實驗變項的決定與實驗分組的依據；第四節則描述實驗進行的流程；第五節為實驗數據的分析結果；結論與未來發展方向在第六節。

二、文獻探討

演算法動畫是利用動態的連續圖例來說明一段演算法程式的內容以及程式的運作原理 (Brown, 1984; Stasko, 1990)。於 1970 年時，專家學者開始利用動畫來說明演算法的運作，剛開始是利用錄影帶來拍攝 (Hopgood, 1974)；第一個即時、互動演算法動畫系統應是 Balsa (Brown, 1994)。繼 Balsa 之後，Tango (Stasko, 1990) 以其路徑轉換模式 (path-transition paradigm) 來描述動畫而著名。Zeus (Brown, 1991) 在動畫中加入了彩色圖片及聲音。

由於網路超媒體的蓬勃發展，出現了利用瀏覽器操作的演算法動畫系統 (Baker, Liotta and Tamassia 1995; Brown and Raisamo, 1997; Pierson and Rodger, 1999; Baker, 2000;)。這些系統皆已使用 Java 程式語言開發其動畫輔助工具。如前所述，這些系統提供方便學習者在其撰寫的程式中加入動畫的功能，皆屬軟體佳作，可以作為程式寫作的輔助工具；然在演算法的學習上，未提供直接的輔助。「演算法虛擬教室」(Shyu, Tsai and Lee, 2000) 兼具網路超媒體教材及演算法動畫之特色，兩種動畫模式一為「單向式」動畫，採用 Macromedia Director 所製作的演算法動畫，雖然畫面精緻美觀，但只有單一範例展示，無法依學習者測試所需而

變化結果；另一為「互動式」動畫，以 Java 設計，可讓學習者自行輸入數據資料，以展現不同的演算法動畫結果。(Shyu, 2001) 則改善了教材內容和操作界面的考量，更適合本研究實驗評估之所需。

若干文獻針對其開發的演算法動畫系統，實際運用於演算法相關課程中，並評估其學習成效，茲將較具代表性的評估結果(含重要的實驗參數)整理如表 1。

表 1 國外演算法動畫評估文獻整理

作者	實驗科目	樣本	顯著	不顯著
Byrne, Catrambone and Stasko, 1999	depth-first search basic test	88		√
	depth-first search challenging test	88	√	
	binomial heaps basic test	62		√
	binomial heaps challenging test	62	√	
Jarc, 1999	data structures spring 1998	33	√	
	data structures fall 1998	52	√	
Hansen, Schrimpscher, Narayanan and Hegarty, 1998	merge sort	28	√	
	merge sor and quick sort	22	√	
	bubble sort and selection sort	25		√
	selection sort and merge sort	27		√
	sorting algorithm	40	√	
Lawrence, Badre and Stasko, 1994	minimum spanning tree (on-line test)	62		√
	minimum spanning tree (free response test)	62	√	

以上研究的評估方式，皆採用研究方法中的「實驗法」，實驗對象、流程、實驗主題等或許有差異，但皆以統計方法中的變異數分析 (ANOVA) 來評估其實驗假說是否顯著。(Byrne, 1999; Hansen, 1998; Lawrence, Badre and Stasko, 1994) 的實驗當中，將實驗參與者分為若干組，各組採用不同的輔助學習工具，然後進行學習成效測試，比較各組間的差異。而 (Jarc, 1999) 則先針對參與者進行前測 (pre-test)，經演算法動畫系統學習後再進行後測 (post-test)，然後比較後測與前測的差異是否顯著。

從表 1 的結果，可看出大部分的實驗結果都肯定演算法動畫系統對於輔助學習上的成效，尤其是測驗難度較高時更能突顯其成效；部份屬於較簡單的測驗中則是不顯著的。而本研究與這些實驗最大的差異在於並不要求學習者以製作動畫程式進行實驗，而以互動動畫

的學習輔助為實驗主體。我們也採用實驗法進行學習成效的評估；實驗中將參與者分為三組，採用不同輔助學習方式，最後進行學習成效測驗，測驗結果再以 ANOVA 來分析，檢測實驗假設是否顯著。實驗評估方法細節在下節中說明。

三、實驗評估方法

本研究主要探討不同的演算法輔助學習方式，對學習成效是否有影響，因此建立以下研究架構，如圖 1 所示。

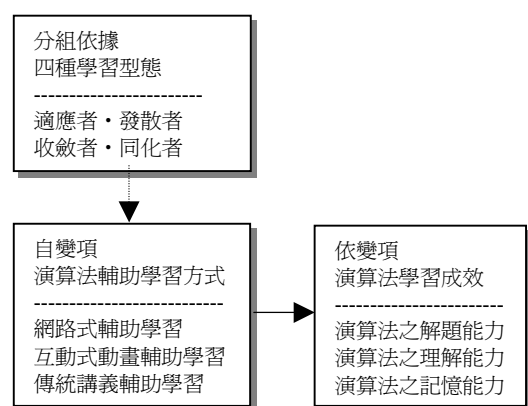


圖 1 本研究之研究架構圖

自變項 (Independent variable)

本研究共使用了三種演算法輔助學習方式，作為實驗的自變項，敘述如下：

- (1) 網路式輔助學習：運用網路超媒體結合互動式動畫的特質，將所有學習教材建構於網頁上，學生藉由瀏覽器隨時隨地皆可學習演算法課程。
- (2) 互動式動畫輔助學習：運用互動式動畫配合傳統講義的內容說明，學生一邊研讀講義一邊利用動畫來練習。
- (3) 傳統講義輔助學習：不使用任何的電腦輔助學習設備，藉由傳統講義的閱讀及範例的演練來學習演算法。

依變項 (Dependent variable)

將整理過的演算法試題於實驗後測時，發給學習者做為學習成效的評量，並將試題分為三種類型，以測驗出不同的演算法學習成效。

- (1) 演算法之解題能力：主要測試學習者對演算法的熟悉程度，經由多次演練基本範例題目，可增進對演算法的熟悉程度。
- (2) 演算法之理解能力：把所學的內容加以消化、吸收、轉換、融會貫通後，可以運用

於各種變化及困難的題型，學習時必須經過多次的特殊題型練習，嘗試各種不同的數值運算，題目中使月特例數值來測試參與者對演算法是否真正理解其步驟及過程。

- (3) 演算法之記憶能力：學習者通常會以回想 (recall) 來探討記憶保留能力，回想又分為短期回想 (short-term recall) 以及長期回想 (long-term recall)。在研究中以短期回想來了解不同輔助學習方式對記憶保留能力之影響，題目以填充題的方式，內容取自於教材中演算法的基本概念。

分組依據

一些課外的研究中顯示，不同學習型態的學習者使用不同的輔助學習方式會產生不同的學習成效 (簡綜身, 民 88; 巫靜宜, 民 89)，為避免因不同學習型態造成學習成效上的差異，本研究採用 (Kolb, 1985) 所定義的學習型態 (Learning Style)，Kolb 的學習型態在古今的研究中經常被使用。因此實驗前先將學習者依照學習型態分成適應者、發散者、收斂者及同化者四類，再從各類中隨機挑選實驗參與者分配至三個組別。因此每組參與者使用時具有四種學習型態的人。

3.1 實驗設計

本研究採用社會科學研究法中的「實驗法 (Experiment)」(Thomas Herzog, 1996; 葉立誠、葉立誠, 民 88) 來進行。本研究依照前述的研究目想要找出「互動式演算法動畫」及「網路超媒體」有助於學習演算法的特質何在？因此分組後採用兩兩相比的方式 (圖 2)，找出每組有助於演算法學習成效的部份，例如：若 A 組理解能力的平均分數明顯高於 B 組與 C 組，但 B 組與 C 組間理解能力卻沒有明顯差異，那便可以推論 A 組中的某項特色，提升了參與者學習演算法的理解能力。

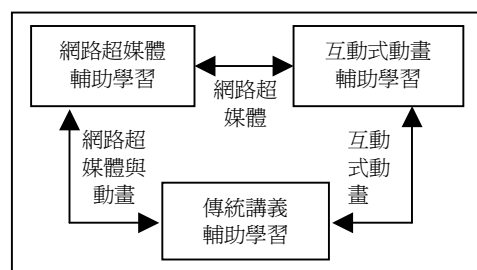


圖 2 利用兩組相比的方式，找出輔助學習的優勢

此外，本實驗的參與者從未修習過演算法及相關課程，對演算法的先備知識可以說是完

全沒有，故前測在實驗中是無意義的，只能針對實驗參與者進行後測的工作，意即只能在對樣本處理後觀察不同處理間依變項之差異。因此，本研究的實驗設計法為「實驗後測法」(posttest only design)的型式，而實驗後測分數再去除特別高分與特別低分的樣本，避免因參與者個人的因素所造成的誤差。

本研究目前以解決最小延展樹(minimum-cost spanning tree)問題(包括 Kruskal 和 Prim 兩種演算法)為主題、兩次實驗來進行；實驗是在 89 下學年的課程中來進行，實驗對象第一次為銘傳大學資訊科學系一年級的學生，因其曾修過計算機概論及電腦應用課程，因此對電腦及網路的操作十分熟悉。為了擴大外部效度，讓研究更具參考價值，本研究仍選擇了非資訊相關科系學生，作為第二次實驗的對象，對象為銘傳大學經濟系一年級的學生，雖沒有修過任何資料結構及演算法的課程，但修過套裝軟體應用，平常就有利用電腦打報告、玩遊戲及上網的機會，對於電腦和網路的操作，還算熟悉。

實驗環境在三間教室進行，其中一間甲教室並沒有電腦設備，只有 60 個座位及黑板、麥克風等設備，做為傳統組、老師統一授課、以及學習成效評量時使用；另一間乙教室備有 60 部多媒體電腦設備可上網，做為動畫組使用；第三間丙教室只有 12 部多媒體電腦可上網，開放給網路組使用。分組時，每組人數不一，由於網路組的電腦較少，因此採用 1~2 人共用一部電腦的方式進行。

3.2 實驗工具

實驗所用的工具及內涵，敘述如下：

3.2.1 學習型態量表

學習型態的測量是做為實驗分組的依據，採用 Kolb 所發展的學習型態量表 (learning style inventory) 進行測量。此量表已被多位學者翻譯後採用 (謝麗菁，民 83；王裕方，民 87；簡綜身，民 88；巫靜宜，民 89)。

3.2.2 學習成效測驗

(Byrne, Catrambone and Stasko, 1999) 的實驗將學習成效中演算法試題分為「基本」(basic)和「深入」(challenging)兩類。而本實驗的測驗試題涵蓋了三個部份：解題能力、理解能力以及記憶能力性質的題目。

3.2.3 互動式演算法動畫

實驗所使用輔助系統中的互動式動畫採用 Java 來開發，除了具有跨平台功能外，更能利用瀏覽器來讀取，適合用於網路上。系統可以讓使用者自行輸入資料，啟動後則會產生演算法求解過程的動畫，旁邊並配合著演算過程及演算法說明，學習者也可以調整動畫速度，或是採用「下一步」的方式來觀看動畫，特殊步驟會以鮮豔的顏色來提示，並以閃爍的方式加強學習者的注意。

3.2.4 演算法傳統講義

傳統講義是提供給傳統組的參與者學習演算法使用的，講義內容包含了二個部份：(1)基本概要講義，整理自演算法及資料結構的教課書，主要是要說明各個演算法的基本介紹、運作方式、演算法程式及相關資訊；(2)範例練習題，內容為演算法的練習及步驟詳細解說。

3.2.5 演算法網站

演算法網站是網路組參與者所使用的，內容利用超媒體的技術 (楊淑晴，民 90；楊家興，民 82) 整合了演算法傳統講義的內容，再加上互動式演算法動畫兩大部分，讓參與者隨著自己的學習進度任意瀏覽網頁，呈現方式為：(1)以超連結的技巧，設計一種交談式的資訊呈現，讓學習者主動點選內容、參與學習 (如圖 3)。(2)利用不同顏色、小動畫來標註重點，協助學習者的學習焦點。(3)資料內容分門別類，讓使用者可依自己的需要安排學習進度 (如圖 3)。(4)將相關字詞資料以超連結的方式呈現，方便學習者閱讀比較。(5)以多樣化的多媒體方式來呈現枯燥的演算法，提高學習者的學習興趣。(6)互動式動畫旁邊加上特殊題型、特殊資料的提示，讓學習者試著輸入特殊題



圖 3 資料內容分門別類、讓參與者主動點選

目，以了解所有可能的運算過程（如圖 4）。

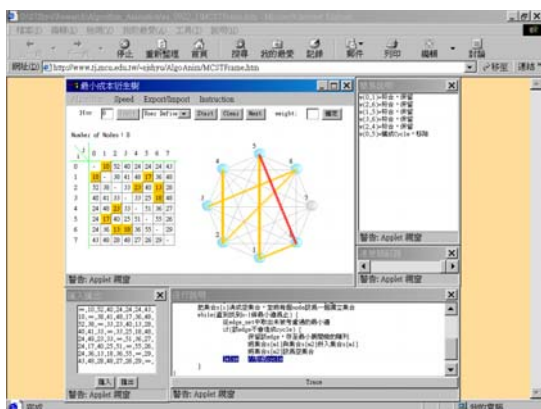


圖 4 引導學習者嘗試各種情況

3.3 實驗流程

實驗中將參與者分為三組：A 組（實驗組）採用「線路式輔助學習」簡稱「線路組」；B 組（實驗組）在電腦機房使用「互動式動畫輔助學習」簡稱「動畫組」；C 組（對照組）採用「傳統講義輔助學習」簡稱「傳統組」。於開始實驗前一週，先讓參與者填寫 Kolb 的學習型態心裡測量表，測量受測參與者的學習型態是屬於適應者、發散者、收斂者、合作者中的那一類，再從同種學習型態的學生中隨機挑選出來分配在三個組別當中。

因為本實驗是針對演算法課程中幾個代表性的問題所設計的，因此在使用輔助系統學習演算法之前，也必須具備一些演算法的基礎概念，所以在實驗之前先由老師統一授課數週，教授教科書中的基礎概念，為了降低外在其他因素所帶來的影響，三組同學皆由同一位老師授課。第一次實驗對象為資科系 48 位學生，實驗主題為「最小延展樹」；第二次則針對經濟系 62 位學生，實驗主題亦為「最小延展樹」。每次實驗分為四個階段（如圖 5），第一階段由老師講解本週實驗主題的基本概念，第二階段及第三階段，三組採用不同的輔助學習方式，第四階段為演算法學習成效測驗。

A：網路組 B：動畫組 C：傳統組			
第一階段 3:10~3:30	老師講解 甲教室	老師講解 甲教室	老師講解 甲教室
第二階段 3:30~4:00	系統操作 丙教室	閱讀資料 甲教室	閱讀資料 甲教室
第三階段 4:10~4:40	系統操作 丙教室	系統操作 乙教室	範例圖解 甲教室
第四階段 4:40~5:10	測驗 甲教室	測驗 甲教室	測驗 甲教室

圖 5 實驗進行四階段

四、最小延展樹實驗

實驗中所使用的「演算法輔助學習系統」分為兩類，一是運用線路超媒體技術及互動式演算法動畫的「線路輔助學習」系統，作為線路組的輔助學習工具；二是單獨運用互動式演算法動畫的「互動式動畫輔助學習」系統，作為動畫組的輔助學習工具。

演算法輔助學習系統網站可以參考網址 <http://www.cs.mcu.edu.tw/~sjshyu/AlgoAnim/>。以下就針對二次實驗的進行做詳細的介紹。

4.1 實驗說明

本實驗是要幫助同學學習演算法課程中的「最小延展樹」（又稱為最小成本生成樹），此演算法是要在一個線路圖形中，找出一個擁有最小成本邊的樹。有兩個重要的方法，一個是 Kruskal 演算法，另一個是 Prim 演算法，實驗中讓學生利用動畫來了解這兩種方法的運算步驟，並能夠比較兩種方法的優缺點。

實驗一的參與者為銘傳大學資科系一年級學生 48 位，由學習型態量表檢測分組後如表 2 所示：

表 2 最小延展樹實驗分組表

學習型態	發散者	合作者	收斂者	適應者
組別	A 組（線路組）12 位			
人數	2	3	4	3
組別	B 組（動畫組）16 位			
人數	2	6	6	2
組別	C 組（傳統組）20 位			
人數	3	6	7	4

實驗二的參與者為銘傳大學經濟系一年級學生 62 位，由學習型態量表檢測分組後如

表 3 所示：

表 3 最小延展樹實驗分組表

學習型態	發散者	中庸者	收斂者	適應者
組別	A 組 (線路組) 20 位			
人數	3	6	7	4
組別	B 組 (動畫組) 20 位			
人數	3	6	7	4
組別	C 組 (傳統組) 22 位			
人數	4	7	8	3

4.2 實驗程序

第一階段是「老師講解」，利用 20 分鐘的時間，三組在甲教室由老師統一講授最小延展樹的基礎概念以及 Kruskal 和 Prim 演算法的運算步驟。

第二階段為「內容學習」，有 30 分鐘時間，線路組的參與者移至丙教室實地操作「線路式輔助學習系統」，參與者可自行選擇先閱讀資料再觀看動畫，或先觀看動畫再閱讀資料，或是兩者同步比較閱讀。「線路部份」的內容如圖 6 所示，網頁中利用了幾個線路超媒體的特點來輔助參與者更容易學習：(1)超鏈結：設計一種交談式的資訊呈現，讓學習者主動點選內容，參與學習。並將相關字詞資料以超連結的方式呈現，方便學習者在學習過程可以方便比較 Kruskal 和 Prim 演算法的異同 (例如時間複雜度的比較)。(2)特別標註：利用不同顏色、動畫來標註重點，提醒學習者加強閱讀重點。(3)非線性檢索：將資料內容分門別類，讓學習者可依自行安排學習進度。(4)輸入提示：互動式動畫旁邊加上特殊題型、資料的提示，讓學習者嘗試輸入特殊值，藉以了解所有的運算過程。



圖 6 最小延展樹的網頁內容

最小延展樹的「互動式動畫部份」採用 Java 程式設計，共計兩套動畫程式：

(1)Kruskal's Algorithm 動畫：學習者可自行建立一棵樹，並給予每個邊一個成本值，再啟動動畫來了解 Kruskal 演算求最小延展樹的過程，參考圖 7。(2)Prim's Algorithm 動畫：學習者可自行在建立一棵樹，並給予每個邊一個成本值，再選擇起始點，然後啟動動畫來了解 Prim 演算法求最小延展樹的過程，參考圖 8。

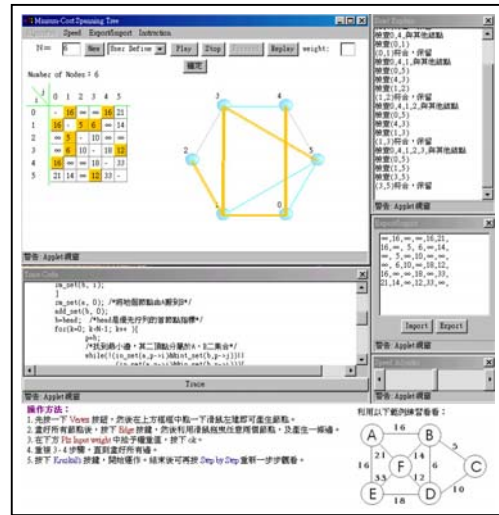


圖 7 Kruskal 演算法互動式動畫

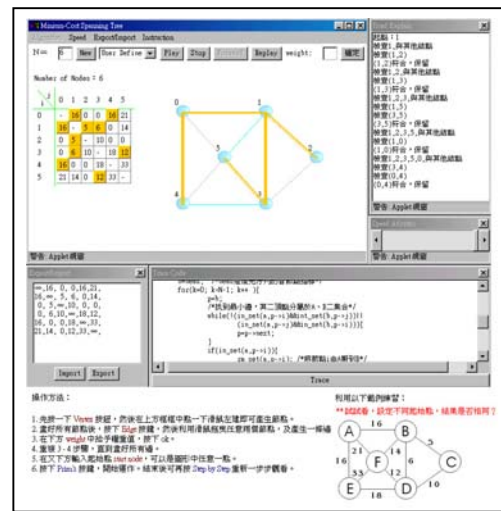


圖 8 Prim 演算法互動式動畫

系統還可控制動畫的速度，以及使用「下一步」的功能，讓學習者能仔細觀察最小延展樹的演算過程，而動畫旁邊會有每個步驟的演算法以及運算過程說明。「互動式動畫」採用了幾個特點來輔助參與者學習：(1)自行輸入資料；(2)反覆練習；(3)錯誤提示 (求解的過程有一個重點，就是不能產生閉環，若產生閉環則不選擇該邊，動畫的過程若有閉環產生，系統會以紅色閃爍的邊來標示，並有文字說明以加強學習者的注意)；(4)運算過程視窗 (動畫右方有運算過程，每跑一個步驟，視窗則顯

示該步驟說明)；(5)特殊題型練習(例如在Prim演算法中，不以起始點也許會產生不以的解，系統便會提示參與者嘗試以不以起始點來觀看動畫)。此一時間動畫組與傳統組在甲教室，給予六頁A4大小黑白影印的講義，講義內容與網頁上相同，有最小延展樹說明、Kruskal's Algorithm 解說、Kruskal 演算法說明、Prim's Algorithm 解說、Prim 演算法說明以及兩者比較。

第三階段為「範例演練」，過程30分鐘，繹路組參與者繼續在丙教室進行「繹路式輔助學習系統」操作。動畫組參與者改至乙教室操作「互動式動畫輔助學習系統」，因動畫組並不包含網站部份內容，必須搭配講義內容來練習。傳統組則繼續在甲教室，發給二頁A4大小黑白影印的範例練習，內容為兩題範例，參與者可藉由圖文解說實際演練。第四階段是「成效測驗」，三組參與者都回到甲教室，給于一張題目卷，共有六題，其中有一題為是測驗解題能力、三題測驗理解能力、二題測驗記憶能力。

三、資料分析

本研究利用統計方法中的「單因子變異數分析(one-way ANOVA)」來分析各個變項之間的關係，並且使用SPSS 8.0 for windows 為主要分析工具，分析架構如圖9：

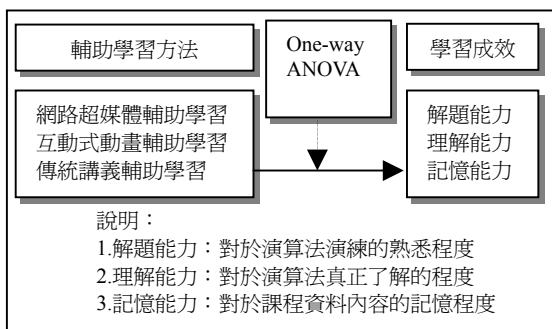


圖9 不同輔助學習方式對於學習成效的分析架構圖

5.1 研究假說

在「最小延展樹」的實驗中，利用各組間兩兩比對的方式找出各組輔助學習的特質，因此設計研究假說如下：

【假說1】對(非)資訊相關科系學生而言，學習演算法中的「最小延展樹」，使用不以的

輔助學習方式，會造成學習成效(解題能力)上的差異。

【假說2】對(非)資訊相關科系學生而言，學習演算法中的「最小延展樹」，使用不以的輔助學習方式，會造成學習成效(理解能力)上的差異。

【假說3】對(非)資訊相關科系學生而言，學習演算法中的「最小延展樹」，使用不以的輔助學習方式，會造成學習成效(記憶能力)上的差異。

5.2 實驗結果分析

研究中針對資訊相關科系與非資訊相關科系進行了最小延展樹的實驗，以下就只針對資訊相關科系的實驗數據做詳細的分析與討論，並於下一節說明兩次實驗的結果、比較。表4說明了資科系學生在「最小延展樹」實驗中學習成效上的平均數及標準差。

表4：學習成效之樣本說明

學習成效	組別說明	N	平均	標準差
解題能力	A組：繹路式輔助學習	12	31.67	4.92
	B組：互動式動畫輔助學習	18	31.39	4.13
	C組：傳統講義輔助學習	22	25.68	4.70
理解能力	A組：繹路式輔助學習	12	23.58	9.25
	B組：互動式動畫輔助學習	18	16.61	8.78
	C組：傳統講義輔助學習	22	15.82	8.16
記憶能力	A組：繹路式輔助學習	12	4.33	1.97
	B組：互動式動畫輔助學習	18	1.44	3.29
	C組：傳統講義輔助學習	22	2.45	3.42

以下為本研究實驗中所訂定的虛無假說(Hypothesis)以及實驗後資料所分析的結果。

5.2.1 解題能力的虛無假說及分析結果

H_{1-1} ：接受繹路式輔助學習和互動式動畫輔助學習的資訊相關科系學生，學習演算法中的「最小延展樹」，其學習成效(解題能力)並無差異。

表5：虛無假說 H_{1-1} 的單因子ANOVA分析

依變項：學習成效(解題能力)						
變異來源	SS	DF	MS	F	P-value	顯著性
組間變異	0.556	1	0.556	0.028	0.868	
組內變異	556.944	28	19.891			
總計	557.500	29				

H_{1-2} ：接受繹路式輔助學習和傳統講義輔助學習的資訊相關科系學生，學習演算法中的「最小延展樹」，其學習成效(解題能力)並無差異。

表 6：虛無假設 H_{1.2} 的單因子 ANOVA 分析

依變項：學習成效（解題能力）						
變異來源	SS	DF	MS	F	P-value	顯著性
組間變異	278.119	1	278.119	12.168	0.001	***
組內變異	731.439	32	22.857			
總計	1009.559	33				

註：*** 表示 p < 0.01

H_{1.3}：接受互動式動畫輔助學習和傳統講義輔助學習的資訊相關科系學生，學習演算法中的「最小延展樹」，其學習成效（解題能力）並無差異。

表 7：虛無假設 H_{1.3} 的單因子 ANOVA 分析

依變項：學習成效（解題能力）						
變異來源	SS	DF	MS	F	P-value	顯著性
組間變異	322.449	1	322.449	16.228	0.000	***
組內變異	755.051	38	19.870			
總計	1077.500	39				

註：*** 表示 p < 0.01

5.2.2 理解能力的虛無假設及分析結果

H_{2.1}：接受線路式輔助學習和互動式動畫輔助學習的資訊相關科系學生，學習演算法中的「最小延展樹」，其學習成效（理解能力）並無差異。

表 8：虛無假設 H_{2.1} 的單因子 ANOVA 分析

依變項：學習成效（理解能力）						
變異來源	SS	DF	MS	F	P-value	顯著性
組間變異	350.006	1	350.006	4.353	0.046	**
組內變異	2251.194	28	80.400			
總計	2601.200	29				

註：** 表示 p < 0.05

H_{2.2}：接受線路式輔助學習和傳統講義輔助學習的資訊相關科系學生，學習演算法中的「最小延展樹」，其學習成效（理解能力）並無差異。

表 9：虛無假設 H_{2.2} 的單因子 ANOVA 分析

依變項：學習成效（理解能力）						
變異來源	SS	DF	MS	F	P-value	顯著性
組間變異	468.193	1	468.193	6.402	0.017	**
組內變異	2340.189	32	73.131			
總計	2808.382	33				

註：** 表示 p < 0.05

H_{2.3}：接受互動式動畫輔助學習和傳統講義輔助學習的資訊相關科系學生，學習演算法中的「最小延展樹」，其學習成效（理解能力）並無差異。

表 10：虛無假設 H_{2.3} 的單因子 ANOVA 分析

依變項：學習成效（理解能力）						
變異來源	SS	DF	MS	F	P-value	顯著性
組間變異	6.224	1	6.224	0.087	0.769	
組內變異	2709.551	38	71.304			
總計	2715.775	39				

5.2.3 記憶能力的虛無假設及分析結果

H_{3.1}：接受線路式輔助學習和互動式動畫輔助學習的資訊相關科系學生，學習演算法中的「最小延展樹」，其學習成效（記憶能力）並無差異。

表 11：虛無假設 H_{3.1} 的單因子 ANOVA 分析

依變項：學習成效（記憶能力）						
變異來源	SS	DF	MS	F	P-value	顯著性
組間變異	60.089	1	60.089	7.408	0.011	**
組內變異	227.111	28	8.111			
總計	287.200	29				

註：** 表示 p < 0.05

H_{3.2}：接受線路式輔助學習和傳統講義輔助學習的資訊相關科系學生，學習演算法中的「最小延展樹」，其學習成效（記憶能力）並無差異。

表 12：虛無假設 H_{3.2} 的單因子 ANOVA 分析

依變項：學習成效（記憶能力）						
變異來源	SS	DF	MS	F	P-value	顯著性
組間變異	27.408	1	27.408	3.044	0.091	
組內變異	288.121	32	9.004			
總計	315.529	33				

H_{3.3}：接受互動式動畫輔助學習和傳統講義輔助學習的資訊相關科系學生，學習演算法中的「最小延展樹」，其學習成效（記憶能力）並無差異。

表 13：虛無假設 H_{3.3} 的單因子 ANOVA 分析

依變項：學習成效（記憶能力）						
變異來源	SS	DF	MS	F	P-value	顯著性
組間變異	10.101	1	10.101	0.893	0.351	
組內變異	429.899	38	11.313			
總計	440.000	39				

5.3 最小延展樹的實驗發現與討論

表 14 為最資科系最小延展樹實驗的結果整理，可看出線路組在學習演算法中的「最小延展樹」時，無論是學習成效的「解題能力」或「理解能力」都比使用傳統組效果更佳。而動畫組在「解題能力」方面的學習成效比傳統組來的好，但在「理解能力」方面並沒有顯著差異，研究推測線路組多了超媒體的特質，再配合互動式動畫，因此較能夠觸發學生對「最小延展樹」演算法的理解能力。互動式動畫幫助學習者熟悉最小延展樹的運算步驟，而超媒體的特質讓學習者真正理解其演算法的涵。

在「記憶能力」方面，各組間的學習成效並不顯著，因此無法斷定演算法輔助學習系統對於記憶能力上的輔助效果。

表 14：「最小延展樹」實驗分析結果整理

假說	實驗結果
H ₁₋₁	「線路式輔助學習」和「互動式動畫輔助學習」在解題能力上並沒有顯著的差異。
H ₁₋₂	「線路式輔助學習」在解題能力上明顯高於「傳統講義輔助學習」。
H ₁₋₃	「互動式動畫輔助學習」在解題能力上明顯高於「傳統講義輔助學習」。
H ₂₋₁	「線路式輔助學習」在理解能力上明顯高於「互動式動畫輔助學習」。
H ₂₋₂	「線路式輔助學習」在理解能力上明顯高於「傳統講義輔助學習」。
H ₂₋₃	「互動式動畫輔助學習」和「傳統講義輔助學習」在理解能力上並沒有顯著的差異。
H ₃₋₁	「線路式輔助學習」在記憶能力上明顯高於「互動式動畫輔助學習」。
H ₃₋₂	「線路式輔助學習」和「傳統講義輔助學習」在記憶能力上並沒有顯著的差異。
H ₃₋₃	「互動式動畫輔助學習」和「傳統講義輔助學習」在記憶能力上並沒有顯著的差異。

六、結論與建議

本研究目前完成資訊相關科系（資科系）與非資訊相關科系（經濟系）的最小延展樹實驗，上節也已詳盡的介紹資訊相關科系學生進行最小延展樹實驗的分析結果，本節茲將二次實驗結果彙集成表 15，並討論如下：

實驗結果發現，使用不同的輔助學習方式學習演算法，會有不同的學習成效，經過二次的實際實驗結果做出如表 16 的結論，可歸納出：三個組別中所使用的演算法輔助方式中，含有互動式動畫的組別（線路組及動畫組），其解題能力方面的表現普遍較佳，無論在資訊相關科系或非資訊相關科系都有明顯的成效；含有線路超媒體暨互動式動畫的組別（線路組），其理解能力方面的表現普遍較動畫組及傳統組佳，在資訊相關科系有較明顯的成效，但在非資訊相關科系卻不顯著；而在記憶能力方面，大多數的數據顯示，無法證明線路組及動畫組比傳統組佳，甚至於有時傳統組的記憶能力表現較好，尤其是在非資訊相關科系學生的實驗中更明顯。

因此研究推測「互動式動畫」的特性可以讓學習者多次反覆的練習基本範例，因此對於解題能力的訓練上會有很大的幫助。「線路超媒體」的特性引導學習者嘗試各種深入題型的演練，使得資訊相關科系的學生可以理解最小延展樹的內涵，因此提升了理解能力的學習成效，但對於非資訊相關科系的學生而言，演算

法是一個完全陌生的科目，因此即使使用了線路超媒體的輔助，其理解能力的成效上仍然不顯著。

本研究發現互動式動畫以及線路超媒體的特性其輔助的成效並不完全相斥。可提供往後的研究在設計演算法輔助教材時，可針對不同演算法的特性給予不同的輔助設計，以提升其學習成效，本研究成果有以下結論：

- (1) 利用互動式動畫的特點來設計演算法課程時，對於學生學習演算法的解題能力時，會有不錯的輔助成效。
- (2) 使用互動式動畫若加上特殊資料的輸入提示來設計演算法課程，對於學生對演算法的理解能力會有很大的幫助。
- (3) 運用線路超媒體的優點來設計演算法課程，對於學生對演算法的學習成效整體皆有不錯的輔助功效。
- (4) 將互動式動畫及線路超媒體應用在困難度較高且較複雜的演算法上，其輔助意義較大。

目前很少研究完整的包含了演算法動畫、超媒體線路以及實地的實驗評估。本研究將持續對其他具代表性的演算法，例如排序、二元樹的節點新增、刪除、修改、最短路徑、最長共因子字串、等等做實地實驗，探討問題難易程度與演算法動畫輔助之間的關係。除此之外還有很多研究課題是可以量化的，例如(1)加入學習型態的因子：本研究中的學習型態只是作為分組的依據，希望未來能將學習型態納入成為實驗因子，利用兩因子變異數分析（two-way ANOVA）探討「不同輔助學習方式」與「不同學習型態」的交互作用下，對演算法學習成效的影響；(2)線路組的實驗採用自行上線學習的方式：本研究是採用模擬的方式讓參與者上線學習。未來的研究方向中，希望能將線路組的實驗環境控制在真正的線路學習環境中，讓參與者自行找時間在家、在校或任何地方上線，自由選擇學習路線。

表 15：二次實際實驗的分析結果

實驗內容	學習成效	A：繩路組 B：動畫組		A：繩路組 C：傳統組		B：動畫組 C：傳統組	
		平均分數	顯著性	平均分數	顯著性	平均分數	顯著性
實驗主題：最小延展樹 Kruskal 和 Prim 演算法 參與者：資訊相關科系 48 位	解題能力	A > B	---	A > C	***	B > C	***
	理解能力	A > B	***	A > C	***	B > C	---
	記憶能力	A > B	***	A > C	---	B < C	---
實驗主題：最小延展樹 Kruskal 和 Prim 演算法 參與者：非資訊相關科系 62 位	解題能力	A > B	**	A > C	***	B > C	***
	理解能力	A > B	---	A > C	---	B > C	---
	記憶能力	A > B	---	A < C	---	B < C	**
註： *** 表示 P < 0.01 ** 表示 P < 0.05 --- 表示不顯著							

表 16：實驗結論整理

最小延展樹的學習成效		結論	原因
資訊相關科系學生	解題能力	繩路組與動畫組的成效都比傳統組佳。	繩路組及動畫組都含有互動式動畫，互動式動畫對解題能力的幫助大。
	理解能力	繩路組的成效比動畫組及傳統組佳。	繩路組具備超媒體功能，超媒體功能對理解能力幫助大。
	記憶能力	繩路組成效比動畫組佳，其他成效不顯著，但繩路組的平均分數亦大於傳統組。	繩路組具備超媒體功能，幫助資訊相關科系學生容易記憶。
非資訊相關科系學生	解題能力	繩路組與動畫組的成效都比傳統組佳。	繩路組及動畫組都含有互動式動畫，互動式動畫對解題能力的幫助大。
	理解能力	繩路組、動畫組與傳統組差異不明顯，但繩路組的平均分數大於動畫組與傳統組。	非資訊相關科系學生較難去理解演算法的內涵，因此超媒體及動畫亦無法明顯提升其理解能力。
	記憶能力	傳統組成效比動畫組佳，其他成效不顯著。	非資訊相關科系學生不習慣使用電腦學習，傳統方式反而容易記憶，因此動畫對與超媒體對記憶能力幫助不明顯。

參考文獻

【中文部份】

1. Thomas Herzog 著 / 朱柔若譯 (民 85)，社會科學研究方法與資料分析，揚智文化。
2. 王裕方 (民 87)，電腦態度與學習績效的影響因素探討—中學生網頁製作教學的實地實驗研究，中央資管所碩士論文。
3. 王靜宜 (民 89)，比較繩路教學與傳統教學對學習效果之研究---以 Word 2000 之教學為例，淡江大學資訊管理研究所碩士論文。
4. 楊家興 (民 82)，超媒體：一個新的學習工具，教學科技與媒體 (12)，28-39。
5. 楊淑晴 (民 90)，營建一個建構式取向的超媒體學習環境，資訊與教育，第 76 期，3-13。
6. 葉立誠、葉至誠 (民 88)，研究方法與論文寫作，台北市：華鼎文化。
7. 謝樹明 (民 87)，遊戲式資料結構 CAI 教材設計，第九屆國際電腦輔助教學研討會(1)，227-233。
8. 謝麗菁 (民 83)，認知特質與訓練型態對資

訊系統使用對學習績效之影響—以文書處理系統為例，淡江大學資訊管理研究所碩士論文。

9. 簡綜男 (民 88)，互動式多媒體輔助教材在電腦教學之學習成效影響研究，中央大學資訊管理研究所碩士論文。

【英文部份】

1. Baker, R. S. (2000), PILOT: An interactive tool for learning and grading senior thesis, Presented, Technical Report, Dept. of Computer Science, Brown University.
2. Brown, M. H. (1984). A system for algorithm animations. *Proceedings of ACM SIGGRAPH '84*, pp.177-186, July 1984.
3. Brown, M. H. (1991). ZEUS: A system for algorithm animations and multi-view editing. *Proceedings of the 1991 IEEE Workshop on Visual Languages*, 4-9.
4. Brown, M. H. and Hershberger, J. (1992). Color and sound in algorithm animation. *Computer*, 25(12), 52-63, Dec.
5. Brown, M. H. and Najork, M. A. (1996).

- Collaborative Active Textbooks: A Web-based algorithm animation system for an electronic classroom. *SRC Research Report 142*.
6. Brown, M. H. and Raisamo, R. (1997), JCAT: Collaborative active textbooks using Java, *Computer Networks and ISDN Systems*, 29, 1577-1586.
 7. Byrne, M. D., Catrambone, R. and Stasko, J. T. (1999), Evaluating animations as student aids in learning computer algorithm, *Computer & Education*, 253-278.
 8. Hansen, S., Schrimpscher, D., Narayanan, N. H. and Hegarty, M. (1998), Empirical studies of animation-embedded hypermedia algorithm visualizations, *Technical Report CSE98-06*.
 9. Hopgood, F. (1974). Computer animation used as a tool in teaching computer science. *Proc. Of the 1974 IFIP Congress*, 889-892.
 10. Jarc, D. J. and Feldman, M. B. (1998), An empirical study of Web-based algorithm animation courseware in an ada data structure course, *Proceedings of the ACM SIGAda annual international conference on Ada technology*, p.68.
 11. Jarc, D. J. (1999), Assessing The Benefits of Interactivity and The Influence of Learning Styles on The Effectiveness of Algorithm Animation Using Web-based Data Structures Courseware, *The Department of Electrical Engineering and Computer Science of The George Washington University in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Science*.
 12. Kolb, D. A. (1985), *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
 13. Lawrence, A. W., Badre, A. M. and Stasko, J. T. (1994), Empirically evaluating the use of animations to teach algorithms, *IEEE*, 48-54.
 14. Marchionini, G. & Crane, G. (1994). Evaluating Hypermedia and Learning: Methods and Results from the Perseus Project. *ACM Transactions on Information Systems*, 12(1), 5-34.
 15. Pierson, W. and Rodger, S. H. (1998), Web-based animation of data structures using JAWAA, *Twenty-ninth SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education*, 267-271.
 16. Shyu, S. J., Tsai, Y. T. and Lee, R. C. T. (2000). A virtual classroom with algorithmic animation support, *Proceedings on the 8th International Conference on Computers in Education/International Conference on Computer-Assisted Instruction*, Taipei, Taiwan, Nov., pp.1296-1306.
 17. Shyu, S. J. (2001). Integrating interactive algorithm animations into a web-based learning environment, submitted for publication.
 18. Stasko, J. T. (1990). TANGO: A framework and system for algorithm animation. *Computer*, 23(9), 27-39.
 19. Stasko, J. T. (1992). Animating algorithms with XTANGO. *SIGACT News*, 23(2), 67-71.
 20. Stasko, J. T. (1997), Using student-built algorithm animations as learning aids, *Proc. ACM SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education, New York: ACM Press*, 25-29.