


東 海 大 學

工業工程與經營資訊研究所

碩士論文

數位學習中學習路徑之研究—  
螞蟻演算法之應用

The logo of the National Central Library is a circular emblem. It features the text "NATIONAL CENTRAL LIBRARY" around the perimeter. In the center, there are Chinese characters "國家圖書館" (National Central Library) and a stylized design.

研究生：黃韋中  
指導教授：王偉華 博士

中華民國九十五年六月

**Learning Path Construction in e-Learning  
-An application of Ant Colony**

By  
Wei-Chung Huang

Advisor: Dr. Wei-Hua Andrew Wang

A Thesis  
Submitted to the Institute of Industrial Engineering and Enterprise  
Information at Tunghai University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science  
in  
Industrial Engineering and Enterprise Information

June 2006  
Taichung , Taiwan , Republic of China

# 數位學習中學習路徑之研究-螞蟻演算法之應用

學生：黃韋中

指導教授：王偉華 博士

東海大學工業工程與經營資訊研究所

## 摘要

網際網路的興起，帶動了網路教學環境的快速發展。使得網路教學的學習型態，從原本的被動式教學轉變為主動式的教學模式。而這樣的教學模式中，延伸出許多網路教學的問題產生，如：學習迷失、學習者特質與控制、資訊豐富相對於認知負荷等問題。實際上，如果沒有妥善的去安排這些教材，當學習者面對這些教材的時候，往往眼花撩亂，不知道從何處開始學習，也因此造成學習迷失等問題產生。

根據國內外的研究顯示，透過學習歷程的分析方式，對於教材的編排與教學策略的制訂是一項不錯的參考價值，其中學習路徑及學習表現，可以提供教師作為評估學習成效及診斷學習困難的依據，這些都是非常有用且較真實的評量資料。然而面對真實的學習過程中，學習歷程的紀錄通常是片斷且不完整資料產生。本研究之目的即發展一系統化的機制架構，可將這片斷性的歷程資料進行分析，並從新的拼湊出一完整且最常瀏覽的學習路徑。

本研究提出的分析路徑架構，主要應用資料採礦的基本概念，將資料轉換成矩陣模式，並藉由螞蟻演算法的尋優方式，重新編排路徑。實驗分析主要以三種實驗為主，為單條路徑分析、多條路徑分析以及大量教材單元時的分析方式，並且探討面對網路行為上所面對的資料，如：直接連結、非直接連結、回溯連結、混合型連結，對此進行實驗的探討分析，藉由本研究所建立的分析機制可學習網路學習行為之結構。

**關鍵字詞：**網路學習、學習歷程、資料採礦、螞蟻演算法

# **Learning Path Construction in e-Learning**

## **-An application of Ant Colony**

Student: Wei-Chung Huang

Advisor: Dr. Wei-Hua Andrew Wang

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information  
Tunghai University

### **ABSTRACT**

The advent of the Internet has promoted e-Learning environments that facilitate the fast development. And the learning style of e-Learning environments has changed from the passive learning to active learning. But the changed learning style has emerged the problems. For instances, there are so many problems like the learning disorientation problems, the learning characteristics and controlled problems and the learning cognitive overloading problems. In fact, if we don't arrange the learning materials well, the students often get lost when they face the learning materials.

According to the related research, the analysis of learning portfolio has been proved to have good result in learning strategy and the arrangement of learning materials. Especially, the learning paths and learning activities can approve useful measurements of learning effectiveness and learning diagnosis. However, we will face the real case in the learning process, the records of learning portfolio are usually incomplete and flat. This research proposed a systemic method to construct the learning paths which are suitable for most students with the flat and incomplete data.

This research proposed the systemic method which is based on the data mining structure. We will transform the portfolio data into the matrix form, then use the ant system algorithm to construct the learning paths. First, we use single learning path to analyze four kinds of data , including direct connect , indirect connect, loop back connect, mixed connect. Also, we analyze the multi-paths and large materials of paths to get the structure of learning behaviors.

**Keywords:** e-Learning, Learning Portfolio, Data Mining, Ant System

## 誌謝

時光飛似，東海六年的生活一下子就過了，從大學四年及研究所兩年的訓練，經歷了許許多多的情節，歡笑、痛苦、悲傷、感動，令人難以忘懷。

首先，要感謝大學時代的啟蒙老師、研究所的指導教授王偉華老師耐心的指導，無論課業或做人處事態度，總是不厭其煩的提醒與叮嚀，讓我能夠持續地進步往前。

特別感謝潘忠煜老師及廖仁傑老師於口試期間所給予的建議與指正，使這篇論文能夠更加完備。

感謝研究室所有成員及一群好友們，陪我一同走過那段艱苦的日子，有歡笑也有淚水。

最感謝的還是我的家人、旭東哥、姑姑及女友，無論在精神上及經濟上為我默默的付出及陪伴，一直支持鼓勵著我。

感謝你們，感謝主，在此將喜悅的成果與所有的朋友一同分享！

黃韋中 謹誌於

東海大學工業工程與經營資訊研究所

智慧型系統研究室 ISRG

中華民國九十五年七月

# 目錄

摘要.....	i
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	ix
<b>第一章 緒論</b> .....	<b>1</b>
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究問題定義.....	2
1.3 研究目的與方法.....	3
1.4 論文架構.....	4
<b>第二章 文獻探討</b> .....	<b>6</b>
2.1 網路教學（e-Learning）.....	6
2.1.1 網路教學的介紹.....	6
2.1.2 傳統教學與網路教學的比較.....	7
2.1.3 網路教學的問題點.....	7
2.2 學習歷程（Learning Portfolio）.....	9
2.2.1 概念圖與學習路徑的介紹.....	10
2.2.2 學習路徑的定義.....	11
2.2.3 學習路徑的探勘項目.....	12
2.2.4 學習路徑的類型.....	13
2.3 知識挖掘與資料採礦.....	14
2.3.1 資料採礦模式.....	15
2.4 螞蟻系統（Ant System）.....	17
2.4.1 螞蟻系統介紹.....	17
2.4.2 螞蟻群落系統（Ant Colony System）.....	20
<b>第三章 研究方法</b> .....	<b>21</b>
3.1 資料範圍與問題假設.....	21
3.2 研究工具.....	22
3.3 研究機制建立.....	22
3.4 已知模式歷程資料.....	24
3.4.1 步驟一：資料處理.....	24

3.4.2 步驟二：資料轉換.....	26
3.4.3 步驟三：矩陣分析模式.....	27
3.4.4 步驟四：路徑分析.....	29
3.4.5 步驟五：模式比對.....	34
3.5 相似性分析.....	34
<b>第四章 實驗驗證.....</b>	<b>37</b>
4.1 網路上的行為模式.....	37
4.2 單條路徑分析.....	40
4.2.1 直接連結分析.....	41
4.2.2 非直接連結分析.....	45
4.2.3 回溯連結分析.....	49
4.2.4 混合型連結分析.....	53
4.3 多條路徑分析.....	57
4.3.1 兩條路徑分析（混合型連結）.....	58
4.3.1 三條路徑分析（混合型連結）.....	63
4.4 大量教材分析.....	69
4.4.1 單條路徑分析.....	70
<b>第五章 結論與未來研究方向.....</b>	<b>83</b>
5.1 結論.....	86
5.2 未來研究方向.....	86
參考文獻.....	88

## 表目錄

表 2.1 傳統教學與網路教學比較表 .....	7
表 3.1 學習歷程片斷資料集 .....	24
表 3.2 教材單元項目轉換物件代碼之片斷資料集 .....	24
表 3.3 次數單元 .....	25
表 3.4 片斷資料轉換 .....	26
表 3.5 路徑次數矩陣 .....	27
表 3.6 虛擬點矩陣 .....	28
表 3.7 網路圖矩陣 .....	28
表 3.8 矩陣分析模式 .....	29
表 3.9 路徑矩陣 .....	34
表 3.10 幾種向量空間的相似度量測定義 .....	35
表 4.1 100 筆直接連結的片斷性資料 .....	41
表 4.2 次數單元 .....	42
表 4.3 路徑次數矩陣 .....	42
表 4.4 虛擬矩陣 .....	42
表 4.5 網路圖矩陣 .....	43
表 4.6 矩陣分析模式 .....	43
表 4.7 路徑次數資料 .....	44
表 4.8 100 筆非直接連結的片斷性資料 .....	45
表 4.9 次數單元 .....	46
表 4.10 路徑次數矩陣 .....	46
表 4.11 虛擬矩陣 .....	46
表 4.12 網路圖矩陣 .....	47
表 4.13 矩陣分析模式 .....	47
表 4.14 路徑次數資料 .....	48
表 4.15 100 筆回溯連結的片斷性資料 .....	49
表 4.16 次數單元 .....	50
表 4.17 路徑次數矩陣 .....	50
表 4.18 虛擬矩陣 .....	50
表 4.19 網路圖矩陣 .....	51



表 4.20 矩陣分析模式 .....	51
表 4.21 路徑次數資料 .....	52
表 4.22 100 筆混合型連結的片斷性資料 .....	53
表 4.23 次數單元 .....	54
表 4.24 路徑次數矩陣 .....	54
表 4.25 虛擬矩陣 .....	54
表 4.26 網路圖矩陣 .....	55
表 4.27 矩陣分析模式 .....	55
表 4.28 路徑次數資料 .....	56
表 4.29 150 筆混合型連結片斷性的資料 .....	58
表 4.30 次數單元 .....	59
表 4.31 路徑次數矩陣 .....	59
表 4.32 虛擬矩陣 .....	60
表 4.33 網路圖矩陣 .....	60
表 4.34 矩陣分析模式 .....	60
表 4.35 路徑次數資料 .....	61
表 4.36 150 筆混合型連結片斷性的資料 .....	63
表 4.37 次數單元 .....	64
表 4.38 路徑次數矩陣 .....	64
表 4.39 虛擬矩陣 .....	65
表 4.40 網路圖矩陣 .....	65
表 4.41 矩陣分析模式 .....	65
表 4.42 路徑次數資料 .....	66
表 4.43 150 筆混合型連結片斷性的資料 .....	70
表 4.44 次數單元 .....	71
表 4.45 路徑次數矩陣 .....	71
表 4.46 虛擬矩陣 .....	72
表 4.47 網路圖矩陣 .....	72
表 4.48 矩陣分析模式 .....	73
表 4.49 路徑次數資料 .....	74
表 4.50 路徑的片斷資料為 500 筆 .....	78
表 4.51 次數單元 .....	79

表 4.52 路徑次數矩陣 .....	80
表 4.53 虛擬矩陣 .....	81
表 4.54 網路圖矩陣 .....	81
表 4.55 矩陣分析模式 .....	82
表 4.56 路徑次數資料 .....	83

## 圖目錄

圖 1.1 本研究架構圖 .....	5
圖 2.1 知識挖掘的流程 .....	15
圖 2.2 螞蟻之移動行為模式 .....	18
圖 3.1 研究機制流程圖 .....	23
圖 3.2 ACS 步驟流程 .....	31
圖 4.1 實驗驗證的研究架構圖 .....	40
圖 4.2 路徑結構 .....	43
圖 4.3 已知路徑結構 .....	44
圖 4.4 本研究方法建立之路徑結構 .....	44
圖 4.5 路徑結構 .....	47
圖 4.6 已知路徑結構 .....	48
圖 4.7 本研究方法建立之路徑結構 .....	48
圖 4.8 路徑結構 .....	51
圖 4.9 已知路徑結構 .....	52
圖 4.10 本研究方法建立之路徑結構 .....	52
圖 4.11 路徑結構 .....	55
圖 4.12 已知路徑結構 .....	56
圖 4.13 本研究方法建立之路徑結構 .....	56
圖 4.14 路徑結構 .....	61
圖 4.15 已知路徑結構 .....	62
圖 4.16 本研究方法建立之路徑結構 .....	62
圖 4.17 已知路徑結構 .....	62
圖 4.18 本研究方法建立之路徑結構 .....	62
圖 4.19 路徑結構 .....	66
圖 4.20 已知路徑結構 .....	67
圖 4.21 本研究方法建立之路徑結構 .....	67
圖 4.22 已知路徑結構 .....	67
圖 4.23 本研究方法建立之路徑結構 .....	67
圖 4.24 已知路徑結構 .....	68
圖 4.25 本研究方法建立之路徑結構 .....	68

圖 4.26 路徑結構.....	73
圖 4.27 已知路徑結構.....	75
圖 4.28 本研究方法建立之路徑結構.....	75
圖 4.29 2000 代的路徑結構.....	76
圖 4.30 3000 代的路徑結構.....	77
圖 4.31 路徑結構.....	82
圖 4.32 已知路徑結構.....	84
圖 4.33 本研究方法建立之路徑結構.....	84
圖 4.34 已知路徑結構.....	84
圖 4.35 本研究方法建立之路徑結構.....	84
圖 4.36 已知路徑結構.....	85
圖 4.37 本研究方法建立之路徑結構.....	85

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

近幾年來，由於資訊科技的進步以及網際網路（Internet）的快速發展，藉由全球資訊網路（World Wide Web，WWW）來整合網路科技與教學活動的各式各樣的遠距教學系統或是電腦輔助學習課程，正迅速的發展建構中。網路學習打破了傳統學習者必須要到固定地點與時間的限制，更讓學習者有彈性的時間去上網學習；這樣的學習也改變了學習型態，使得許多教育理論可以方便地落實在網路的教學環境之中；而教師在傳統教學中所扮演的角色與在網路學習環境中的角色，由原本以教學為主要任務轉向為一個激勵者、引導者；對於學習者，也從被動的學習模式，轉變為主動式學習模式（陳鴻基，2000）。

雖然，網路上充斥著各式各樣的學習教材內容，看似豐富璀璨，在這背後也衍生了許多問題存在，如：迷失（disorientation）問題、學習者特質與控制問題、資訊豐富相對於認知負荷（cognitive overload）等問題點產生（楊家興，1993；顏榮泉，1996）；實際上，如果沒有妥善的去安排這些資料的呈現，仔細去分析規劃，學習者能夠得到的僅是一堆的資料（data）。當學習者面對這些資料的時候，往往眼花撩亂，不知道從何處開始學習，也因此造成學習效果不彰（陳志欣，2003）。

因此，有許多學者（Horney，1993；劉惠如，1999；蔡旻芳，2001；陳芸霽，2004）利用網路上所記錄下來的學習歷程（learning portfolio）作為分析。透過網路數位學習的最大優點不但打破了時空的限制，讓教師與學生可以在網路上進行與傳統教學相近的教與學活動。其最大的好處是可以在不影響學生進行學習的情況下，方便的記錄所有與學生相關的學習歷程。對教師而言，這些學習資訊除了可以用來檢視學生的課程表現及學習情況外，亦可做為教師在教材編排、教學策略製定及教學活動設計之參考（劉惠如，1999）。

而這些學習歷程包含：瀏覽的次數、時間、網頁位址及所瀏覽的學習單元等。但是這些學習記錄無法直接給予教師與學生有意義的資訊，必須經由繁複的步驟來轉換這些大量的網頁日誌（Web Log），才能夠找出具有教學意義的學習資訊（蔡旻芳，2001）。許多關於網路教學的研究顯示記錄

學生的學習路徑及學習表現，可以提供教師作為評估學習成效及診斷學習困難的依據，這些都是非常有用且較真實的評量資料（童宜慧、張基成，1996；蔡孟勳，2000），然而一個整合性的分析機制，可以提供教師來觀察學生在課程進行過程中的學習歷程資訊，並提供整體性的學習資訊讓教師做為輔助教學策略時的依據之相關研究就顯得非常的重要（劉晨鐘，2000）。因此，如何從大量的學習行為紀錄中系統化的擷取出有用的學習路徑，便是一項挑戰。

## 1.2 研究問題定義

由於網路化學習難以像傳統教室學習一樣，可直接的當面觀察學習者的學習狀況，欲觀察學習者在網站上的行為資料，必須依賴伺服器上的記錄檔。但是，現實環境中的網路紀錄過程，並非是完整的學習歷程資料，通常是以片斷且多次的學習行為所建置而成的紀錄；舉例來說：學習者並非一次就學習了全部的單元教材，可能是由許多次的學習過程中，才完成全部的學習單元。而學習者是經由有次序的學習片斷，瞭解定義於某主題的課程內容而達成學習的功能（劉明洲，1999；Jonassen, 1988）。然而，面對這片斷的歷程資料中，如何編排出一引導學習的學習路徑資料便是一項重點。

因此，本研究針對上面所面臨的問題提出分析機制，可由片斷性的歷程資料中，重新連結出一學習者在學習過程中的學習路徑，並分析出一完整的學習路徑，作為老師與學習者在教學上與學習過程中的參考依據，並藉由學習路徑的規劃，減少在網路學習上常發生迷失的問題；而如何從網路上學習的行為下，編排出一個符合學習者需求的學習路徑是本研究所需要探討的。

就上述問題背景及定義，本研究將就下列幾點進行探討：

- 1.如何建立一合適的分析機制，探討網路上學習者所建立的歷程資料。
- 2.當面對歷程資料不完整、且片斷的資料模式時，如何建置出可行的分析機制。
- 3.當面對不規則的行為模式時，系統是否可行的分析出路徑模式。

### 1.3 研究目的與方法

本研究目的為建立一學習路徑分析機制，並應用資料採礦技術的概念，提出本研究所建立的分析機制，尋找出學習者的最常瀏覽的學習路徑模式，提供老師與教材的編排人員一個參考的分析機制。而在研究的機制上，利用矩陣模式的方式建立與轉換，並以螞蟻演算法求解尋找出路徑模式。而本研究主要是以實驗性（empirical）的分析為主，探討不同情況下所發生的資料形式，是否可以尋找出存在的學習路徑模式，以驗證本研究所提出的分析機制之可行性。

研究目的條列如下：

1. 提供一個系統化制定學習路徑之資料分析架構。
2. 透過本研究的機制可以提供老師或是課程編排人員對於教材編排方式的參考依據，達到網路學習的適性化之目標。
3. 由歷史資料面分析學習者行為，可以提供老師從不同觀點來了解學習者的行為模式。
4. 提供學習者一個建議的引導之路徑，以減少不必要學習迷失。

本研究將以下列四個階段，分別為文獻探討、機制建立、實例驗證及論文撰寫，詳細說明如下：

#### 1. 文獻探討部分

首先介紹網路教學的種類、與傳統教學的比較以及網路教學所面臨的問題點，並且探討在網路教學中的學習歷程資料，接著介紹概念圖與學習路徑的關係與學習路徑的相關研究，而在下節介紹資料採礦的介紹；最後，介紹研究的方法工具，螞蟻演算法，作為搜尋路徑的工具。

#### 2. 機制建立

首先將介紹本研究機制流程與步驟，本研究機制步驟為利用矩陣模式的建置與轉化，並利用螞蟻演算法進行模式分析，尋找出使用者最常瀏覽的路徑，最後在路徑尋找出路徑的切割點，做細部修正。並以MATLAB程式軟體為工具加以實現。

#### 3. 實例驗證

經過實驗設計來觀察所本研究所提供的研究機制是否正確，並且由機制所建構出之資料結構與資料模式與原本已知的模式與資料做相似性比較，並且利用直接連結資料、非直接連結、回溯連結、資料含有雜訊、多條路徑及大量教材單元等問題下的情況，測試本研究所建立的機制分析。

#### 4. 論文撰寫

經過前面幾個步驟，最後運用系統化的方式，將其整理並撰寫成論文。

### 1.4 論文架構

本篇論文架構共分為五章，如下圖 1.1 所示。第一章，說明研究背景、研究動機與目的以及研究範圍與假設。第二章，探討相關文獻，分析網路教學、學習歷程、資料採礦、螞蟻演算法。第三章，依據本研究目的與文獻探討，提出本論文之研究方法與架構，說明各個研究步驟之相關性。第四章，實驗設計與案例驗證，並由設計規劃提出學習路徑建議組合。第五章，結論與未來發展方向。



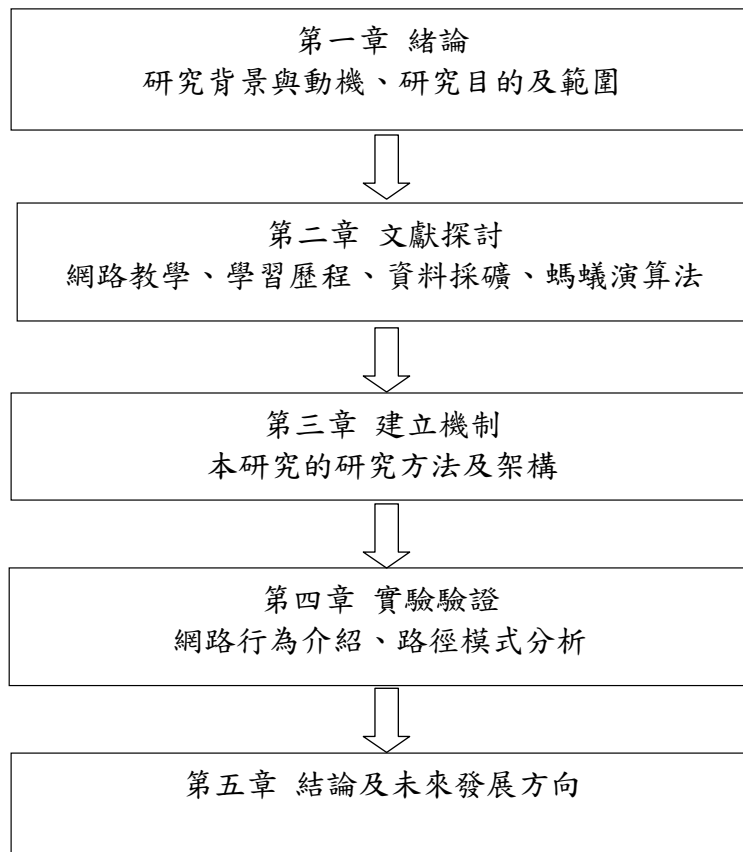


圖 1.1 本研究架構圖

## 第二章 文獻探討

本章節將以四個主題來分別敘述本論文所使用到的研究文獻。首先在2.1節介紹目前網路教學的介紹、與傳統教學的比較以及網路教學所遇到問題點。接著在2.2節介紹學習歷程、學習路徑與相關研究。在2.3節介紹資料採礦基本概念。最後，在2.4節介紹螞蟻演算法的基本原理與步驟，以螞蟻演算法找尋出學習路徑之模式。

### 2.1 網路教學 (e-Learning)

#### 2.1.1 網路教學的介紹

所謂「網路教學」就是將教學與網際網路結合在一起的教學方式，它利用了網際網路的無遠弗屆、無限資源的特性所營造出另類的學習與教學環境（陳品仲，2002）。而這樣的學習環境，使得原本以教師及課本為教學中心的教學活動逐漸轉變為學生自主學習的模式，教師從知識的傳授者轉型成知識提供者及輔導的角色（陳鴻基，2000）。

而透過網路實行教學的模式，早在1989年之時，便已有Roger等人利用電子佈告欄及電子郵件的方式，建構了一個文字模式的簡易溝通學習環境（Lenin *et al.*, 1989）。1995年自WWW興起後，由於它具有各種多媒體的效果及自由靈活的超鏈結（hyperlink）能力，可將散佈在世界各地的資源加以整合，因而有許多專家學者紛紛將WWW這項科技應用在教學上，使得網際網路上的遠距教學發展有了很大的進步，而使得網際網路開啟了網路教學的新世代。

而網路教學的應用方式，針對不同的族群與不同的內容，在實行上也採用不同的方式，而目前最常見的模式包括同步網路教學與非同步網路教學兩種：

#### 1、同步網路教學：

同步網路教學強調的是一種即時的資訊傳輸，意即所有參與學習的人員（包括傳送者與接收者）必須在同一時間透過傳輸系統產生互動。例如：虛擬教室中的線上即時討論、視訊會議。

## 2、非同步網路教學：

將學習內容長時間放置在教學網站上，使用者不受時間與地點的限制，隨時可上網學習獲取新知稱為非同步網路教學，這也是目前網路教學中最常用的方式。

### 2.1.2 傳統教學與網路教學的比較

隨著網際網路的蓬勃發展，人們的學習習慣也從傳統的教學方式，轉變成多元化的網路互動學習，學習的環境也漸漸地由真實的世界，轉換到網路化的虛擬世界。網路教學的網站興起，不但可以突破傳統學習區域的限制、師生間的同步學習，更可以依自己的學習進度，來調整學習的課程內容。

以下就不同觀點來加以比較傳統教學與網路教學的差別（顏龍源，1996；巫靜宜，2000）：

表 2.1 傳統教學與網路教學比較表

	傳統教學	網路教學
時間	必須同步進行	可同步進行或非同步進行
空間	必須在同一地點	在任何地點都可進行學習活動
學習態度	學習者為被動的授予知識	學習者為主動學習
合作學習	以同時同地的方式進行	可不同時不同地進行，學生的回饋可以與其他學習者交流
學習路徑	單一的學習路徑	有多種的學習路徑可供學習者選擇
教材呈現	老師操作示範、課本指引	網路線上教材閱讀
教學媒體或工具	三槍投影機、板書、電腦	電腦、網頁瀏覽器
進度控制	老師教學並控制進度	學習者依自己進度來學習
課堂參與	課堂點名及討論	上網記錄與網路討論

### 2.1.3 網路教學的問題點

在目前許多資訊科技應用於教學上的實地研究中已經發現，儘管網路教學越來越普及，但現階段在執行上仍然存在許多尚待克服的問題，我們將這些問題因素歸類如下：（楊家興，1993；顏榮泉，1996）

（一）初學者網路迷失的問題（disorientation）

超媒體中的知識是透過超鏈結來呈現的，如果鏈結沒有適當的組織、彙整，學習者將無法整合知識內容，將使自己迷失在超媒體的知識架構中。因為超媒體本身是一種非線性的文件組合，當學習者對其所在的位置與方向失去概念的時候，就稱之為迷失。所以，超媒體提供過多的鏈結，也可能造成學習者無法及時處理大量的資訊，導致迷失現象產生（Beasley & Waugh, 1996; Riding & Cheema, 1991）。

## （二）學習者特質與控制問題

超媒體的特性是賦予學習者充分的控制權，如果沒有教師能明確地提示教學目標，而學習者又缺乏妥善的認知策略，將會導致學習者漫無目標的學習。當學習者缺乏學習動機或不具備良好的認知策略時，並不適合供給學習者太多的控制權（Relan, 1995; Borsook & Higginbotham-Wheat, 1991）。學習者無法妥善控制自我學習的主要原因是（Hannafin & Colamaio, 1987）：

1. 對此知識領域不夠熟悉，無法採用適當的學習內容及策略。
2. 缺乏適當的認知策略，以應用其舊有的經驗及知識。
3. 欠缺後設認知的能力，無法正確評量及預測自己的進度。

Borsook 與 Higginbotham-Wheat（1991）則認為給予學習者過多的控制，會造成「太多選擇徵候群」，反而阻礙了人機互動的效果。反之，若完全由電腦來控制學習路徑，亦會降低人機之互動。唯有視學習者的程度（包括對該知識領域的熟悉度及後設認知的能力等），適當地平衡人和電腦之間所主導的學習控制，才能達到最好的效果。因此，學習控制權，應是學習者以其表現所爭取而來的；也就是說，學習控制權，應視學習者表現的增長，再逐步授予其權限。

## （三）資訊豐富相對於認知超載（Cognitive overloading）

網路教學雖然提供了豐富的資訊內容，但是人類處理資訊的能力是有一定限度的；即無法同時處理大量的刺激來源。如果學習者無法即時有效地處理探尋到的資訊，將會因資訊過多而造成短期記憶的負荷過重，導致學習者無法適當地組織與整合知識，造成學習者的負擔，這就是所謂的認知超載（Heller, 1990）。

而對於認知超載，可分為兩種：1. 內在的認知負荷（Intrinsic cognitive

load) 是材料本身的特性造成的。因為教材本身的困難度很難因為教學設計的改良而變得容易，故不易由教學設計來改變。2. 外在的認知負荷

(Extraneous cognitive load) 是指因教材設計和內容編排方式、或教學活動的本身，而造成學習者的負荷。此種負荷是額外增加的，因此可以藉由教學設計的改良而降低。

上述的所列的問題當中，本研究所著重的以減少學習者迷失的問題為主，因為一旦學習者產生迷失，則另兩個問題將隨之發生(Jonassen, 1988)。所以，從事教學的實務工作，必須思考和探討不同媒體的特殊屬性，如何引導學習者走出「不見即不識」(out of sight & out of mind) 的迷失，才能充分發揮該媒體的功能，以及降低學習迷失，提昇學習的成效。

而如何降低學習者之學習迷失已是網路學習上的一個相當重要之課題，因此，已有多學者(劉惠如，1999；蔡旻芳，2001；陳芸霈，2004) 利用網路上所記錄下來的學習歷程(learning portfolio) 作為分析，作為提供教材設計和內容編排方式已有不錯成效。故在2.2節中會有所探討何謂學習歷程，並藉由此分析建立一引導學習者的路徑，減少學習者在網路學習上的迷失。

## 2.2 學習歷程 (Learning Portfolio)

學習歷程(learning portfolio) 一詞，有些學者將其譯為檔案、卷宗、個人作品選集及學習歷程檔案(蔡孟勳，2000；蔡旻芳，2001)。學習歷程為經過一段時間的有目的地收集工作成果的範例(Smith & Tillema, 1998)。而學習歷程的應用，已成為近年來教育上新興的發展趨勢之一，它以特定的目的或用途來收集學習者學習過程中各面向的資料，以反應或顯現學習者的真實表現及進步或改變的情形。在傳統教學裡學習歷程記錄所遭遇的主要困難在於資料的儲存、搜尋及管理不易。然而透過網路並結合資料庫的方式就可以有系統的記錄學習歷程。一般而言，學習檔案的類型大致上可以分為三種型態(Shores *et al.*, 1998)：

### (1) 私人記錄 (The Private Portfolio)

學生過去的學習記錄(如：修課科目、先備知識等)或是基本資料(如：性別、年齡等)等有關其個人背景的資訊。

### (2) 學習記錄 (The Learning Portfolio)

學生學習期間的相關學習記錄，例如：學習者的學後成績、學習過程中的評量、學習時間、學習路徑等等。

### (3) 歷史記錄 (The Pass-along Portfolio)

結合前兩項學習歷程的整理，作為至下一個學習階段的私人記錄。

學習歷程檔案可以作為瞭解學習者對於某一特定領域的學習證據，或輔助教師未來進行教學策略的參考。有關這方面的研究大致上可分為兩類：第一類為利用 (Common Gateway Interface, CGI) 來記錄學習者學習歷程檔案，所謂的 CGI 程式是遵照 CGI 規格定義所設計出的程式，負責接收和回傳資料，常用於 Web 主機和使用者間的互動。舉例來說，許多 HTML 的網頁有包含表格，當按下確認按鈕後使用一個 CGI 程式來處理該表格的資料；另一類則是透過主機所產生的網頁日誌 (Web Logs) 來記錄學習者學習歷程檔案。

通常學習歷程經由分析轉換為有意義的資訊，對於老師作為教學評估成效事非常有用且較真實的評量成效，其中學習路徑的分析式一項重要的參考依據 (童宜慧、張基成，1996；蔡孟勳，2000)。

#### 2.2.1 概念圖與學習路徑的介紹

在一個學習課程的主題中，一般會包含許多的子主題，這些子主題彼此間可能會有不同的關係存在，例如具有前後關係或是相互關係，如果將這些彼此間相關連的子主題以一個樹狀結構來代表，在一個主題中，便可能同時會有數個小型樹狀結構出現，形成所謂的概念圖 (陳明傳、莊良寶，1998)。

學習者 (或教學者) 將教材單元或概念，以不同的概念節點 (concept node) 及各節點間的關係連結 (relation link) 亦會組成概念構圖。此構圖可以內隱於學習者心中，也可以外顯地用圖示的方式表現出來。概念構圖往往以一個或若干個「核心概念」為主題，再與其他相關的概念節點延伸連結，形成某一主題知識的結構圖。學習者透過對概念圖的自我建構與組織歷程，就是一種知識學習的過程 (劉明洲、林鴻龍，1999)。

類似於概念構圖由節點與連結所形成的架構，網際網路上之網頁呈現方式，也是由各節點之連結拓展而形成，就一網頁而言，它的內容可能是

由文字、圖形、聲音或影像等來呈現；但是就教學來定義，它可能是個教材、評量或者是學習活動等。只要加以做特別之約束或條件限制，所涵蓋的資訊便形成一個有組織的陳述或命題。教學內容若能經由分析與設計而嵌入良好設計的網頁架構中，便能使學習者在規劃好的路徑中進行有效的學習，此「有效」係指具有學習成效，並且在網頁間的連結是「連接到該去的網頁，阻斷不該去的網頁」。

由上述可知所謂「路徑」係指類似於概念構圖由節點與連結所形成的架構，網際網路上之網頁呈現方式，也是由各節點之連結拓展而形成。而「學習路徑」就是學習者瀏覽網頁時，由其學習歷程所建構出來的拓撲。

### 2.2.2 學習路徑的定義

就目前學習路徑的定義，尚未定義的很清楚，本研究整理下面幾位學者的相關研究：

許永洲（1989）在其研究中，定義其學習路徑（learning path）為主題之下各單元間，可達成有效學習之各種順序選擇。而曾憲雄與蔡昌均的研究中（1999），認為教材呈現上必須經過處理而能提供結構化資訊，並藉由這種結構化資訊，協助調整教材的學習導引圖（learning map）讓學生進行循序式的自我學習。在學習導引圖中包含許多節點，在一個問題中，可能會同時擁有多條解題路徑，以此所構成學習導引圖；並且包含三種學習導引圖的模式：直接解答路徑、可靠解答路徑和不可靠解答路徑。

劉明洲等人（1999）認為學生在學習領域內有兩種學習路徑可供選擇：引導的路徑（the guided path）與學生控制路徑（the learner controlled path）。引導的路徑由設計者指定，引導學生走過學習領域以達到設計目標；學生控制路徑可由學生自定學習目標，並由自己走過學習領域以達到這些學習目標。

劉明洲等人（1999）並且對網頁架構特色分析，對於實現學習理論之網頁適性化歸納出一些條件：

#### 1. 網頁內容可視為一學習片斷或一知識概念（concept）的呈現

透過網頁呈現次序的設計與安排，可以提供學生去完成一較完整的基礎認知程序。獨立的概念尚不足以形成單一具體學習單元，事實上，學生是經由有次序的學習片斷，瞭解定義於某主題的課程內容而達成學習的功

能。這樣的機制可由超連結串接特定網頁節點所構成的概念圖（concept map）來加以呈現，而這樣的超連結路徑須足以發展成一段學習路徑（learning path）。

2. 概念圖間必須經由某節點出發，進入概念圖的另一節點學習另一個單元，透過超連結，形成另一種學習路徑，是概念圖內學習路徑的延伸。

3. 提供分歧式學習機制，給予學生較自由的非預設路徑選擇

隨著學生需求的改變，可以隨時跳離某個節點，進入另一個選定的節點，以提供分歧式學習（branch style learning）機制，給予學生較自由的非預設路徑選擇。不過，這種機制會明顯地使得系統變的複雜，產生回溯（loop back）或跳前（skip），無法單由預設路徑線性前進（linear advance）來分析路徑。

4. 網頁須提供深入（說明）型及擴充（補充）型的學習路徑

深入型路徑針對某學習片斷引導進入子層次（sub-layer）的詳細說明（explaining），這詳細說明亦以一概念圖來呈現。擴充型路徑針對某學習片斷提供補充或進階的內容，也適用概念圖來呈現。

5. 須掌握網頁的特性，或賦予網頁充足的定義，以滿足對各個概念或概念圖的規劃，追蹤、評量、紀錄等。

### 2.2.3 學習路徑的探勘項目

通常網路教學系統中，探勘的項目都可以看出欲分析學習者的學習路徑，所須記錄以供探勘的項目應包含下述各項：

1. 瀏覽者：學習者的使用帳號（或用戶ID）。

2. 瀏覽的網頁：學習者在網站中所瀏覽過的網頁。網頁本身是一概念節點，除了是學習者與教材的介面，也是整個適性學習流程的停留點（learning station），這個停留點受到系統的充分監督、記錄，便可累積成一學習路徑記錄（profile of learning path）（劉明洲等人，1999）。

3. 總滯留時間：學習者在網路課程總共停留瀏覽的時間，可看出使用者學習時間的長短，以了解每一位學習者在學習上所作的努力。

4. 每一網頁被瀏覽的時間：學習者在每一網頁單元停留閱覽的總時間，可看出學習者在該網頁單元所花費瀏覽時間的多寡，以提供老師作為



補充教材的參考。

5. 網頁被瀏覽次數：學習者在每一網頁單元所停留閱覽的總次數，主要是提供學習者的瀏覽趨勢，以供教師作為教學時的參考。

#### 2.2.4 學習路徑的類型

不同的學習者在相同的網路教學課程上瀏覽學習時，因其個人的學習特性和需求會建構出不一樣的拓撲，也就是每位學習者都有其個人的學習路徑類型。

從Lawless 和Kulikowich使用的叢集分析研究中可以知道一般人在瀏覽網路上的網頁時可以分為資訊蒐尋 (information seekers)、特徵探索 (feature explorers)、和隨意超連結使用者 (apathetic hypertextusers) 等三種瀏覽路徑類型 (Lawless and Kulikowich, 1998)；但是在非同步網路教學的環境下，學習者的學習路徑又可分為哪些型態呢？學者Rada 和Murphy將瀏覽路徑分為兩種 (Rada, 1992)：

1. 先廣法 (breadth-first)：指使用者會先瀏覽同一階層的節點，之後再跳到下一階層繼續探索。
2. 先深法 (depth-first)：指使用者在樹狀結構的環境下依循著一個問題一路延伸探索下去。

依劉明洲等人 (1999) 在適性化學習網頁結構分析與設計的研究中，將其之分為下列幾種學習路徑：(劉明洲等人，1999)

1. C 型路徑：描述某一主題的關連概念節點，可以形成一概念構圖，小至一觀念之教導及說明，大至某一領域之學習經驗皆屬之。由主題概念上各節點之學習目標的逐次達成，才能完成一課程單元的學習活動。欲達成此目的，不同的構圖間必須提供適當的路徑，成為構圖的出口與入口通道，引導學習者進入下一個單元。這樣的構圖內或構圖間的學習路徑，乃是學習歷程的主軸 (main stream)，故稱為C 型路徑 (Concept)。C 型路徑上的節點可能會延伸出其它數個C 型路徑的分歧，可稱為「C 型分歧」，它提供不同領域所發展出來的不同學習路線。

2. E 型路徑：針對某節點做更深入的闡釋，即解釋型態的路徑，可稱它為E 型路徑 (Explanatory)。E 型路徑係走向一下層的概念構圖，這個構圖是對路徑的來源節點提供說明，或呈現更深入的內容。當然，如果需

要，由此E 型路徑延伸出來的構圖，可再往下一層延伸。E 型路徑所延伸出來的概念構圖內部仍然是C 型路徑，但一旦說明結束，必須由一E 型路徑折返原被說明的節點，形成一封閉路徑（closed path）。

3. X 型路徑：針對學習內容涵蓋面的補充，亦即更多擴張型的知識，定義另一種延伸，稱為X 型路徑（eXtensive），導向一用來補充單元內容之概念構圖，呈現較進階的相關課題。X 型路徑仍然是可再擴充，一種封閉的路徑。

4. J 型路徑：為了達成學習者能夠隨出隨進的分歧式學習效果，依學習者的需要，允許跳脫所停留的節點，進入另一個節點，形成一種非預設的J 型路徑（Jump）。

Horney（1993）指出，基於不同的技巧與使用目的，部分的學習者是以規律、線性的方式瀏覽，而部分的學習者是採非線性的方式，因此，非線性不應只被定義為超文件的特質或非循序性的文字，非線性更應是學習者如何使用文字的一種學習者特質的呈現。由此可知，超文件的意義並不在於其非線性的架構，而是在於不同學習者在超文件環境中所呈現的不同瀏覽型態。為了要建立一分析的路徑模式，故本研究以應用資料採礦分析方式，作為探討並提出一分析學習路徑的機制。

## 2.3 知識挖掘與資料採礦

知識挖掘（Knowledge Discovery in Database，KDD）是一連串的程序，根據Fayyad 等人（1996）對知識發掘的定義，知識發掘的步驟包括：先理解應用的領域與熟悉相關知識，接著建立目標資料集，並專注所選擇的資料子集；再由目標資料中作前置處理，去除錯誤及不一致的資料；然後作資料簡化與轉換的工作；再經由資料探勘的技術形成型樣、作迴歸分析或找出分類型態，最後經過解釋與評估成為有用的知識。由此可知資料採礦（Data Mining）是知識挖掘的核心，知識挖掘的整個流程包括有資料選擇、資料處理、資料轉換、資料探勘、以及說明與評估，如圖2.1。

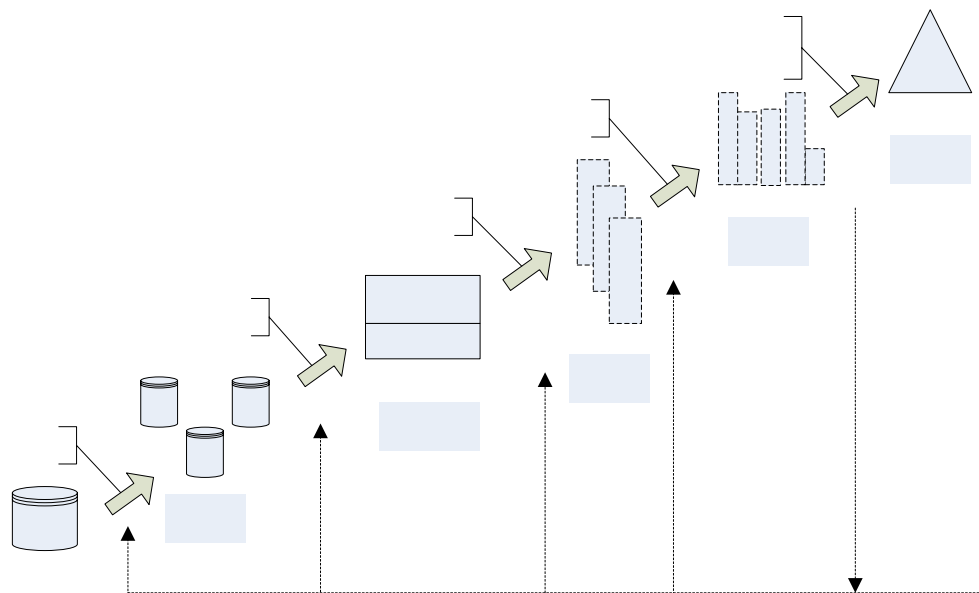


圖 2.1 知識挖掘的流程 (Fayyad *et al.*, 1966)

資料採礦是KDD 過程中相當重要的部分，而於資料整理的程序中有80%的時間用於資料準備與前處理，只有真正進行採礦的時間只佔20% (Agrawal *et al.*, 1993)。一般可應用之資料採礦演算法的三個要素為 (Fayyad *et al.*, 1996)：

1. 優先標準 (The preference criterion)。根據資料採礦的資料目標、範圍與特性不同，而設定所屬模式的限制。
2. 模式 (Model)。內含兩個關鍵因素：模式的方程式，例如：分類法、群聚法；模式表現法，例如：多變數之線性方程式、高斯機率密度函式。
3. 搜尋演算法 (Searching Algorithm)。

### 2.3.1 資料採礦模式

目前資料採礦較廣泛應用的模式方程式有以下數種 (Adriaans and Zantinge, 1996； Agrawal *et al.*, 1996； Fayyad *et al.*, 1996)：

1. 分類模式 (Classification)：依據事先定義的資料特徵屬性進行分類預測，即依據輸入變數的屬性數值經過計算判斷其分類。利用已分類的歷史性資料，經由訓練、模擬階段來建立分類器，完成之分類器可用於預測新資料所屬之類別，分類模式常應用於目標行銷、客戶保留、醫療診斷問題。

2. 迴歸模式 (Regression)：找出資料輸入與輸出變數之關聯性，用於預測或控制系統之輸出結果。輸入變數為資料特徵屬性，而輸出變數為資料對應之真實結果。

3. 群聚模式 (Clustering)：群聚模式，依據資料的特性分為若干個群組，並經過不斷的訓練與學習，會呈現群組的特徵。主要是呈現不同群組間之差異與群組內之共同特徵。分群模式與分類模式相異之處為，分群模式於事前不了解分類之根據。因此分群演算並不需事先定義分群的條件。只需針對現有資料，依據其機率密度分布或相似程度等進行分群，且須由領域專家解釋分群之結果。分群模式為非監督式 (unsupervised) 的學習，有別於分類模式或類神經網路 (Neural Networks) 的監督方式 (supervised)。因研究者無法從歷史資料中得到對應之真實結果，因此學習過程較分類模式漫長。

4. 關聯式分析 (Link analysis)：用來描述資料庫中欄位與欄位的關係 (項目間關聯性)，如應用關聯式法則於超級市場，找出已知交易記錄中各種銷售項目 (items) 之間的關聯性。在屬性 (attributes) 或項目組合 (itemsets) 的關聯探討中，主要著重在兩個要點：支持度 (support level) 和信賴度 (confidence level)。

5. 序列性分析 (Sequence analysis)：此模式是針對資料的順序關係進行採礦，例如在時間上的順序、行為上的順序等，而主要是希望能找出分析趨勢或順序的資訊。

資料採礦主要目的是要從龐大資料庫中自動的找出其中有意義或有用的資訊，而探勘所得的結果可以提供企業高層下決策時的參考。Chen 等人 (1997) 指出資料採礦是一種有效率的方法與整合技術，可以從資料中找出先前不知道，卻隱含於其中的有用資訊。而Cabena 等人 (1997) 定義資料採礦為「將潛在或原本不知道的資訊從大型資料庫萃取出來的過程，並將萃取出來的資訊提供主管做決定性的決策」。Cheung 等人 (1999) 指出資料採礦是一種協助企業組織透過相關的資料探勘技術，從資料庫、資料倉儲或其他資訊儲存體的大量資料中將以前從未發現但卻很有用的資料探勘出來的過程，以提供經營管理者做為決策時之參考。

而目前以全球資訊網為學習環境的教學系統，已提供一些教學管理的功能、學習歷程檔案的記錄、或是資料收集的機制等，儘管這些機制都可

以用來收集學習者的資料，且這些資料也包含瀏覽的次數、時間、網頁位址以及所瀏覽的學習單元等，然而，這些記錄元件大多只提供學習者的行為資料，沒有辦法直接分析出有用的學習路徑樣式。因此，如何從學習歷程資料庫中龐大的資料，本研究設計出一種有效的序列分析技術，來主動發掘出資訊元件間的順序關聯性，以便老師們能藉由所發掘出的學習路徑樣式來改善網頁課程的編排與流程，便顯得益加重要了。

## 2.4 螞蟻系統 (Ant System)

螞蟻系統 (Ant System, AS) 為Dorigo等人於1996年於國際文章首次發表，其理論基於自然界螞蟻外出覓食，並將食物有效分類的行為，應用於求解近似解的一種人工智慧啟發式解法 (Dorigo *et al.*, 1997)。而螞蟻演算法已被廣泛地應用於求解許多組合最佳化問題，如：旅行推銷員問題 (Traveling Salesman Problem, TSP)、排程問題 (Scheduling Problem)、... 等。原因是因為AS的搜尋方式很容易映射到最佳組合問題，也就是搜尋一串資料排列組合情形而找出最佳者 (劉昌憲，2003)；因此，本研究利用螞蟻演算的求解問題，來尋找出最佳的學習路徑編排方式。

### 2.4.1 蟻群系統介紹

AS的基本概念為自然界的螞蟻會離開巢穴尋找食物，藉由牠們自己本身所散發出來的特有化學分泌物—費洛蒙 (pheromone) 來幫助螞蟻在找尋食物時，能夠遺留下某些訊息給其他的螞蟻知道其尋找食物時曾經所走過的路徑。而自然界的螞蟻在經由不斷的搜尋食物的過程中，往往會遺留許多的費洛蒙，隨著越來越多的螞蟻走過相同的路徑時，此路徑的費洛蒙也隨之增加；相對的，其餘路徑的費洛蒙則會慢慢蒸發；最後螞蟻利用費洛蒙來找尋出離食物最近的相關路徑。而螞蟻理論就是利用模擬自然界螞蟻的搜尋方式，演化出一種人工螞蟻，進而代替一般的搜尋方法，進而達到搜尋最短路徑，如圖2.2所示：

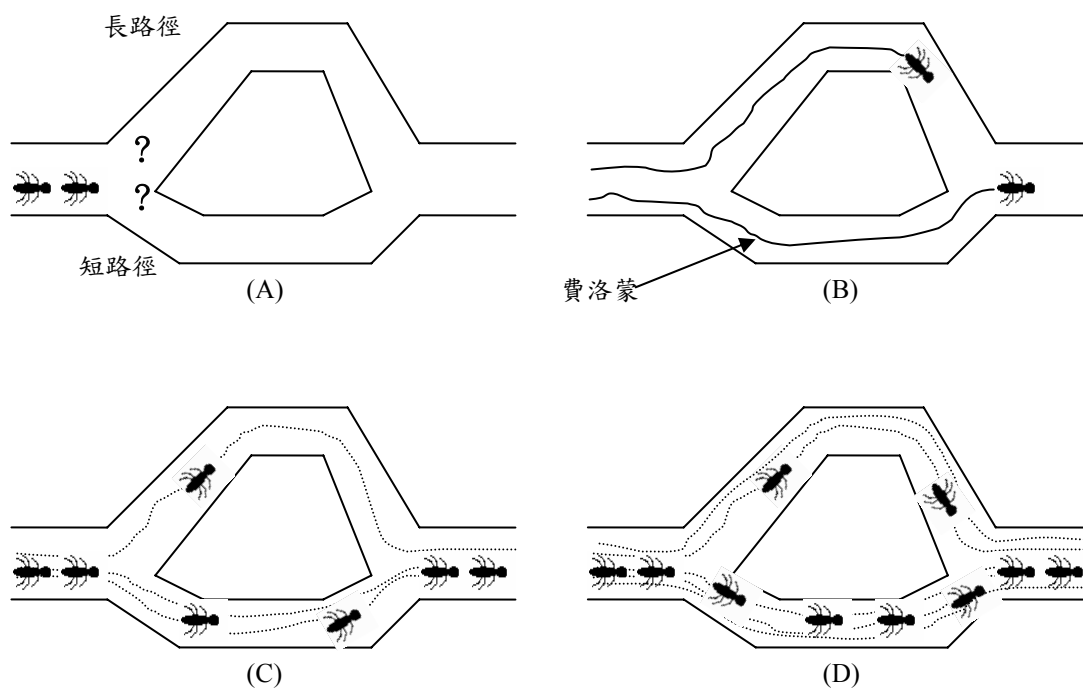


圖 2.2 螞蟻之移動行為模式

Dorigo 等人 (1997) 歸納出螞蟻演算法的步驟如下：

1. 初始設定 (Initialize)：在每一路徑上，設定相同的初始費洛蒙數量，並將人造螞蟻放至搜尋起始點上。
2. 設定記憶陣列 (tabu list)：將每一隻人造螞蟻的搜尋起始點加入其所攜帶的記憶陣列中。
3. 選擇路徑 (edge) 與結點 (town)：每隻人造螞蟻依據式 2.1 選擇要走的結點與經過的路徑，並移動至該結點上，將此結點加入記憶陣列中，重複此步驟直到填滿記憶陣列。

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k \in allowed_k} [\tau_{ik}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ik}]^\beta} & \text{if } j \in allowed_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.1)$$

其中，

$\tau_{ij}(t)$ ：在時間點  $t$  時路徑  $(i, j)$  上所殘留的費洛蒙數量

$\eta_{ij}$ ：路徑  $(i, j)$  的能見度 (visibility)，等於路徑  $(i, j)$  長度的倒數

$\alpha, \beta$ ：控制費洛蒙與能見度間相對重要性的參數

$p_{ij}^k(t)$ ：第  $k$  隻螞蟻從結點  $i$  要到結點  $j$  的轉移機率

4. 計算增加的費洛蒙強度 (intensity of trail)：依據記憶陣列之資訊，更新到目前為止所找到的最短總路徑；並計算出每一螞蟻在其搜尋的路徑上貢獻的費洛蒙大小，如式 2.2 與式 2.3。

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{if } (i, j) \in \text{tour described by } \text{tabu}_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.2)$$

$$\Delta \tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad (2.3)$$

其中，

$Q$ ：代表費洛蒙數量的常數

$L_k$ ：第  $k$  隻螞蟻所走的總路徑長度

$\Delta \tau_{ij}^k$ ：第  $k$  隻螞蟻殘留在路徑  $(i, j)$  上的每單位距離費洛蒙數量

5. 更新費洛蒙強度：依據式 2.4 更新所有路徑的費洛蒙強度，並使

$$\Delta \tau_{ij} = 0。$$

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij} \quad (2.4)$$

其中，

$\rho$ ：蒸發係數

6. 停止條件：如果尚未達到終止搜尋的條件，便清空所有的記憶陣列，回步驟 2 重覆進行以上步驟，否則得到此次搜尋的最短總路徑。

蟻群系統 (Dorigo and Gambardella, 1997) 可以分成三種，稱之為 Ant-density、Ant-quantity 與 Ant-cycle 三種，三種方式的差別在於軌跡密度值的添加方式與添加的量。若以添加方式來看，其中 Ant-density 與 Ant-quantity 演算法相同，採用螞蟻每做一次移動即添加軌跡密度值的方式。而 Ant-cycle 則當螞蟻走完所有城市後再做更新。

螞蟻演算法之特色為 (Dorigo et al., 1997)：

- 確實的回饋：能夠快速的發現新的起始解。

- 分散的計算：就是所謂的多點搜尋，能夠避免過早的收斂。
- 使用積極的貪心法則：能在發展起始解的時候，較早發現可接受解。

#### 2.4.2 螞蟻群落系統 (Ant Colony System)

螞蟻群落系統 (Ant Colony System, ACS) (Dorigo *et al.*, 1997) 與先前的AS在三個方面有所不同 (1) 所使用的轉移規則提供了較直接的方式，平衡廣度搜尋新的路徑 (exploration) 及深度搜尋之前曾找過的路徑 (exploitation)；(2) ACS只允許系統開始執行到目前為止，搜尋到最短路徑的那一隻螞蟻能夠對其尋得的路徑做費洛蒙強度的更新，可說是菁英策略的極致；(3) 在建構一個可行解時，當決定下一個欲走訪的城市並移動後，會依照區域性費洛蒙強度更新規則 (local pheromone updating rule) 來動態地更新費洛蒙強度，而非如AS只在每一循環結束後才更新路徑上的費洛蒙。

整體來說，ACS的蟻拓演算方式如下： $m$ 隻螞蟻依據初始規則 (e.g.隨機方式) 被放置在 $n$ 個城市中，且每隻螞蟻根據轉移函數機率值的大小決定下一個走訪的城市，以建構出一個可行解。此轉移函數與AS類似但不完全相同。在建構可行解的每一重複步驟中，每隻螞蟻會依據區域性費洛蒙強度更新規則 (local pheromone updating rule) 更新其走過路徑上的費洛蒙強度。當所有螞蟻皆完成一個可行解時，費洛蒙強度再次依據全域性費洛蒙強度更新規則 (global pheromone updating rule) 更新，但只更新目前最佳螞蟻所走過的路徑。在AS中，螞蟻依照啟發式資訊 (偏向是較短的路徑) 以及前人留下的費洛蒙強度來引導牠們完成一個可行解。由此特性可以發現，當一條路徑上留有大量的費洛蒙強度，將會使螞蟻趨之若鶩，因此在ACS中，設計區域性費洛蒙強度更新規則的主要目的是想辦法增加那些應該被螞蟻行走的路徑上的費洛蒙強度。



## 第三章 研究方法

網路化學習難以像傳統教室學習一樣直接的當面觀察學習者的學習狀況，因此，欲觀察學習者在網站上的行為資料，必須依賴伺服器上的記錄檔。然而，現實環境中的網路紀錄過程，並非完整的學習歷程資料，學習過程記錄常是以片斷且多次的資料形式而呈現。本研究針對此片斷性的紀錄問題提出分析機制，欲由片斷性的歷程資料中，重新連結出一學習者在學習過程中的學習路徑，提供老師與學習者在教學上與學習過程中的參考依據，並藉由學習路徑的引導，減少在網路學習上發生迷失的問題。

本章節將以三個主題來分別敘述所使用的研究方法與相關的假設條件。首先在3.1節定義資料範圍以及假設條件；接著在3.2節說明所使用的研究工具；在3.3節說明本研究的機制流程；3.4節中介紹流程步驟所使用的方法；最後，在3.5節中說明本研究的驗證比對，以相似性分析的說明。

### 3.1 資料範圍與問題假設

為了能驗證最終之可行性，本研究的驗證方法採用實驗組與對照組的方式進行。實驗組為本研究方法所建立之學習路徑結構，對照組為已知的學習路徑結構。並由已知的學習路徑結構中建立的資料集裡，這資料集為片斷的資料模式，以符合現實環境中學習者所產生的紀錄，藉由本研究所提供的研究機制，建構出學習路徑。

研究問題假設：

1. 本研究所建立的資料集合，假設為模擬出來的學習歷程資料集，而歷程資料的結構模式為已知的路徑結構，與路徑的起點為已知。
2. 學習歷程資料集為片斷的行為資料，且每一個資料節點（網頁），視為一個教學單元教材。
3. 在網際網路上的每個教材單元結構可相互連結，並有相互關係存在。
4. 學習的過程中，路徑為簡單路徑且有方向性的學習，且多人瀏覽的路徑結構視為一個較佳的學習路徑結構。

## 3.2 研究工具

本研究原始資料為Microsoft Excel的資料，在此先以Microsoft Excel作為轉換格式的工具，將處理過的資料輸入資料庫中，再匯入MATLAB做為各項研究步驟的輸入資料。程式平台架設於Windows XP Professional，先以MATLAB作為整合介面的工具。MATLAB應用軟體為一套應用於數值計算、數據視覺化及動態模擬的軟體，本研究程式當中的研究機制步驟將以MATLAB軟體來撰寫。

## 3.3 研究機制建立

為了驗證最終所產生的架構是否合適，本研究的驗證方法為利用已知路徑結構之學習歷程資料進行討論，應用本研究機制分式建構出路徑模式，最後利用相似性結構進行比較分析。

本研究之研究機制分為五大步驟：

步驟一、主要是資料處理，將收集來的資料將不必要的雜訊去除，以門檻值處理，並轉換為兩兩片斷的資料。

步驟二、為資料轉換，建制二維矩陣，將出現過的片斷資料填入二維矩陣中。

步驟三、為矩陣分析模式，建立虛擬矩陣並與二維矩陣相加建制出網路圖矩陣，並將網路圖矩陣轉化為相對瀏覽次數，作為矩陣分析模式。

步驟四、為路徑分析，將上步驟建立的矩陣分析模式進行分析，應用螞蟻演算法編排出最大次數的學習路徑模式。

步驟五、為資料模式比對，比對步驟二建制的路徑二維矩陣，將步驟三所建置出來的虛擬點的歷程資料剔除，檢驗是否有出多條的學習路徑結構。本研究的機制流程以下圖3.1來說明。

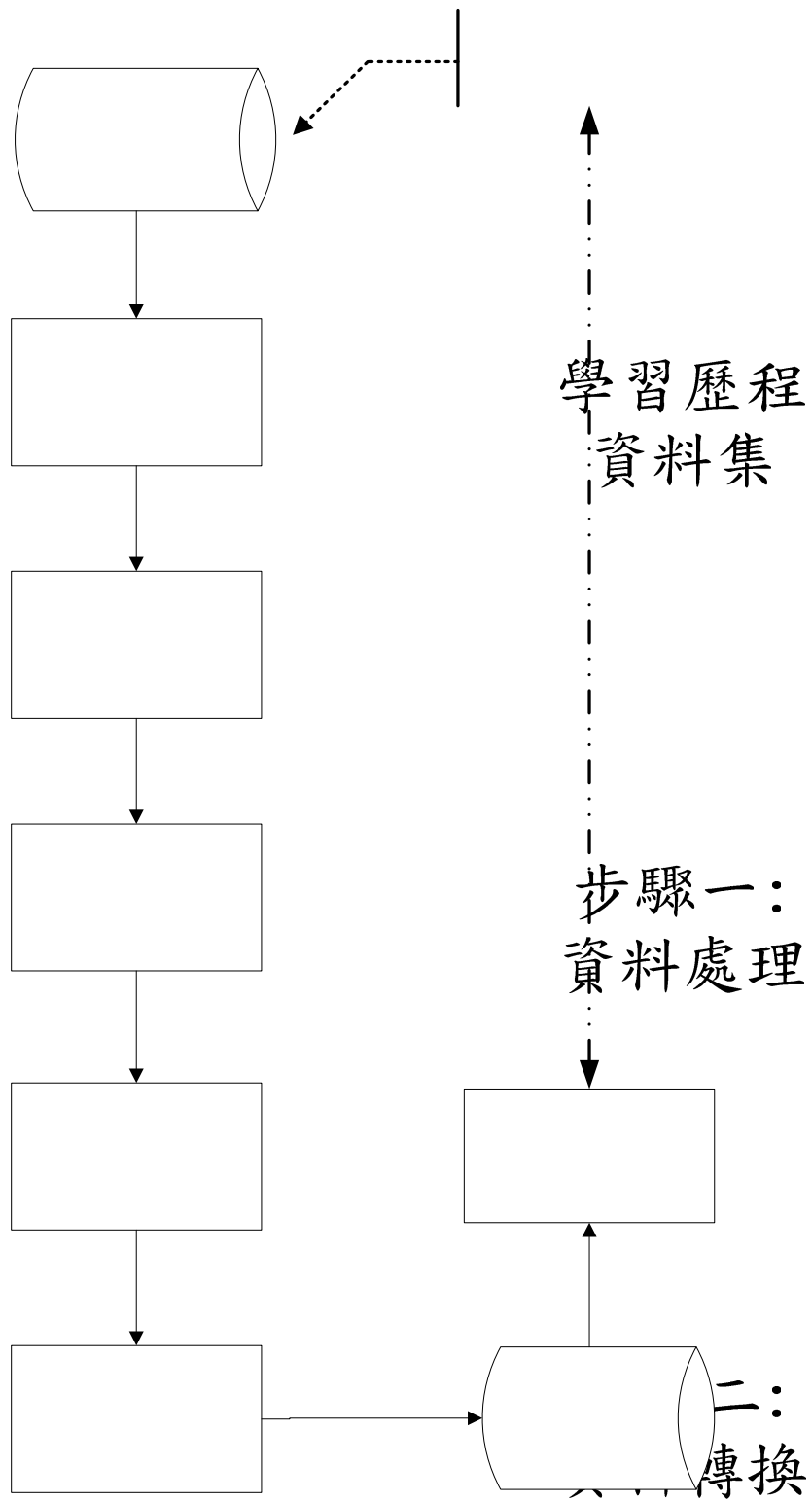


圖 3.1 研究機制流程圖

### 3.4 已知模式歷程資料

應用已知路徑學習模式進行討論。我們就以一簡單範例作為介紹，假設從已知模式中隨機產生的資料為 21 筆片斷資料，且起點為 D 是已知，而已知單條模式為 D-P-W-H-Q-J，如下表 3.1 所示學習歷程片斷資料集。

表 3.1 學習歷程片斷資料集

筆數	路徑紀錄	筆數	路徑紀錄	筆數	路徑紀錄
1	D-P-W-H	8	W-H-Q-J-A	15	P-D-J
2	W-H-Q	9	Q-J	16	P-D-W
3	Q-J	10	D-P	17	D-H-W
4	D-P-W	11	H-Q	18	Q-H-W
5	H-Q-J	12	W-H	19	P-W
6	P-W-H-Q-J	13	Q-H	20	D-P
7	W-H-Q	14	J-Q	21	W-H

#### 3.4.1 步驟一：資料處理

本研究的研究方法以數值資料 (numerical data) 作為分析，如遇到資料型態為種類別 (category) 時先做資料前的處理，轉換為數值作為分析，因此將教材單元轉換為物件代碼，如：教材 D 轉換為數值 1，教材 H 為數值 2，J 為數值 3，P 為數值 4，Q 為數值 5，W 為數值 6，A 數值 7；並將上述資料集轉換為物件代碼，如下表 3.2 所示：

表 3.2 教材單元項目轉換物件代碼之片斷資料集

筆數	路徑紀錄	筆數	路徑紀錄	筆數	路徑紀錄
1	1-4-6-2	8	6-2-5-3-7	15	4-1-3
2	6-2-5	9	5-3	16	4-1-6
3	5-3	10	1-4	17	1-2-6
4	1-4-6	11	2-5	18	5-2-6

5	2-5-3	12	6-2	19	4-6
6	4-6-2-5-3	13	5-2	20	1-4
7	6-2-5	14	3-5	21	6-2

由於在網路上所記錄的歷程資料中，所建立的資料並非是相同的格式，可能為多種的片斷資料格式，如：表 3-1 所示的路徑紀錄，因此在建置研究方法，必須先進行資料處理，而資料處理主要有兩部分，一、歷程資料的篩選；二、資料格式的統一。

### 一、歷程資料的篩選：

資料的篩選為將一些發生過少的教材予以去除。首先，將所有筆數的歷程資料計算出各個教材單元的發生次數，並經由門檻值的篩選。

定義門檻值為  $K$ 、最小支持度為  $S$ 、總資料筆數為  $I$ 、而最小支持度為資料筆數乘以門檻值  $S = I * K$ ，並低於最小支持度將視為雜訊不考慮此單元的分析，並將此教材視為不重要去除；由上表3.2中先將整理如下表3.3所示；因此，在此令門檻值  $K = 0.05$ ，而最小支持度  $S = 21 * 0.05 = 1.05$ ，也就是單元發生次數至少要發生2次。

表 3.3 次數單元

教材單元	1	2	3	4	5	6	7
次數	7	12	7	8	11	12	1

由表所知教材單元7的次數未過於門檻值，本研究視為不重要的因素並將路徑紀錄6-2-5-3-7並將教材單元7去除，使得路徑為為6-2-5-3。

### 二、資料格式的統一：

由於現實的環境中，片斷資料的格式並非是相同的，必須進行轉換為相同的資料格式；因此，將表3.1學習歷程片斷資料集進行資料格式的轉換，並將資料集轉換為兩兩片斷的資料格式；以上表3.1的資料為例：路徑1-4-6-2是由一連串的頂點1、4、6、2所組成，並且是有方向性的學習過程，將此路徑進行轉換為  $(1, 4)$ 、 $(4, 6)$ 、 $(6, 2)$  的型態；同理，其他片斷資料也是經由此步驟轉換而來，如下表3.4 片

斷資料轉換。

表 3.4 片斷資料轉換

1-4-6-2 轉換為 (1, 4) 、 (4, 6) 、 (6, 2)
6-2-5 轉換為 (6, 2) 、 (2, 5)
1-4-6 轉換為 (1, 4) 、 (4, 6)
2-5-3 轉換為 (2, 5) 、 (5, 3)
4-6-2-5-3轉換為 (4, 6) 、 (6, 2) 、 (2, 5) 、 (5, 3)
6-2-5 轉換為 (6, 2) 、 (2, 5)
6-2-5-3 轉換為 (6, 2) 、 (2, 5) 、 (5, 3)
4-1-3 轉換為 (4, 1) 、 (1, 3)
4-1-6 轉換為 (4, 1) 、 (1, 6)
1-2-6 轉換為 (1, 2) 、 (2, 6)
5-2-6 轉換為 (5, 2) 、 (2, 6)

### 3.4.2 步驟二：資料轉換

本研究方法的第二步驟為經由步驟一所建立的資料型態，進行轉換至矩陣型式，而矩陣大小為教材的單元數。矩陣型式的設計型式為  $N*N$  的矩陣， $N$  為教材篩選過後的教材的單元數。以步驟一所建立的範例為例，建立一個  $6*6$  的二維矩陣，並依據步驟一所轉換的兩兩片斷資料轉換為矩陣型式中，並建立路徑次數矩陣。

舉例來說：資料 (1, 4) 是由網頁 1 往網頁 4 前進，填入路徑次數矩陣中，而資料 (1, 4) 一共出現 3 次，因此在路徑次數矩陣中填入 3；同理，其他片斷也依續填入矩陣中，如下表 3.5 路徑次數矩陣。

表 3.5 路徑次數矩陣

<i>to</i> <i>from</i>	1	2	3	4	5	6
1	0	1	1	4	0	1
2	0	0	0	0	6	2
3	0	0	0	0	1	0
4	2	0	0	0	0	4
5	0	2	5	0	0	0
6	0	7	0	0	0	0

### 3.4.3 步驟三：矩陣分析模式

本研究的步驟三矩陣分析模式中，主要分為三部分：一、虛擬點矩陣的建立；二、網路圖矩陣建立；三、矩陣分析模式建立。

#### 一、虛擬點矩陣的建立：

為了符合網際網路上的網路連結因素探討，首先建立一個虛擬點矩陣，如下表3.6虛擬點矩陣，而虛擬點矩陣與教材節點的矩陣大小相同，將所有可能的網路教材節點連結在一起，因為在網路教材中彼此是有相互連結的關係。

#### 二、網路圖矩陣建立：

與步驟二建立的路徑次數矩陣加總，成為一完整的網路圖矩陣，完整的網路圖矩陣是為了考量網路上教材連結是有相連的結構存在性，目的是將所有連結串接在一起以便整理考量分析來做路徑分析步驟，如表3.7網路圖矩陣。

表 3.6 虛擬點矩陣

<i>to</i> <i>from</i>	1	2	3	4	5	6
1	0	1	1	1	1	1
2	1	0	1	1	1	1
3	1	1	0	1	1	1
4	1	1	1	0	1	1
5	1	1	1	1	0	1
6	1	1	1	1	1	0

表 3.7 網路圖矩陣

<i>to</i> <i>from</i>	1	2	3	4	5	6
1	0	2	2	5	1	2
2	1	0	1	1	7	3
3	1	1	0	1	1	1
4	3	1	1	0	1	5
5	1	3	6	1	0	1
6	1	8	1	1	1	0

### 三、矩陣分析模式建立：

網路圖矩陣經由轉換作為矩陣分析模式，以轉換為求最短路徑問題中的距離，進一步做出分析。

首先，定義相對瀏覽比率為  $RT$ ；網路矩陣的總次數為  $T$ ；各點間相互瀏覽的次數值為  $t$ ；而相對瀏覽比率為網路矩陣總次數除以各點相互瀏覽的次數  $RT = T/t$ ，其中對於瀏覽路徑中教材對於教材的瀏覽次數較多，代表相對瀏覽次數  $t$  值較高，經由相對瀏覽比率的換算，表示  $RT$  值越低，便表示  $t$  值越高。

舉例來說：將網路圖矩陣所建立的次數累加起來，也就是將  $(1, 1) + (1, 2) + \dots + (6, 5) + (6, 6)$  的次數累加起來，而網路圖矩陣的總次數為



$T = 0 + 2 + \dots + 1 + 0 = 66$ ，其中 (1, 4) 的瀏覽次數值  $t = 5$ ，因此 (1, 4) 的相對瀏覽路徑為  $RT = 66/5$ ，同理，其它的相對瀏覽路徑也是由次建置出來。因此建立一矩陣分析模式，如表3.8矩陣分析模式。

表 3.8 矩陣分析模式

<i>to</i> <i>from</i>	1	2	3	4	5	6
1	0	66/2	66/2	66/5	66	66/2
2	66	0	66	66	66/7	66/3
3	66	66	0	66	66	66
4	66/3	66	66	0	66	66/5
5	66	66/3	66/6	66	0	66
6	66	66/8	66	66	66	0

#### 3.4.4 步驟四：路徑分析

應用上步驟所建立的矩陣分析模式圖，作為螞蟻演算法的距離，以下介紹螞蟻演算法求解過程中的步驟流程以及參數設定值。

本研究應用螞蟻演算法求出順序性路徑模式 (Sequence Pattern)。而螞蟻算法在本研究中，擔任的是一求解的工具，而為何選擇螞蟻演算法是因為它廣為應用在最佳組合問題如旅行推銷員問題、二次指派問題等並與其他啟發式演算法做比較之後，而螞蟻演算法有不錯效果 (Dorigo *et al.*, 1997)。

將上步驟所建立的矩陣分析模式，轉入為螞蟻演算法的路徑值，且應用螞蟻演算法搜尋最短路徑的方式，經由先前步驟方式轉換，尋找出最大次數的學習路徑，並修改螞蟻演算法之搜尋模式之過程，加入路徑起始點設定，可避免有路徑迴圈不知方向的問題產生，由此可找尋出最佳的學習路徑模式。

在此先定義出本研究在螞蟻演算法中的螞蟻群落系統 (Ant Colony System) 步驟流程：

1. 螞蟻參數定義、定義起始點位置
2. 隨機產生初始螞蟻群
3. 依據轉移函數決定下一個節點（教材）
4. 費洛蒙蒸發，依據區域費洛蒙強度更新規則
5. 計算可行解的目標函數值，依其高低更新全域費洛蒙
6. 結束物件演算流程

如下圖 3.2 ACS 步驟流程所示：

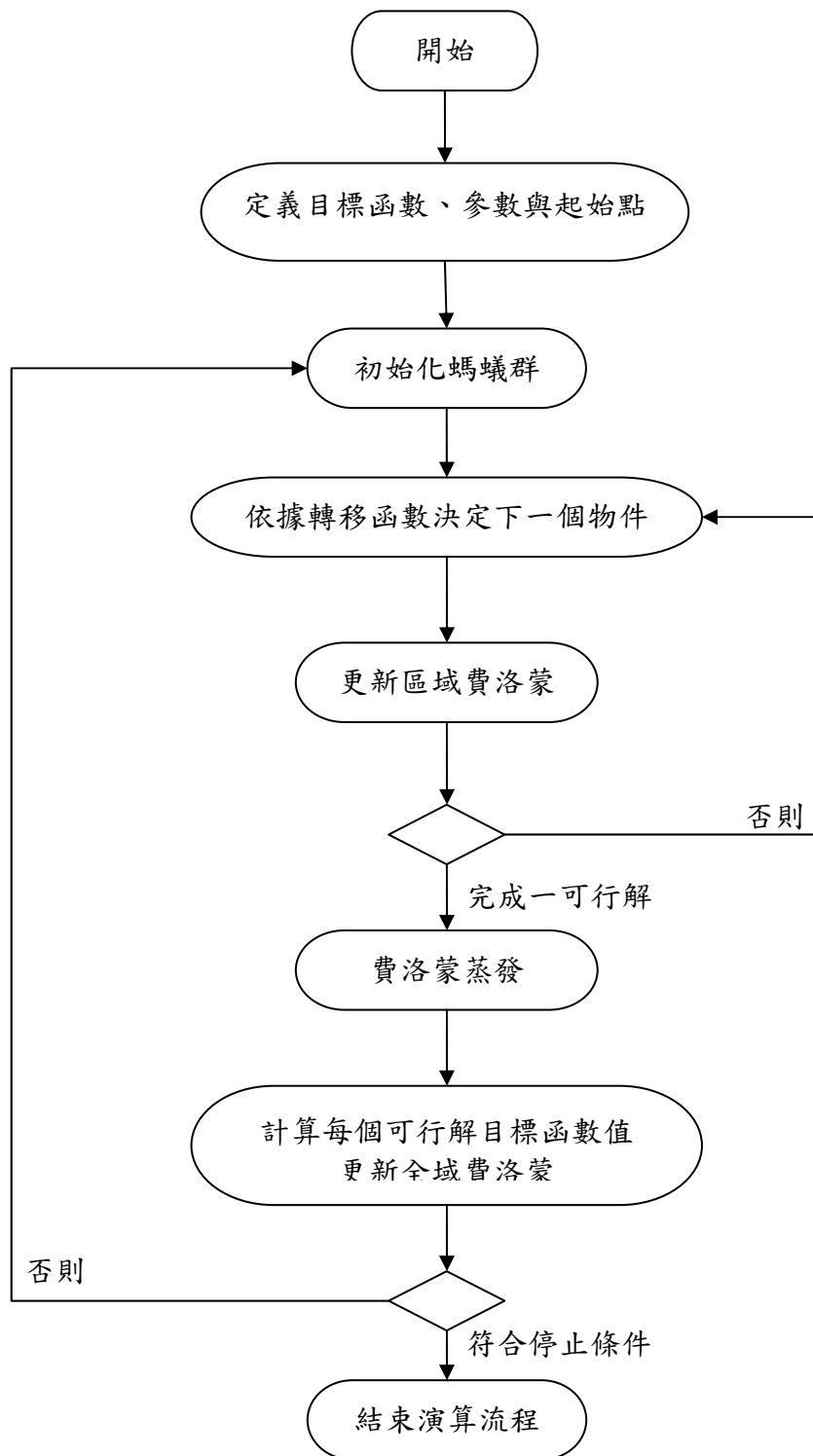


圖 3.2 ACS 步驟流程

## 1. 參數定義：

$t$ ：第  $t$  次疊代。

$\tau_{ij}(t)$ ：在  $t$  疊代時路徑  $(i, j)$  上所殘留的費洛蒙數量。

$\eta_{ij}$ ：路徑  $(i, j)$  的能見度 (visibility)，等於路徑  $(i, j)$  長度的倒數  $1/d_{ij}$ 。

$d_{ij}$ ：就是瀏覽教材  $i$  之後瀏覽  $j$  的相對次數值  $RT$ 。

$\alpha, \beta$ ：控制費洛蒙與能見度間相對重要性的參數。

$p_{ij}^k(t)$ ：第  $k$  隻螞蟻在  $t$  疊代，從節點  $i$  要到節點  $j$  的轉移機率。

$\sigma$ ：區域費洛蒙更新之蒸發係數。

$q_0$ ：決定螞蟻路徑選取方法之參數。

$\rho$ ：全域費洛蒙更新之蒸發係數。

$\tau_0$ ：費洛蒙初始值，老師所預設的路徑強度關係。

$m$ ：螞蟻數。

$s$ ：起始點位置。

## 2. 初始化設定 (Initialize setting)：

包含螞蟻數 ( $m$ )、區域和全域費洛蒙蒸發係數 ( $\sigma$ 、 $\rho$ )、影響費洛蒙路徑強度 ( $\tau_{ij}(t)$ ) 以及距離倒數 ( $\eta_{ij}$ ) 之重要性參數值 ( $\alpha, \beta$ )、決定螞蟻路徑選取方法之參數 ( $q_0 = 0.9$ )、費洛蒙初始值 ( $\tau_0$ )、起點位置 ( $s$ )，根據學者 (Dorigo *et al.*, 1997) 所提出的參數值，以  $\alpha = 1, \beta = 2$  的參數值與區域與全域費洛蒙  $\sigma = \rho = 0.1$  有不錯的效果；而初始費洛蒙  $\tau_0$  為  $\tau_0 = 1$ ； $m$  為螞蟻數，路徑分析下的教材的單位數為  $m = 6$ ； $t$  為疊代，假設  $t = 1000$ ；起始點為 D。

依據轉移函數規則：

第  $K$  隻螞蟻在節點 (教材)  $i$  上，將依照以下 ACS 轉移規則在決定轉移機率規則後，選擇並轉移到節點 (教材)  $j$ ，如式 3.1 與式 3.2：

$$s = \begin{cases} \arg \max_{j \neq \text{tabu}_k} \left\{ [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta \right\}, & \text{if } q \leq q_0 \text{ (exploitation)} \\ S, & \text{otherwise (biased exploration)} \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\text{其中, } S = \begin{cases} p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k \notin \text{tabu}} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}, & \text{if } j \notin \text{tabu} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.2)$$

而  $q$  是一個均勻分佈在  $[0, 1]$  間的亂數。 $q_0$  是一設定門檻參數 ( $0 \leq q_0 \leq 1$ )。在當  $q \leq q_0$  時，螞蟻從節點 (教材)  $i$  選擇下一節點 (教材)  $j$  時，螞蟻將選擇  $[\tau_{ij}(t)]^\alpha$  乘以  $[\eta_{ij}]^\beta$  之值最大的路徑  $ij$ 。反之，當  $q > q_0$  時， $[\tau_{ij}(t)]^\alpha$  乘以  $[\eta_{ij}]^\beta$  之值愈大，則路徑  $ij$  被選擇之機率就愈大。

### 3. 區域性費洛蒙更新 (Local Pheromone update)

在建構可行解時，螞蟻完成一個節點 (教材) 的選擇後及以 ACS 的區域性費洛蒙強度更新費洛蒙，如式 3.3。

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\sigma) \cdot \tau_{ij}(t) + \sigma \cdot \Delta\tau_{ij}(t+1) \quad (3.3)$$

而經由學者 (劉昌憲, 2003) 研究實驗結果顯示，採用區域性費洛蒙強度更新規則所獲得的解與未採用的解，有明顯的提升，而 ACS 採用  $\Delta\tau_{ij} = \tau_0$  的設定。

### 4. 全域性費洛蒙更新 (Global Pheromone update)

當所有的螞蟻完成一可行解後，執行 ACS 全域性費洛蒙更新，公式如下式所示：

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \sigma \cdot \Delta\tau_{ij}(t+n) \quad (3.4)$$

$$\text{其中, } \tau_{ij}(t+n) = \begin{cases} \frac{1}{L_{gb}}, & \text{if } (i, j) \in \text{global-best-tour} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.5)$$

式中 (3.5)  $L_{gb}$  為每次循環中，總路徑最短的路徑長度才會獲得費洛蒙的更新。

5. 滿足所設定的參數設定，停止演算法程序，並求解出路徑結構模式

### 3.4.5 步驟五：模式比對

步驟五為模式比對，將所建立的路徑模式，依據建立出的路徑結構順序，重新編排一路徑矩陣，並代回與步驟二所建立的路徑次數矩陣坐比較分析，其目的是將步驟三所建立的虛擬點架構去除，也就是說在路徑的結構中教材  $i$  往下個教材  $j$  的數值為零，故此點  $j$  為切割點，由此可分析出多條的學習路徑模式。

舉例來說，假設以利用螞蟻演算法求出的路徑結構 D-P-W-H-Q-J，且依據結構編排後整理，如下表 3.9 所示，(D, P)、(P, W)、(W, H)、(H, Q)、(Q, J) 的片斷路徑，也就是黑色部分的路徑，檢查是否有為零值的資料產生，如果有零值產生就為路徑的切割點，由表可看出並無此資料產生，故無須將學習路徑做資料切割，因此學習路徑模式為 D-P-W-H-Q-J。

表 3.9 路徑矩陣

To from	D	P	W	H	Q	J
D	0	4	1	1	0	1
P	2	0	4	0	0	0
W	0	0	0	7	0	0
H	0	0	2	0	6	0
Q	0	0	0	2	0	5
J	0	0	0	0	1	0

## 3.5 相似性分析

此步驟為本研究方法產生之網路架構與已知範例間的相似性分析，本研究以架構的相似性進行相似度分析。其相似度衡量的標準有許多方法，如：符合係數 (matching coefficient)、Jaccard 係數 (Jaccard coefficient) 等，其原理都以物件的共通關係性 (correlation) 來評估物件間的相似度的相互資訊 (mutual information) 等等。而共同相關性與相互資訊法，均適合使用在數值型資料；表 3.10 整理幾種適合種類型資料的向量空間相似度量測

定義。

表 3.10 幾種向量空間的相似度量測定義

相似度量測(Similarity measure)	定義(Definition)
Jaccard 係數(Jaccard coefficient)	$\frac{ X \cap Y }{ X \cup Y }$
符合係數(matching coefficient)	$ X \cap Y $
Dice 係數(Dice coefficient)	$\frac{2 X \cap Y }{ X  +  Y }$
重疊係數(Overlap coefficient)	$\frac{ X \cap Y }{\max( X ,  Y )}$
cosine	$\frac{ X \cap Y }{\sqrt{( X  \times  Y )}}$

架構的相似性分析：

此部分是針對本研究方法產生之網路架構與範例間架構的相似性評估。本研究擬以 Jaccard 係數為架構相似性的評量法 (Thseng, FS. *et al.*, 1999 ; Yang, Tau-Wen. *et al.*, 1998)。

假設 S 為一個架構圖，*i* 和 *j* 為 S 中的任兩個節點。此兩個節點間有一方向性 *i, j* 的弧線存在，以 (*i, j*) 表示。

若存在兩個架構圖 S 和 T；S 和 T 中所有存在的弧線分別形成集合 X 和 Y，集合中的弧線個數分別為 *x* 和 *y*。兩個集合共同弧線的個數為 *m*，則此兩個集合之間相似性的 Jaccard 係數為  $m / (x+y-m)$ 。

以下舉列說明之：

假設架構圖 S 和 T 中有節點 A，B，C 和 D，如圖 3.3 所示。S 所有存在之弧線形成的集合  $X = \{ (A, B), (B, C), (A, C), (A, D) \}$ ，弧線個數 *x* 有 4 個；T 中所有存在之弧線形成的集合  $Y = \{ (B, A), (B, C), (A, D), (B, D) \}$ ，弧線個數 *y* 有 4 個；兩個集合共同弧線的集合  $X \cap Y = \{ (B, C), (A, D) \}$ ，弧線個數 *m* 有 2 個。則此兩個集合之間相似性的 Jaccard 係數為  $m / (x+y-m) = 2 / (4+4-2) = 0.3333$ 。

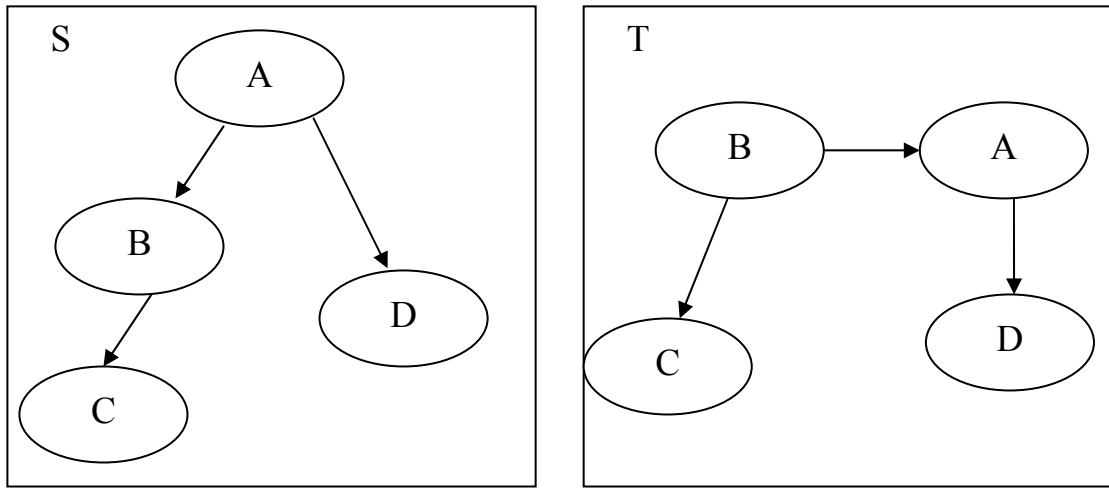


圖 3.3 舉列說明之架構圖 S 和 T



## 第四章 實驗驗證

本章節主要分為四節，於4.1節中介紹網路上的行為模式，其主要探討網路學習上，學習者的行為模式。而在4.2節，建立單一已知結構的學習路徑，並且比較本研究的所建立的機制方法，在面對網路上可能產生的學習行為中所產生的資料模式，如：直接連結、間接連結、回溯連結、混合型連結等資料時，是否可以尋找出已知結構的學習路徑。4.3節探討面對多條的學習路徑結構時，利用本研究的所提供的方法機制尋找出多條的學習路徑，並探討面對混合型連結時，對於兩條、三條路徑作為分析探討。4.4節中面對大量教材單元時，對於路徑結構的影響度，且以混合型連結時作為分析，並探討單條路徑與多條路徑結構的分析影響。

### 4.1 網路上的行為模式

實際上，學習者在網路教學課程上進行學習，會依據學習者的需求以及習慣規則而進行教材的挑選及瀏覽教材的順序。因此，我們有必要針對學習者在網路教學課程上學習行為加以研究，以便得到更真確的學習路徑資訊，但如何衡量可行的分析方式，本研究提供以網路學習上可能發生的學習行為來做討論，並應用本研究所提出來的機制進行分析說明。

為了衡量本研究機制的正確性與可行性，本研究就以現今可能發生的學習行為模式做以下的分析討論，並歸納出可能產生的資料模式，以便測試本研究所提出的機制模式之合理性評估。以下為在學習過程中所可能發生的行為：

我們在學習的過程中，往往都是依據老師所編排的教學課程順序來學習，但在網路教學上學習的模式已轉變為以學習者為主的學習方式，學生的學習規則會因個人的認知不同，而有所不同的學習方式。因此，學習者會因學習的過程中，因為過去的學習的認知具備已有的先前知識，而有跳躍式學習的路徑出現；不過，這種的學習方式會明顯地使得系統變得複雜，產生回溯（loop back）或跳前（skip），無法單由預設路徑線性前進（linear advance）來分析路徑，也就是學習路徑會以非直接連結（indirect connect）的學習順序與回溯連結（loop back connect）的學習順序等非線性的學習路徑出現（劉明洲，1999）。

根據上述劉明洲等人所見之學習現象，本研究提出在學習過程中可能發生的行為資料模式，以下為四種的資料模式探討：

並在4.2節中利用本研究所提供的學習機制，尋出預設出來的學習路徑，並探討本研究所建立的機制對於面對此資料模式的影響程度，以下為四種行為資料模式：

1. 直接連結 (direct connect)
2. 非直接連結 (indirect connect)
3. 回溯連結 (loop back connect)
4. 混合型連結 (mixed connect) 包含非直接連結 (indirect connect) 與回溯連結 (loop back connect)

為了方便說明，我們先假設已知的學習路徑為A-B-C-D-E，由此路徑為基準，來說明為何有這四種資料模式的產生：

1. 直接連結 (direct connect) 的模式資料，以已知路徑A-B-C-D-E為基準，本研究在此先定義，(A, B)、(B, C)、(C, D)、(D, E) 等片斷性資料為直接連結。

當學習者在瀏覽網頁時，依據老師所制訂的學習路徑有順序的學習。以老師所規劃的學習路徑A-B-C-D-E來說，學習者以(A, B)、(B, C)、(C, D)、(D, E)的學習方向前進，而由這片斷性的資料，就是本研究中所定義出來的直接連結 (direct connect) 的模式資料，在本研究中以直接連結為正確的行進方式。

2. 非直接連結 (indirect connect) 的模式資料，以已知路徑A-B-C-D-E為基準，本研究在此先定義，(A, B)、(A, C)、(A, D)、(A, E)、(B, C)、(B, D)、(B, E)、(C, D)、(C, E)、(D, E) 等片斷性資料出現為間接連結。

由上直接連結的模式資料所知，學習者在學習過程中，未完全依據老師所制訂的學習方式前進，而有跳躍的學習方式產生，其原因可能是因為在學習的過程中，學習者以具備此單元的知識，而有跳躍的產生；

因此，與直接連結的資料模式作比較，則非直接連結（indirect connect）多了（A, C）、（A, D）、（A, E）、（B, D）、（B, E）、（C, E）等，這些片斷性的資料。

3. 回溯連結（loop back connect）的模式資料，以已知路徑A-B-C-D-E為基準，本研究在此先定義，（A, B）、（B, A）、（B, C）、（C, B）、（C, D）、（D, C）、（D, E）、（E, D）等片斷性資料為直接連結與回溯連結。

而會有這樣的行為模式出現，可能是因為學習者在學習的過程中，忘記或是對某些的單元不熟悉，一步一步的回去複習而所記錄出來的行為模式。如果跟直接連結的資料模式作比較，則多了（B, A）、（C, B）、（D, C）、（E, D）等，這些片斷性的資料。

4. 混合型連結（mixed connect）就是包含非直接連結（indirect connect）與回溯連結（loop back connect），以已知路徑A-B-C-D-E為基準，本研究在此先定義，（A, B）、（B, A）、（A, C）、（C, A）、（A, D）、（D, A）、（A, E）、（E, A）、（B, C）、（C, B）、（B, D）、（D, B）、（B, E）、（E, B）、（C, D）、（D, C）、（C, E）、（E, C）、（D, E）、（E, D）等片斷性資料為非直接連結與回溯連結。

而第四種行為模式的產生，是最為複雜的，它包含所有連結的可能行為模式，並以直接、非直接及回溯型都探討在一起，而其中包含許多的雜訊，因而將所有可能的情節都有所考量。

## 4.2 單條路徑分析

假設學習路徑模式為A-B-C-D-E-F，且起始點為A為已知，由這已知的路徑模式中，產生片斷性的資料100筆，測試本研究方法在面對可能發生行為模式，如：直接連結、非直接連結、回溯連結、混合型連結等問題的資料產生時，探討研究機制之可行性，並分為四小節來說明之。

首先4.2.1節面對資料為「直接連結」時，可否尋找出路徑模式；4.2.2節裡為面對「非直接連結」時（有出現跳躍學習的片斷資料後），是否可以尋找出路徑模式；4.2.3節為在面對含有「回溯連結」時的資料（有出現往回學習的片斷資料時），是否也可以尋找出已知的路徑模式；4.2.4節為在面對資料「混合型連結」時（含有許多不規則的雜訊資料時），對尋找路徑結構的影響，圖4.1 實驗驗證架構圖所示。

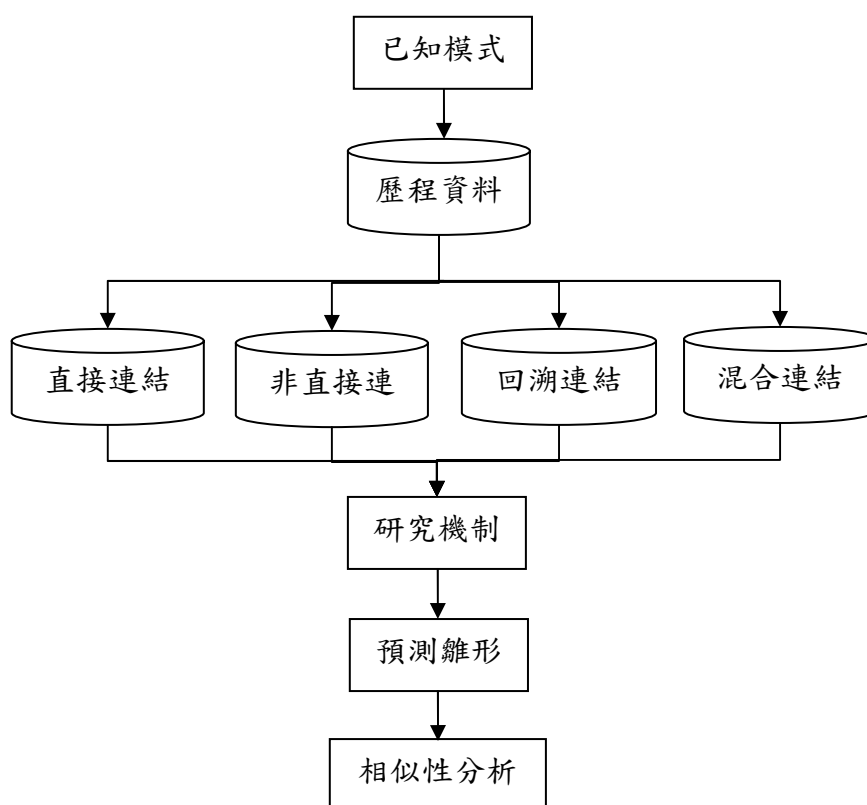


圖 4.1 實驗驗證的研究架構圖

### 4.2.1 直接連結分析

假設從已知模式A-B-C-D-E-F，且閱讀路徑起點A為已知，並由已知模式中，產生直接連結的片斷資料100筆為下表4.1所示：

表 4.1 100 筆直接連結的片斷性資料

A	B
A	B
E	F
E	F
A	B
B	C
B	C
B	C
D	E
C	D
C	D
D	E
E	F
E	F
D	E
B	C
D	E
E	F
E	F
E	F
B	E
A	B
A	B
B	C
C	D
B	C
C	D
B	C
C	D
B	C
C	D
E	F
B	E
E	F
D	E
C	D
D	E
B	C
C	D
D	E
A	B
A	B
C	D
B	C
C	D
D	E
D	E
C	D
A	B
A	B
D	E
E	F
A	B
A	B
D	E
E	F
C	D
C	D
B	C
C	D
E	F
C	D
E	F
E	F
E	F
A	B
A	B

B	C
C	D
B	C
C	D
C	D
B	C
C	D
E	F
B	E
E	F
D	E
C	D
D	E
B	C
C	D
C	D
A	B
C	E
A	B
C	D
E	F
E	F
C	D
A	B
E	F

E	F
C	D
E	F
C	D
B	C
A	B
B	C
A	B
C	D
C	D
D	E
D	E
B	C
D	E
A	B
A	B
C	D
B	C
C	D
D	E
D	E
C	D
A	B
A	B
D	E
E	F

A	B
C	D
B	C
A	B
B	C
B	C
C	D
C	D
C	D
E	F
C	D
A	B
B	C
B	C
C	D
E	F
E	F
E	F
A	B
A	B

本研究所建立的研究方法面資料時，必須經由轉換為數值資料，因此，面對資料型態為種類型（categorical）之資料，必需經由轉換為數值。首先將資料轉換為數值型態，假設教材單元A為1，教材F為2，教材D為3，教材B為4，教材C為5，教材E為6。

### 步驟一：資料處理

計算所有次數的發生次數，假設門檻值 $K=0.05$ ，也就是說至少要發生5次，表4.2所示，每個教材單元都有過門檻；而產生的資料格式以兩兩片斷格式，故不再做轉換為片斷的資料模式。

表 4.2 次數單元

教材單元	A (1)	F (2)	D (3)	B (4)	C (5)	E (6)
次數	20	21	37	41	48	32

### 步驟二：資料轉換

將歷程的片斷資料，轉換為路徑次數矩陣，如下表4.3。

表 4.3 路徑次數矩陣

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	20	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	11
4	0	0	0	0	21	0
5	0	0	27	0	0	0
6	0	21	0	0	0	0

### 步驟三：矩陣分析模式

建立虛擬矩陣並與路徑次數矩陣相加，產生網路圖矩陣，如下表 4.4、表 4.5 所示。

表 4.4 虛擬矩陣

	1	2	3	4	5	6
1	0	1	1	1	1	1
2	1	0	1	1	1	1
3	1	1	0	1	1	1
4	1	1	1	0	1	1
5	1	1	1	1	0	1
6	1	1	1	1	1	0

表 4.5 網路圖矩陣

	1	2	3	4	5	6
1	0	1	1	21	1	1
2	1	0	1	1	1	1
3	1	1	0	1	1	12
4	1	1	1	0	22	1
5	1	1	28	1	0	1
6	1	22	1	1	1	0

由網路圖矩陣轉換為矩陣分析模式，作為最短路徑的分析模式之距離矩陣；而路徑的距離為相對瀏覽比率 $RT$ ，而網路總次數為130，因此，矩陣分析模式，如下表4.6所示。

表 4.6 矩陣分析模式

	1	2	3	4	5	6
1	0	130	130	6.1905	130	130
2	130	0	130	130	130	130
3	130	130	0	130	130	10.833
4	130	130	130	0	5.9091	130
5	130	130	4.6429	130	0	130
6	130	5.9091	130	130	130	0

步驟四：路徑分析

應用螞蟻演算法搜尋出最短路徑結構1-4-5-3-6-2，如下圖4.2所示，因此轉換為教材數為A-B-C-D-E-F。

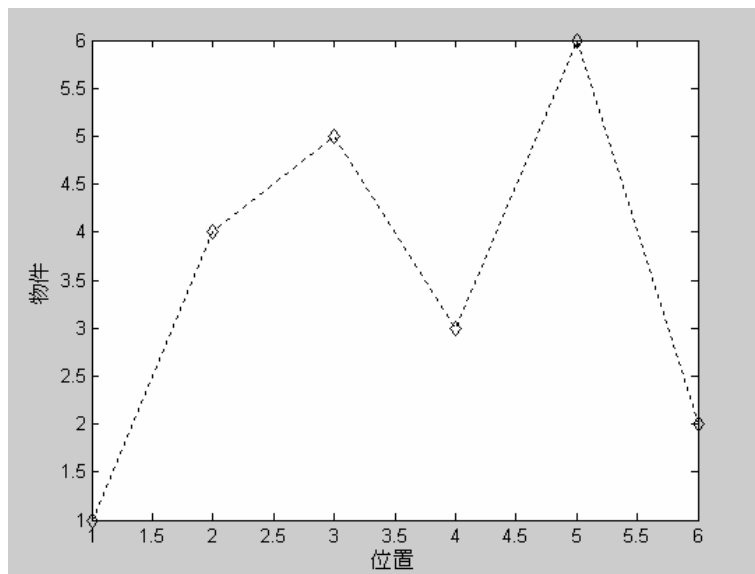


圖 4.2 路徑結構

### 步驟五：模式比對

依建立出來的路徑結構為順序，將原本步驟二建立的路徑矩陣從新排列，因此建立一新矩陣，並檢查黑色部分的路徑中是否有為零值的資料產生，作為路徑的切割點。由下表4.7所示，並無此資料發生，故學習路徑模式為A-B-C-D-E-F。

表4.7 路徑次數資料

	A	B	C	D	E	F
A	0	20	0	0	0	0
B	0	0	21	0	0	0
C	0	0	0	27	0	0
D	0	0	0	0	11	0
E	0	0	0	0	0	21
F	0	0	0	0	0	0

### 驗證比對（架構的相似性分析）：

利用本研究所建置的路徑為 A-B-C-D-E-F，與假設的路徑作為 A-B-C-D-E-F 比較，得知兩結構的相似程度為 100%，如下圖 4.3、圖 4.4 所示：

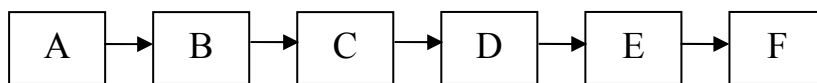


圖 4.3 已知路徑結構

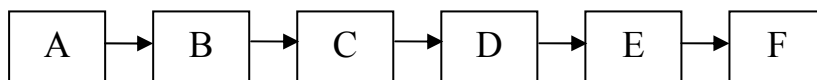


圖 4.4 本研究方法建立之路徑結構



#### 4.2.2 非直接連結分析

假設從已知模式 A-B-C-D-E-F，且閱讀路徑起點 A 為已知，並由已知模式中，產生非直接連結的片斷資料 100 筆為下表 4.8 所示：

表 4.8 100 筆非直接連結的片斷性資料

A	C
A	C
E	F
E	F
A	C
A	C
A	D
B	C
D	E
C	D
B	F
A	D
E	F
A	D
D	F
B	D
D	E
E	F
E	F
E	F
B	E
A	B
A	B
B	D
C	D
B	C
C	D
B	F
A	D
C	E
C	E
A	D
B	C
A	D
A	F
C	F
D	E
B	F
D	F
A	B
A	B
A	E
C	E
C	E
D	E
D	E
C	F
A	B
A	B
D	F
E	F
A	C
C	D
B	C
A	D
B	F
B	F
C	D
B	F
C	D
E	F
C	E
A	D
A	C
E	F
C	D
E	F
C	D
A	B
B	E
B	C
C	D
E	F
B	F
C	F
A	B
A	B

### 步驟一：資料處理

計算所有次數的發生次數，假設門檻值 $K=0.05$ ，也就是說至少要發生5次，表4.9所示，每個教材單元都有過門檻；而產生的資料格式以兩兩片斷格式，故不再做轉換為片斷的資料模式。

表 4.9 次數單元

教材單元	A (1)	F (2)	D (3)	B (4)	C (5)	E (6)
次數	31	29	34	28	40	38

### 步驟二：資料轉換

將歷程的片斷資料，轉換為路徑次數矩陣，如下表4.10。

表 4.10 路徑次數矩陣

	1	2	3	4	5	6
1	0	1	10	10	8	2
2	0	0	0	0	0	0
3	0	4	0	0	0	5
4	0	7	3	0	6	2
5	0	1	12	0	0	13
6	0	16	0	0	0	0

### 步驟三：矩陣分析模式

建立虛擬矩陣並與路徑次數矩陣相加，產生網路圖矩陣，如下表4.11、表4.12所示。

表 4.11 虛擬矩陣

	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1

表 4.12 網路圖矩陣

	1	2	3	4	5	6
1	0	2	11	11	9	3
2	1	0	1	1	1	1
3	1	5	0	1	1	6
4	1	8	4	0	7	3
5	1	2	13	1	0	14
6	1	17	1	1	1	0

由網路圖矩陣轉換為矩陣分析模式，作為最短路徑的分析模式之距離矩陣；而路徑的距離為相對瀏覽比率 $RT$ ，而網路總次數為130，因此，矩陣分析模式，如下表4.13所示。

表 4.13 矩陣分析模式

	1	2	3	4	5	6
1	0	65	11.818	11.818	14.444	43.333
2	130	0	130	130	130	130
3	130	26	0	130	130	21.667
4	130	16.25	32.5	0	18.571	43.333
5	130	65	10	130	0	9.2857
6	130	7.6471	130	130	130	0

步驟四：路徑分析

應用螞蟻演算法搜尋出最短路徑結構1-4-5-3-6-2，如下圖4.5s所示，因此轉換為教材數為A-B-C-D-E-F。

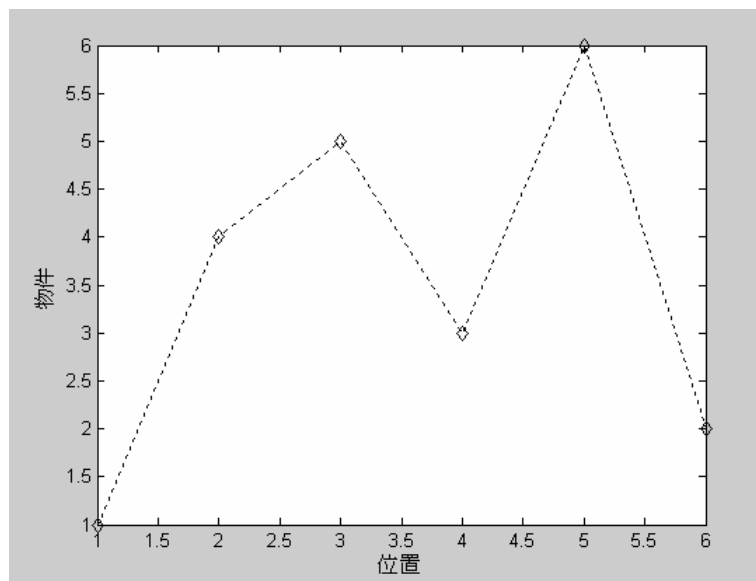


圖 4.5 路徑結構

### 步驟五：模式比對

依建立出來的路徑結構為順序，將原本步驟二建立的路徑矩陣從新排列，因此建立一新矩陣，並檢查黑色部分的路徑中是否有為零值的資料產生，作為路徑的切割點。由下表4.14所示，並無此資料發生，故學習路徑模式為A-B-C-D-E-F。

表 4.14 路徑次數資料

	A	B	C	D	E	F
A	0	10	8	10	2	1
B	0	0	6	3	2	7
C	0	0	0	12	13	1
D	0	0	0	0	5	4
E	0	0	0	0	0	16
F	0	0	0	0	0	0

### 驗證比對（架構的相似性分析）：

利用本研究所建置的路徑為 A-B-C-D-E-F，與假設的路徑作為 A-B-C-D-E-F 比較，得知兩結構的相似程度為 100%，如下圖 4.10、圖 4.11 所示：

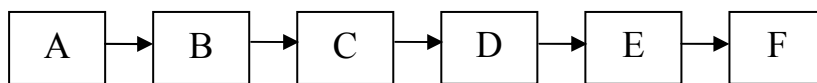


圖 4.6 已知路徑結構

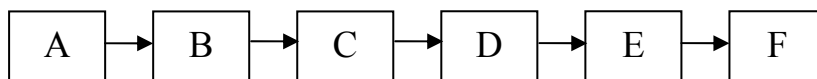


圖 4.7 本研究方法建立之路徑結構

### 4.2.3 回溯連結分析

假設從已知模式結構 A-B-C-D-E-F，且閱讀路徑起點 A 為已知，並由已知模式中，產生回溯連結的片斷資料 100 筆為下表 4.15 所示：

表 4.15 100 筆回溯連結的片斷性資料

A	B	B	C	F	E	A	B
A	B	D	C	C	D	C	D
E	F	C	B	E	F	B	C
F	E	C	D	C	D	A	B
A	B	C	D	B	C	B	C
B	C	B	C	B	A	B	C
C	B	C	D	B	C	C	D
B	C	E	F	A	B	D	C
D	E	B	E	D	C	C	D
C	D	E	F	C	D	F	E
C	D	D	E	D	E	C	D
D	E	D	C	B	C	B	A
F	E	D	E	E	D	B	C
E	F	B	C	A	B	E	F
D	E	C	D	A	B	E	F
B	C	C	D	C	D	C	D
E	D	A	B	B	C	A	B
F	E	C	E	C	D	B	C
E	F	A	B	D	E	C	B
E	F	C	D	D	E	C	D
B	E	E	F	C	D	E	F
B	A	E	F	A	B	E	F
A	B	D	C	B	A	A	B
B	C	B	A	E	D	A	B
D	C	F	E	F	E	A	B

### 步驟一：資料處理

計算所有次數的發生次數，假設門檻值 $K=0.05$ ，也就是說至少要發生5次，表4.16所示，每個教材單元都有過門檻；而產生的資料格式以兩兩片斷格式，故不再做轉換為片斷的資料模式。

表 4.16 次數單元

教材單元	A (1)	F (2)	D (3)	B (4)	C (5)	E (6)
次數	20	21	37	41	46	35

### 步驟二：資料轉換

將歷程的片斷資料，轉換為路徑次數矩陣，如下表4.17。

表 4.17 路徑次數矩陣

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	15	0	0
2	0	0	0	0	0	7
3	0	0	0	0	6	8
4	5	0	0	0	16	2
5	0	0	20	3	0	1
6	0	14	3	0	0	0

### 步驟三：矩陣分析模式

建立虛擬矩陣並與路徑次數矩陣相加，產生網路圖矩陣，如下表4.18、表4.19所示。

表 4.18 虛擬矩陣

	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1

表 4.19 網路圖矩陣

	1	2	3	4	5	6
1	0	1	1	16	1	1
2	1	0	1	1	1	8
3	1	1	0	1	7	9
4	6	1	1	0	17	3
5	1	1	21	4	0	2
6	1	15	4	1	1	0

由網路圖矩陣轉換為矩陣分析模式，作為最短路徑的分析模式之距離矩陣；而路徑的距離為相對瀏覽比率 $RT$ ，而網路總次數為130，因此，矩陣分析模式，如下表4.20所示。

表 4.20 矩陣分析模式

	1	2	3	4	5	6
1	0	130	130	8.125	130	130
2	130	0	130	130	130	16.25
3	130	130	0	130	18.571	14.444
4	21.667	130	130	0	7.6471	43.333
5	130	130	6.1905	32.5	0	65
6	130	8.6667	32.5	130	130	0

步驟四：路徑分析

應用螞蟻演算法搜尋出最短路徑結構1-4-5-3-6-2，如下圖4.8所示，因此轉換為教材數為A-B-C-D-E-F。

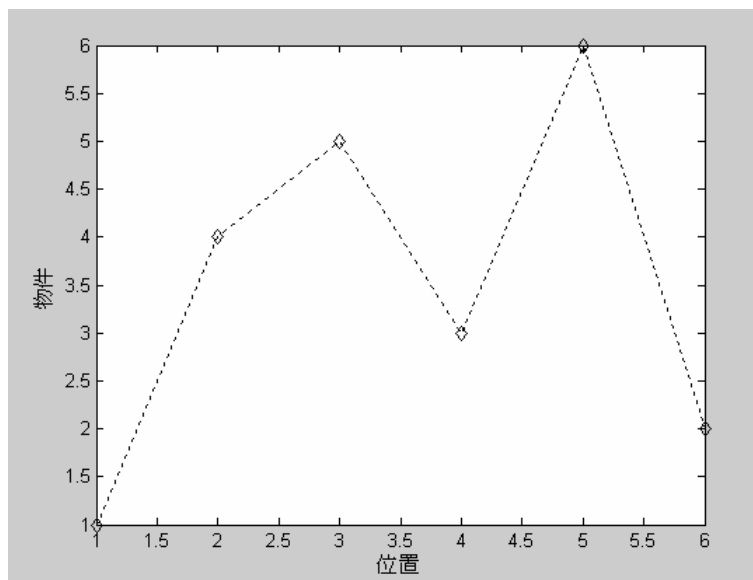


圖 4.8 路徑結構

### 步驟五：模式比對

依建立出來的路徑結構為順序，將原本步驟二建立的路徑矩陣從新排列，因此建立一新矩陣，並檢查黑色部分的路徑中是否有為零值的資料產生，作為路徑的切割點。由下表4.21所示，並無此資料發生，故學習路徑模式為A-B-C-D-E-F。

表 4.21 路徑次數資料

	A	B	C	D	E	F
A	0	15	0	0	0	0
B	5	0	16	0	2	0
C	0	3	0	20	1	0
D	0	0	6	0	8	0
E	0	0	0	3	0	14
F	0	0	0	0	7	0

### 驗證比對（架構的相似性分析）：

利用本研究所建置的路徑為 A-B-C-D-E-F，與假設的路徑作為 A-B-C-D-E-F 比較，得知兩結構的相似程度為 100%，如下圖 4.9、圖 4.10 所示：

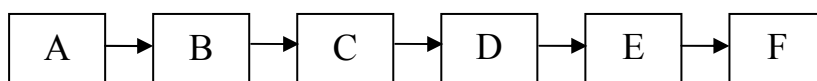


圖 4.9 已知路徑結構

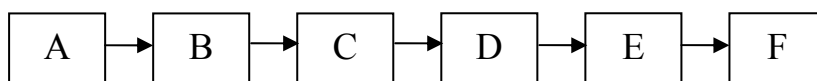


圖 4.10 本研究方法建立之路徑結構



#### 4.2.4 混合型連結分析

假設從已知模式 A-B-C-D-E-F，且閱讀路徑起點 A 為已知，並由已知模式中，產生混合型連結的片斷資料 100 筆為下表 4.22 所示：

表 4.22 100 筆混合型連結的片斷性資料

A	C	B	E	F	E	D	A
A	C	D	C	C	D	C	D
E	F	C	B	E	F	B	C
F	E	C	D	C	D	A	E
A	C	C	F	B	C	B	C
E	A	B	C	B	A	B	C
C	B	C	F	B	E	C	D
B	C	E	F	E	B	D	C
D	E	B	E	D	C	A	D
C	F	E	F	A	D	F	E
A	D	D	E	D	E	F	D
D	E	D	B	B	E	B	A
F	E	D	E	E	D	B	C
E	F	B	D	D	A	E	F
D	E	C	E	A	E	E	F
B	D	C	E	F	D	C	D
E	D	A	B	B	E	D	A
F	E	C	E	C	F	B	D
E	F	A	B	D	E	C	B
E	F	C	E	D	E	C	E
B	E	F	C	C	E	E	F
A	D	E	B	A	F	E	F
A	B	D	C	B	A	E	F
A	E	B	A	E	D	A	B
D	E	F	A	F	A	A	B

### 步驟一：資料處理

計算所有次數的發生次數，假設門檻值 $K=0.05$ ，也就是說至少要發生5次，表4.23所示，每個教材單元都有過門檻；而產生的資料格式以兩兩片斷格式，故不再做轉換為片斷的資料模式。

表 4.23 次數單元

教材單元	A (1)	F (2)	D (3)	B (4)	C (5)	E (6)
次數	26	27	35	31	34	46

### 步驟二：資料轉換

將歷程的片斷資料，轉換為路徑次數矩陣，如下表4.24。

表 4.24 路徑次數矩陣

	1	2	3	4	5	6
1	0	1	4	5	3	3
2	2	0	2	0	1	5
3	3	0	0	1	4	9
4	4	0	3	0	7	6
5	0	4	6	3	0	6
6	1	12	3	2	0	0

### 步驟三：矩陣分析模式

建立虛擬矩陣並與路徑次數矩陣相加，產生網路圖矩陣，如下表4.25、表4.26所示。

表 4.25 虛擬矩陣

	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1

表 4.26 網路圖矩陣

	1	2	3	4	5	6
1	0	2	5	6	4	4
2	3	0	3	1	2	6
3	4	1	0	2	5	10
4	5	1	4	0	8	7
5	1	5	7	4	0	7
6	2	13	4	3	1	0

由網路圖矩陣轉換為矩陣分析模式，作為最短路徑的分析模式之距離矩陣；而路徑的距離為相對瀏覽比率 $RT$ ，而網路總次數為130，因此，矩陣分析模式，如下表4.27所示。

表 4.27 矩陣分析模式

	1	2	3	4	5	6
1	0	65	26	21.667	32.5	32.5
2	43.333	0	43.333	130	65	21.667
3	32.5	130	0	65	26	13
4	26	130	32.5	0	16.25	18.571
5	130	26	18.571	32.5	0	18.571
6	65	10	32.5	43.333	130	0

步驟四：路徑分析

應用螞蟻演算法搜尋出最短路徑結構1-4-5-3-6-2，如下圖4.11所示，因此轉換為教材數為A-B-C-D-E-F。

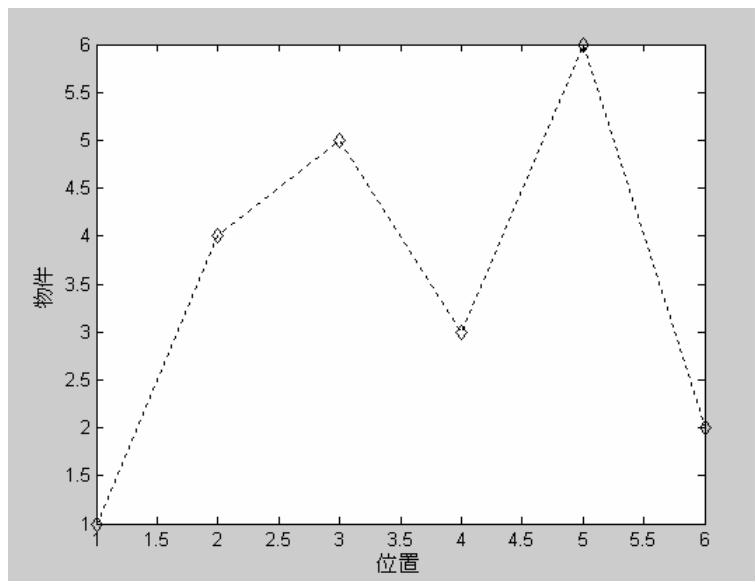


圖 4.11 路徑結構

### 步驟五：模式比對

依建立出來的路徑結構為順序，將原本步驟二建立的路徑矩陣從新排列，因此建立一新矩陣，並檢查黑色部分的路徑中是否有為零值的資料產生，作為路徑的切割點。由下表4.28所示，並無此資料發生，故學習路徑模式為A-B-C-D-E-F。

表 4.28 路徑次數資料

	A	B	C	D	E	F
A	0	5	3	4	3	1
B	4	0	7	3	6	0
C	0	3	0	6	6	4
D	3	1	4	0	9	0
E	1	2	0	3	0	12
F	2	0	1	2	5	0

### 驗證比對（架構的相似性分析）：

利用本研究所建置的路徑為 A-B-C-D-E-F，與假設的路徑作為 A-B-C-D-E-F 比較，得知兩結構的相似程度為 100%，如下圖 4.12、圖 4.13 所示：

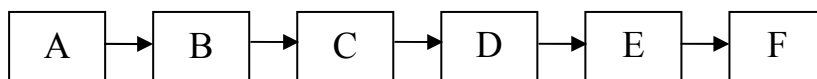


圖4.12 已知路徑結構

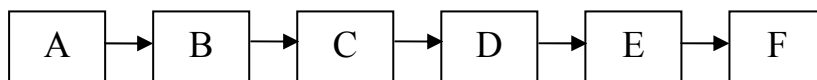


圖4.13 本研究方法建立之路徑結構

### 4.3 多條路徑分析

在本節中探討面對多條路徑時，應用本研究所建立的機制分析時，是否可以正確的分析出多條路徑的結構。並在4.3.1節中，面對兩條路徑結構時的探討分析，且面對含有不規則的資料時（混合型連結），對於路徑找尋之影響度。在4.3.2節中為面對三條路徑時，且面對含有不規則的資料時（混合型連結），對於路徑結構的找尋，是否可以正確的分析出多條路徑的結構。

### 4.3.1 兩條路經分析（混合型連結）

假設已知學習路徑的模式為A-D-H-F-L-G、B-C-E-I-K-J，且已知其中閱讀路徑起點為A時，而歷程的片斷資料150筆，如表4.29，而資料型態為「混合型」資料模式。

表 4.29 150 筆混合型連結片斷性的資料

A	D	A	D	A	D	B	C	B	C	B	C
D	H	D	H	D	H	C	E	C	E	C	E
H	F	H	F	H	F	E	I	E	I	E	I
F	L	F	L	F	L	I	K	I	K	I	K
L	G	L	G	L	G	K	J	K	J	K	J
A	D	D	H	D	A	E	I	C	E	J	C
A	D	D	H	A	H	I	K	E	I	C	I
A	D	L	G	D	A	C	E	C	E	J	B
D	H	H	F	D	A	E	I	E	I	K	C
D	H	F	L	D	G	I	K	I	K	I	E
D	H	H	F	D	G	K	J	K	J	E	I
A	D	F	L	H	L	B	C	E	I	I	K
D	H	H	F	F	G	B	C	I	K	I	B
L	G	F	L	D	F	B	C	E	I	I	C
H	F	A	D	A	G	B	C	K	B	I	E
F	L	D	H	A	H	K	J	J	C	B	I
G	A	H	F	A	L	C	E	J	K	J	K
G	D	F	L	A	G	C	E	J	K	K	I
F	D	L	G	A	H	C	E	J	K	C	K
G	H	A	D	G	L	C	E	B	I	K	B
D	H	H	G	G	H	B	C	B	I	K	C
F	A	F	D	L	F	K	C	I	E	K	E
L	G	F	A	L	H	I	K	I	J	B	I
L	D	A	G	L	A	E	I	K	J	B	C
F	A	A	F	G	D	C	E	K	J	J	C

### 步驟一：資料處理

首先，將資料先做資料型態的轉換，將教材單元轉換為數值型態，故教材單元A為數值1，B為2，C為3，D為4，E為5，F為6，G為7，H為8，I為9，J為10，K為11，L為12；並計算所有次數的發生次數，假設門檻值 $K=0.05$ ，也就是說至少要發生8次，表4.30所示，每個教材單元都有過門檻；而產生的資料格式以兩兩片斷格式，故不再做轉換為片斷的資料模式。

表 4.30 次數單元

教材單元	A (1)	B (2)	C (3)	D (4)	E (5)	F (6)
次數	25	17	29	31	26	25
教材單元	G (7)	H (8)	I (9)	J (10)	K(11)	L(12)
次數	20	27	32	17	29	22

### 步驟二：資料轉換

將歷程的片斷資料，轉換為路徑次數矩陣，如下表4.31所示。

表 4.31 路徑次數矩陣

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	9	0	1	3	3	0	0	0	1
2	0	0	9	0	0	0	0	0	4	0	0	0
3	0	0	0	0	11	0	0	0	1	0	1	0
4	3	0	0	0	0	1	2	11	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0
6	3	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	8
7	1	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	8	1	0	0	0	0	1
9	0	1	1	0	3	0	0	0	0	1	9	0
10	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	4	0
11	0	2	3	0	1	0	0	0	1	8	0	0
12	1	0	0	1	0	1	7	1	0	0	0	0

### 步驟三：矩陣分析模式

建立虛擬矩陣並與路徑次數矩陣相加，產生網路圖矩陣，如下表4.32、表4.33所示。

表 4.32 虛擬矩陣

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

表 4.33 網路圖矩陣

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	1	1	10	1	2	4	4	1	1	1	2
2	1	0	10	1	1	1	1	1	5	1	1	1
3	1	1	0	1	12	1	1	1	2	1	2	1
4	4	1	1	0	1	2	3	12	1	1	1	1
5	1	1	1	1	0	1	1	1	12	1	1	1
6	4	1	1	3	1	0	2	1	1	1	1	9
7	2	1	1	3	1	1	0	3	1	1	1	2
8	1	1	1	1	1	9	2	0	1	1	1	2
9	1	2	2	1	4	1	1	1	0	2	10	1
10	1	2	4	1	1	1	1	1	1	0	5	1
11	1	3	4	1	2	1	1	1	2	9	0	1
12	2	1	1	2	1	2	8	2	1	1	1	0

由網路圖矩陣轉換為矩陣分析模式，作為最短路徑的分析模式之距離矩陣；而路徑的距離為相對瀏覽比率 $RT$ ，而網路總次數為282，因此，矩陣分析模式，如下表3.34表所示。

表 4.34 矩陣分析模式

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	282	282	28.2	282	141	70.5	70.5	282	282	282	141
2	282	0	28.2	282	282	282	282	282	56.4	282	282	282
3	282	282	0	282	23.5	282	282	282	141	282	141	282
4	70.5	282	282	0	282	141	94	23.5	282	282	282	282
5	282	282	282	282	0	282	282	282	23.5	282	282	282
6	70.5	282	282	94	282	0	141	282	282	282	282	31.333
7	141	282	282	94	282	282	0	94	282	282	282	141
8	282	282	282	282	282	31.333	141	0	282	282	282	141
9	282	141	141	282	70.5	282	282	282	0	141	28.2	282
10	282	141	70.5	282	282	282	282	282	282	0	56.4	282
11	282	94	70.5	282	141	282	282	282	141	31.333	0	282
12	141	282	282	141	282	141	35.25	141	282	282	282	0



步驟四：路徑分析

應用螞蟻演算法搜尋出最短路徑結構1-4-8-6-12-7-2-3-5-9-11-10，如下圖4.14所示，因此轉換為教材數為A-D-H-F-L-G-B-C-E-I-K-J。

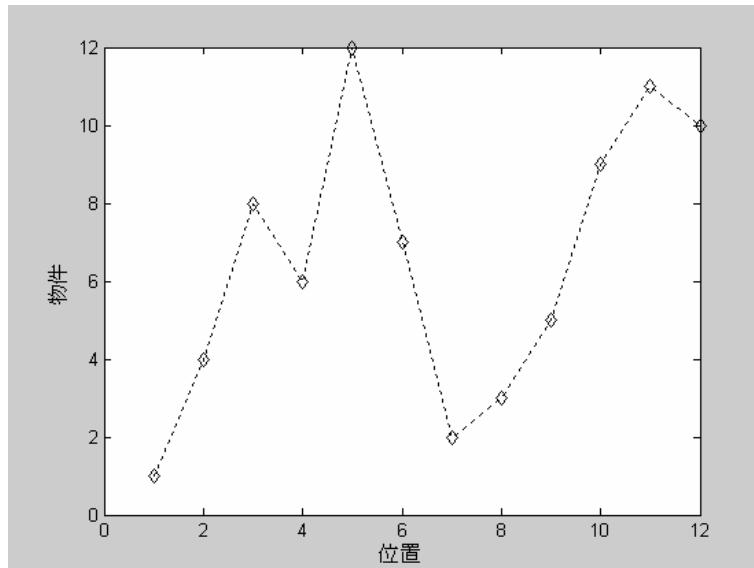


圖 4.14 路徑結構

步驟五：模式比對

依建立出來的路徑結構為順序，將原本步驟二建立的路徑矩陣從新排列，因此建立一新矩陣，如下表所示，並檢查黑色部分的路徑中是否有為零值的資料產生，作為路徑的切割點，在教材G往教材B部分為零值，故此點為路徑的切割點，如：表4.35所示，並把路徑做分割為A-D-H-F-L-G、B-C-E-I-K-J的學習路徑模式。

表 4.35 路徑次數資料

	A	D	H	F	L	G	B	C	E	I	K	J
A	0	9	3	1	1	3	0	0	0	0	0	0
D	3	0	11	1	0	2	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	8	1	1	0	0	0	0	0	0
F	3	2	0	0	8	1	0	0	0	0	0	0
L	1	1	1	1	0	7	0	0	0	0	0	0
G	1	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	9	0	4	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1	1	0

E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0
I	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	9	1
K	0	0	0	0	0	0	2	3	1	1	0	8
J	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	4	0

**驗證比對 (架構的相似性分析):**

利用本研究所建置的路徑為 A-D-H-F-L-G，與假設的路徑作為 A-D-H-F-L-G 比較，得知兩結構的相似程度為 100%，如下圖 4.15、圖 4.16 所示：

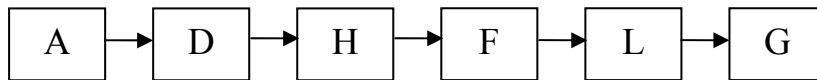


圖 4.15 已知路徑結構

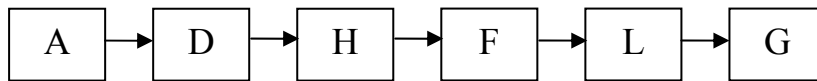


圖 4.16 本研究方法建立之路徑結構

利用本研究所建置的路徑為 B-C-E-I-K-J，與假設的路徑作為 B-C-E-I-K-J 比較，得知兩結構的相似程度為 100%，如下圖 4.17、圖 4.18 所示：

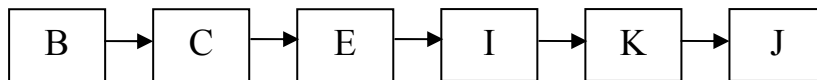


圖 4.17 已知路徑結構

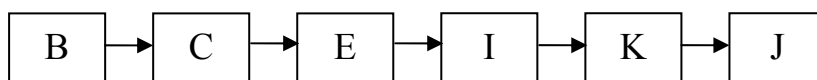


圖 4.18 本研究方法建立之路徑結構

### 4.3.2 三條路經分析（混合型連結）

假設已知學習路徑的模式為A-D-F-H-L、B-G-E-J、C-I-K，且已知其中閱讀路徑起點為A時，而片斷資料150筆，而資料型態為「混合型」資料模式，如表4.36所示。

表 4.36 150 筆混合型連結片斷性的資料

A	D	H	L	B	G	B	J	C	I	B	G
D	F	H	F	G	E	G	J	I	K	G	E
F	H	L	A	E	J	B	G	C	I	E	J
H	L	L	D	J	E	G	E	I	K	J	E
D	A	H	L	J	B	E	J	C	I	F	H
F	A	A	D	B	G	B	G	I	K	H	L
H	A	D	F	G	E	G	E	C	I	A	D
A	D	F	H	E	J	J	B	I	K	D	F
D	F	H	L	B	G	B	G	C	I	F	H
F	H	A	D	E	G	G	E	I	K	H	L
H	L	D	F	J	G	E	J	K	I	G	E
A	D	F	H	B	G	B	G	I	C	E	J
H	A	H	L	G	E	G	E	C	K	J	E
L	A	D	F	B	G	E	J	I	K	G	E
H	D	F	H	B	E	J	B	K	C	E	J
D	H	F	L	B	G	B	G	I	K	I	K
A	D	F	D	G	E	G	E	C	I	C	I
D	F	F	A	E	J	E	J	I	K	C	I
F	H	D	A	B	J	B	G	C	I	B	J
H	L	H	D	G	J	B	E	I	K	I	K
D	H	D	F	J	B	G	J	C	I	A	D
F	H	F	H	J	B	B	J	I	K	D	F
H	L	D	F	J	G	B	G	C	I	F	H
A	D	A	L	J	G	G	E	C	I	H	L
D	F	A	H	G	J	E	J	I	K	A	D

### 步驟一：資料處理

計算所有次數的發生次數，假設門檻值 $K=0.05$ ，也就是說至少要發生8次，表4.37所示，每個教材單元都有過門檻；而產生的資料格式以兩兩片斷格式，故不再做轉換為片斷的資料模式。

表 4.37 次數單元

教材單元	A (1)	B (2)	C (3)	D (4)	E (5)	F (6)
次數	20	25	15	29	30	27
教材單元	G (7)	H (8)	I (9)	J (10)	K(11)	L(12)
次數	35	30	27	30	16	16

### 步驟二：資料轉換

將歷程的片斷資料，轉換為路徑次數矩陣，如下表4.38所示。

表 4.38 路徑次數矩陣

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	10	0	0	0	1	0	0	0	1
2	0	0	0	0	2	0	14	0	0	4	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	1	0
4	2	0	0	0	0	11	0	2	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	11	0	0
6	2	0	0	1	0	0	0	11	0	0	0	1
7	0	0	0	0	13	0	0	0	0	4	0	0
8	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	11
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	13	0
10	0	5	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0
11	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
12	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

### 步驟三：矩陣分析模式

建立虛擬矩陣並與路徑次數矩陣相加，產生網路圖矩陣，如下表 4.39、表 4.40 所示。

表 4.39 虛擬矩陣

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

表 4.40 網路圖矩陣

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	1	1	11	1	1	1	2	1	1	1	2
2	1	0	1	1	3	1	15	1	1	5	1	1
3	1	1	0	1	1	1	1	1	13	1	2	1
4	3	1	1	0	1	12	1	3	1	1	1	1
5	1	1	1	1	0	1	2	1	1	12	1	1
6	3	1	1	2	1	0	1	12	1	1	1	2
7	1	1	1	1	14	1	0	1	1	5	1	1
8	3	1	1	3	1	2	1	0	1	1	1	12
9	1	1	2	1	1	1	1	1	0	1	14	1
10	1	6	1	1	4	1	4	1	1	0	1	1
11	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	0	1
12	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0

由網路圖矩陣轉換為矩陣分析模式，作為最短路徑的分析模式之距離矩陣；而路徑的距離為相對瀏覽比率 $RT$ ，而網路總次數為282，因此，矩陣分析模式，如下表4.41所示。

表 4.41 矩陣分析模式

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	282	282	25.636	282	282	282	141	282	282	282	141
2	282	0	282	282	94	282	18.8	282	282	56.4	282	282
3	282	282	0	282	282	282	282	282	21.692	282	141	282
4	94	282	282	0	282	23.5	282	94	282	282	282	282
5	282	282	282	282	0	282	141	282	282	23.5	282	282
6	94	282	282	141	282	0	282	23.5	282	282	282	141
7	282	282	282	282	20.143	282	0	282	282	56.4	282	282
8	94	282	282	94	282	141	282	0	282	282	282	23.5
9	282	282	141	282	282	282	282	282	0	282	20.143	282
10	282	47	282	282	70.5	282	70.5	282	282	0	282	282
11	282	282	141	282	282	282	282	282	141	282	0	282
12	94	282	282	141	282	282	282	282	282	282	282	0

#### 步驟四：路徑分析

應用螞蟻演算法搜尋出最短路徑結構1-4-6-8-12-2-7-5-10-3-9-11，如下圖4.19所示，因此轉換為教材數為A-D-F-H-L-B-G-E-J-C-I-K。

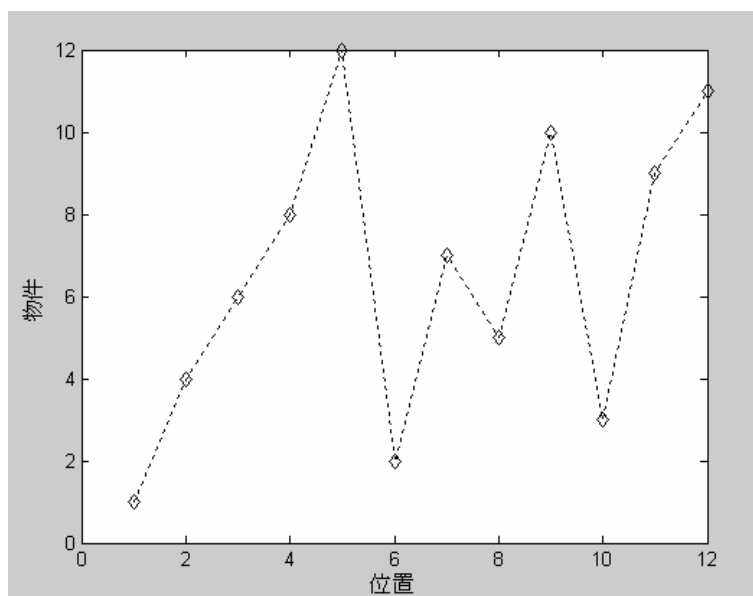


圖 4.19 路徑結構

#### 步驟五：模式比對

將建立出來的路徑結構，將原本矩陣從新排列，因此建立一新矩陣，如下表所示，並檢查黑色部分的路徑中是否有為零值的資料產生，作為路徑的切割點，在教材L往教材B部分與教材J往教材C部分為零值，故此點為路徑的切割點，如表4.42所示，並把路徑做分割為A-D-F-H-L、B-G-E-J、C-I-K的學習路徑模式。

表 4.42 路徑次數資料

	A	D	F	H	L	B	G	E	J	C	I	K
A	0	10	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
D	2	0	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0
F	2	1	0	11	1	0	0	0	0	0	0	0
H	2	2	1	0	11	0	0	0	0	0	0	0
L	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	14	2	4	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0	13	4	0	0	0

E	0	0	0	0	0	0	1	0	11	0	0	0
J	0	0	0	0	0	5	3	3	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	1
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	13
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

**驗證比對 (架構的相似性分析):**

利用本研究所建置的路徑為 A-D-F-H-L，與假設的路徑作為 A-D-F-H-L 比較，得知兩結構的相似程度為 100% ，如下圖 4.20、圖 4.21 所示：

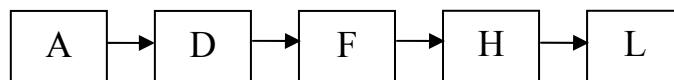


圖 4.20 已知路徑結構

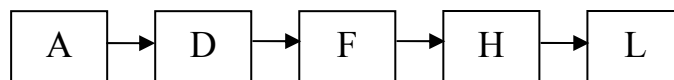


圖 4.21 本研究方法建立之路徑結構

利用本研究所建置的路徑為 B-G-E-J，與假設的路徑作為 B-G-E-J 比較，得知兩結構的相似程度為 100% ，如下圖 4.22、圖 4.23 所示：

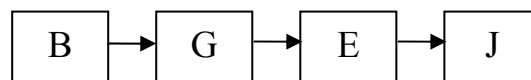


圖 4.22 已知路徑結構

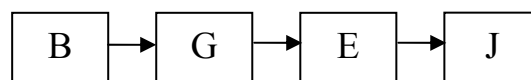


圖 4.23 本研究方法建立之路徑結構

利用本研究所建置的路徑為 C-I-K，與假設的路徑作為 C-I-K 比較，得知兩結構的相似程度為 100%，如下圖 4.24、圖 4.25 所示：

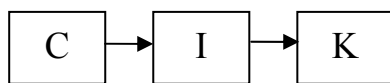


圖 4.24 已知路徑結構

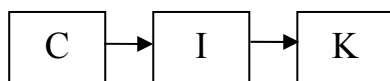


圖 4.25 本研究方法建立之路徑結構



## 4.4 大量教材分析

在本節中探討面對大量的學習單元教材時且為單條學習路徑模式，應用本研究所建立的機制分析時，是否可以分析出路徑的結構。並在4.4.1節中，面對單條路徑結構時的探討分析，且面對含有不規則的資料（混合型資料）時，對於路徑找尋之影響度。在4.4.2節中，面對多條路徑時結構時的探討分析，且面對含有不規則的資料（混合型資料）時，對於路徑找尋之影響度。

#### 4.4.1 大量教材－單條路徑分析

假設已知學習路徑的模式為A-C-F-B-H-G-E-D-I-L-J-M-K-O-R-Q-P-S-T-N，且已知其中閱讀路徑起點為A時，且路徑的片斷資料為150筆，如表4.43，而資料型態為「混合型」資料模式，作為分析探討如下：

表 4.43 150 筆混合型連結片斷性的資料

A	C	I	L	C	F	J	C	J	M	B	F
J	D	B	C	F	G	S	R	N	M	N	S
C	A	J	M	M	K	I	L	F	B	A	D
R	Q	A	C	L	J	C	H	P	K	A	C
A	D	M	D	G	Q	I	L	H	J	I	D
S	N	E	D	A	C	C	F	G	E	T	P
A	E	I	K	F	M	K	D	S	T	B	H
H	S	C	F	G	E	H	G	D	I	P	T
A	R	G	E	P	Q	A	C	M	J	M	K
F	B	N	C	H	C	R	Q	S	G	S	Q
G	N	R	Q	D	I	D	T	F	C	T	S
H	B	K	O	R	O	J	M	S	T	H	G
F	B	M	K	B	H	F	B	R	F	G	T
O	I	E	D	H	J	Q	G	J	M	N	T
O	R	H	G	B	H	P	Q	Q	J	M	Q
K	P	L	J	Q	T	P	S	P	S	M	K
L	F	S	T	O	R	T	B	M	B	E	Q
E	D	Q	P	J	G	J	M	E	D	I	R
N	F	M	P	K	O	L	E	J	I	R	Q
Q	T	J	O	M	B	M	A	E	I	T	L
S	B	F	B	R	O	T	N	S	T	T	N
E	D	C	K	L	K	L	H	T	N	M	K
D	M	G	H	J	K	E	D	K	I	L	J
N	R	G	E	I	R	N	T	R	G	L	K
J	B	B	A	K	E	K	O	J	R	O	N

### 步驟一：資料處理

計算所有次數的發生次數，假設門檻值 $K=0.05$ ，也就是說至少要發生8次，表4.44所示，每個教材單元都有過門檻；而產生的資料格式以兩兩片斷格式，故不再做轉換為片斷的資料模式。

表 4.44 次數單元

教材單元	A (1)	B (2)	C (3)	D (4)	E (5)	F (6)	G (7)
次數	12	17	16	16	15	15	16
教材單元	H (8)	I (9)	J (10)	K(11)	L(12)	M(13)	N (14)
次數	14	13	20	18	12	20	13
教材單元	O(15)	P(16)	Q(17)	R(18)	S(19)	T (20)	
次數	10	10	15	16	14	18	

### 步驟二：資料轉換

將歷程的片斷資料，轉換為路徑次數矩陣，如下表4.45所示。

表 4.45 路徑次數矩陣

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	0	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2	1	0	1	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	5	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
8	0	1	1	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	2	0	0
10	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	5	0	1	0	0	1	0	0
11	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0
12	0	0	0	0	1	1	0	1	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	2	0	1	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	1	1	0	0	0
14	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	2
15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	1
17	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
18	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0
19	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	4
20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	1	0	0	1	0

### 步驟三：矩陣分析模式

建立虛擬矩陣並與路徑次數矩陣相加，產生網路圖矩陣，如下表4.46、表4.47所示。

表 4.46 虛擬矩陣

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

表 4.47 網路圖矩陣

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	1	6	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
2	2	0	2	1	1	2	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2	1	0	1	1	4	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	0	1	1	1	1	3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2
5	1	1	1	7	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
6	1	6	2	1	1	0	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	5	1	0	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2
8	1	2	2	1	1	1	4	0	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
9	1	1	1	2	1	1	1	1	0	1	2	4	1	1	1	1	1	3	1	1
10	1	2	2	2	1	1	2	1	2	0	2	1	6	1	2	1	1	2	1	1
11	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	0	1	1	1	4	2	1	1	1	1
12	1	1	1	1	2	2	1	2	1	4	3	0	1	1	1	1	1	1	1	1
13	2	3	1	2	1	1	1	1	1	2	6	1	0	1	1	2	2	1	1	1
14	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	2	2	3
15	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	0	1	1	3	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	3	1	3	2
17	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	0	1	1	3
18	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	1	5	0	1	1
19	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	0	5
20	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	4	1	2	1	1	2	0

由網路圖矩陣轉換為矩陣分析模式，作為最短路徑的分析模式之距離矩陣；而路徑的距離為相對瀏覽比率 $RT$ ，而網路總次數為530，因此，矩陣分析模式，如下表4.48所示。

表 4.48 矩陣分析模式

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	0	530	88.333	176.67	265	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	265	530	530	
2	265	0	265	530	530	265	530	132.5	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	
3	265	530	0	530	530	132.5	530	265	530	530	265	530	530	530	530	530	530	530	530	530	
4	530	530	530	0	530	530	530	530	176.67	530	530	530	265	530	530	530	530	530	530	265	
5	530	530	530	75.714	0	530	530	530	265	530	530	530	530	530	530	265	530	530	530	530	
6	530	88.333	265	530	530	0	265	530	530	530	530	530	265	530	530	530	530	530	530	530	
7	530	530	530	530	106	530	0	265	530	530	530	530	530	265	530	530	265	530	530	265	
8	530	265	265	530	530	530	132.5	0	530	176.67	530	530	530	530	530	530	530	530	265	530	
9	530	530	530	265	530	530	530	530	0	530	265	132.5	530	530	530	530	530	176.67	530	530	
10	530	265	265	265	530	530	265	530	265	0	265	530	88.333	530	265	530	530	265	530	530	
11	530	530	530	265	265	530	530	530	265	530	0	530	530	530	132.5	265	530	530	530	530	
12	530	530	530	530	265	530	265	530	530	132.5	176.67	0	530	530	530	530	530	530	530	530	
13	265	176.67	530	265	530	530	530	530	530	265	88.333	530	0	530	530	265	265	530	530	530	
14	530	530	265	530	530	265	530	530	530	530	530	530	265	0	530	530	265	265	176.67	530	
15	530	530	530	530	530	530	530	530	265	530	530	530	530	265	0	530	530	176.67	530	530	
16	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	265	530	530	530	530	0	176.67	530	176.67	265	
17	530	530	530	530	530	530	265	530	530	265	530	530	530	530	530	265	0	530	530	176.67	
18	530	530	530	530	530	265	265	530	530	530	530	530	530	530	176.67	530	106	0	530	530	
19	530	265	530	530	530	530	265	530	530	530	530	530	530	265	530	530	265	265	0	106	
20	530	265	530	530	530	530	530	530	530	530	530	265	530	132.5	530	265	530	265	530	265	0

步驟四：路徑分析

應用螞蟻演算法搜尋出最短路徑結構1-3-6-2-8-7-5-4-9-12-10-13-11-15-18-17-16-19-20-14，如下圖4.26所示，因此轉換為教材數為A-C-F-B-H-G-E-D-I-L-J-M-K-O-R-Q-P-S-T-N。

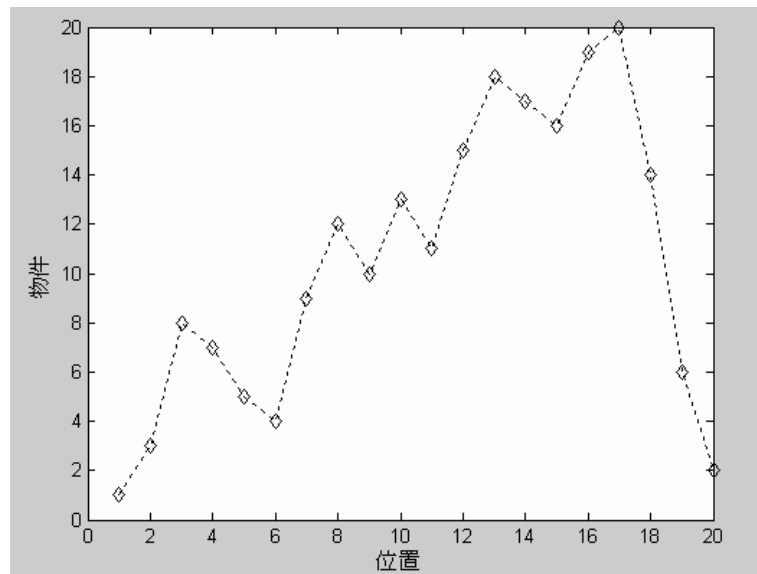


圖 4.26 路徑結構

步驟五：模式比對

將建立出來的路徑結構，將原本矩陣從新排列，因此建立一新矩陣，如下表4.49所示，並檢查黑色部分的路徑中是否有為零值的資料產生，作為路徑的切割點，其中並無產生零值，故沒有產生路徑的切割點，因此，路

徑結構為的學習路徑模式為A-C-H-G-E-D-I-L-J-M-K-O-R-Q-P-S-T-N-F-B。

表 4.49 路徑次數資料

	A	C	H	G	E	D	I	L	J	M	K	O	R	Q	P	S	T	N	F	B
A	0	5	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0
H	0	1	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
G	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
E	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
I	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0
L	0	0	1	0	1	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
J	0	1	0	1	0	1	1	0	0	5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
M	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	5	0	0	1	1	0	0	0	0	2
K	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0
R	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	1	0
Q	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	2	1	0	0	0
S	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	1	0	1
T	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	0	1
N	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	2	0	1	0
F	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
B	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

**驗證比對 (架構的相似性分析)：**

利用本研究所建置的路徑為 A-C-H-G-E-D-I-L-J-M-K-O-R-Q-P-S-T-N-F-B，與假設的路徑作為 A-C-F-B-H-G-E-D-I-L-J-M-K-O-R-Q-P-S-T-N 比較，得知兩結構的相似程度為，如下圖 4.27、圖 4.28 所示：

- a. 由已知的路徑模式中，所有存在之弧線形成的集合  $X = \{(A, C), (A, F), (A, B), (A, H), (A, G), (A, E), (A, D), (A, I), (A,$

L), (A, J), (A, M), (A, K), (A, O), (A, R), (A, Q), (A, P), (A, S), (A, T), (A, N), (C, F), (C, B), (C, H), (C, G), (C, E), (B, T), (B, N) ... (S, T), (S, N) (T, N) }。X 中的弧線中個數 x 為 190 個；如圖 4.27 所示。

b. 本研究分析的最終結果中，所有存在之弧線形成的集合為  $Y = \{(A, C), (A, F), (A, B), (A, H), (A, G), (A, E), (A, D), (A, I), (A, L), (A, J), (A, M), (A, K), (A, O), (A, R), (A, Q), (A, P), (A, S), (A, T), (A, N), (C, F), (C, B), (C, H), (C, G), (C, E), (C, D), (C, I), \dots (N, F), (N, B)(F, B)\}$ 。Y 中的弧線中個數 y 為 190 個；如圖 4.28 所示。

c. 由 a 和 b 可知，X 和 Y 之共同弧線形成個數 y 為 157 個。 $X \cap Y = \{(A, C), (A, F), (A, B), (A, H), (A, G) \dots (T, N)\}$ 。X ∩ Y 中的弧線中個數 m 為 157 個。

由 a，b 和 c 可計算出 X 和 Y 之間相似性的 Jaccard 係數為

$$\frac{m}{x+y-m} = \frac{157}{190+190-157} = 0.70$$

，由此可知，兩結構的相似程度為 70%

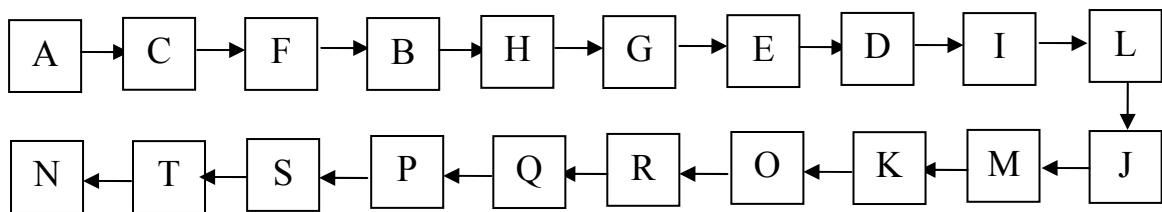


圖 4.27 已知路徑結構

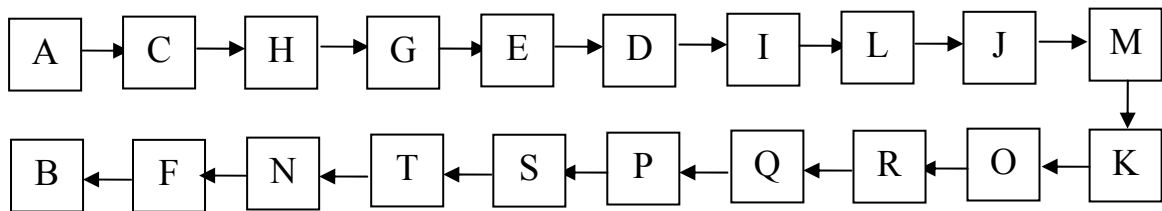


圖 4.28 本研究方法建立之路徑結構

### 路徑結構的分析探討：

其中，發現路徑結構已經與預測已知的路徑結構有些許的誤差；因此，探討為何會產生些許的誤差，而本研究對於路徑結構的找尋以螞蟻演算法進行，而螞蟻演算法中的參數—搜尋的代數，可能會影響路徑分析，故再重新調整搜尋的代數作為分析探討。

本研究在路徑分析中發現，利用螞蟻演算法的搜尋，將因為螞蟻演算法的參數設定—搜尋代數關係，有不同的結果；因此，探討增加代數搜尋的過程，如下圖所示，圖4.29為2000代所建立路徑結構、圖4.30為3000代所建立路徑結構。

原本搜尋的代數設定值是以利用1000代，如圖4.26所示，所建立的路徑結構為1-3-8-7-5-4-9-12-10-13-11-15-18-17-16-19-20-14-6-2，轉換為教材數為A-C-H-G-E-D-I-L-J-M-K-O-R-Q-P-S-T-N-F-B；而本研究重新調整代數的設定值，將調整為2000代與3000代來建立路徑結構，而利用新的搜尋代數所建立的路徑結構穩定為1-3-6-2-8-7-5-4-9-12-10-13-11-15-18-17-16-19-20-14，轉換為教材數為A-C-F-B-H-G-E-D-I-L-J-M-K-O-R-Q-P-S-T-N；且回去做比對的結果，與假設的路徑結構是相同的。

故由中發現到代數的次數增加時，會增加時間的搜尋結果，也會增加路徑結構的找尋之正確性；因此，面對較大量的教學單元時，需要調整代數的設定，會影響結果的找尋；但對於路徑的找尋結果來說，只要增加代數還是可以尋找出正確的路徑結果。

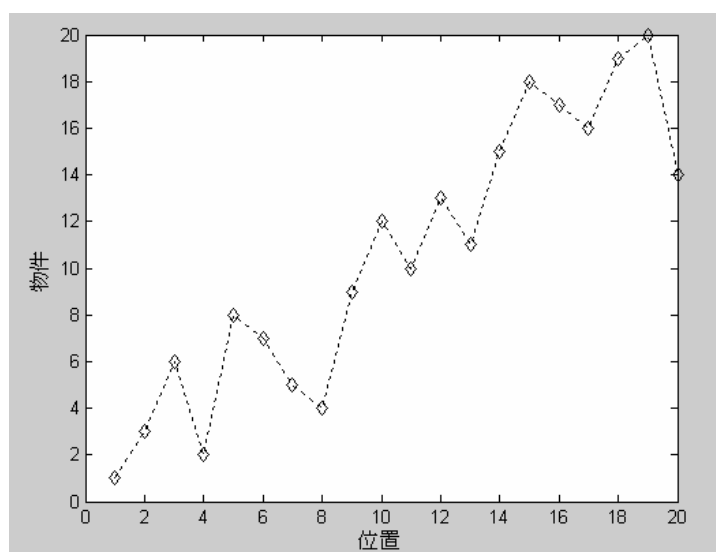


圖 4.29 2000 代的路徑結構



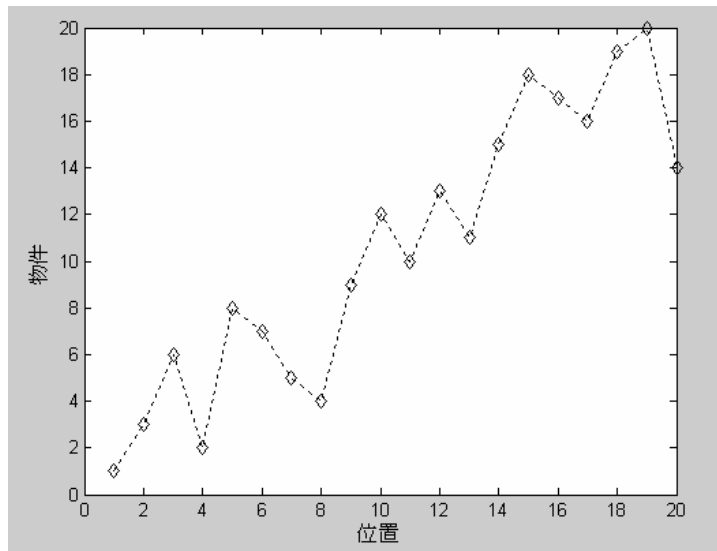


圖 4.30 3000 代的路徑結構

#### 4.4.2 大量教材—多條路徑分析

假設已知三條學習路徑的模式為W-S-N-M-G-H-I-A-D-F-C-B、K-J-E-L-O-R-Q-P-T-U、V-X-Z-Y- $\gamma$ - $\alpha$ - $\beta$ - $\delta$ ，且已知其中閱讀路徑起點為W時，且路徑的片斷資料為450筆，如表4.50，而資料型態為「混合型」資料模式，作為分析探討如下：

表 4.50 路徑的片斷資料為 500 筆

W	S	S	N	N	M	M	G	G	H	H	I	I	D	A	D	D	F	F	C
G	H	H	I	H	I	I	D	D	F	D	F	F	C	K	J	P	U	J	E
W	S	H	I	G	H	M	G	D	F	F	C	C	B	P	K	K	J	K	J
M	G	N	M	S	N	I	A	A	D	F	C	N	C	K	J	U	K	W	K
W	S	M	G	S	M	A	D	D	F	I	A	G	D	M	G	P	K	K	J
M	G	N	M	N	M	A	D	S	W	W	S	W	S	F	B	Q	K	J	E
W	S	W	S	W	S	W	S	F	D	D	B	B	G	J	E	K	J	J	E
G	H	M	G	H	I	D	F	F	B	F	A	B	F	S	N	S	N	K	J
W	N	N	M	N	M	D	F	S	N	W	C	S	N	H	I	H	I	H	I
M	G	G	H	S	N	S	N	C	B	S	N	K	J	N	M	E	L	N	M
S	W	M	N	H	I	F	C	M	G	A	B	K	T	K	L	N	M	C	B
N	W	N	M	G	H	F	C	N	M	A	D	G	H	K	E	E	L	C	B
A	W	M	G	N	M	G	H	M	G	S	N	H	I	K	J	N	M	R	Q
G	H	N	M	S	N	S	N	G	H	H	I	N	M	O	J	C	B	R	O
B	W	I	A	D	F	A	D	S	N	M	G	A	D	J	E	W	S	R	Q
A	D	I	A	D	F	F	C	S	W	G	H	J	E	F	C	R	O	W	S
A	D	M	G	F	C	M	G	H	I	H	I	G	H	W	S	R	L	K	J
B	S	A	D	F	C	D	B	C	B	G	H	F	C	T	L	R	Q	O	R
F	W	F	C	G	H	G	H	G	H	B	A	C	B	C	B	W	L	O	R
A	D	F	C	I	A	C	B	B	H	F	C	I	A	C	B	Q	L	E	L
I	A	C	B	I	A	C	B	I	A	C	B	I	A	S	W	O	R	L	U
I	A	C	B	N	W	E	L	I	A	C	B	L	O	E	L	E	L	S	W
F	C	E	L	M	A	N	M	H	C	N	M	E	L	L	O	I	A	I	A
L	O	E	L	C	B	L	O	E	L	O	R	L	O	L	O	I	A	I	A
O	R	L	O	C	B	L	O	O	R	L	O	O	R	O	R	E	L	L	O

R	Q	Q	P	Q	P	P	T	$\delta$	$\gamma$	R	Q	$\alpha$	$\beta$	T	U	Z	Y
Q	P	T	U	P	T	V	X	Y	$\gamma$	$\gamma$	Y	$\gamma$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	Z	$\gamma$
T	U	T	U	V	X	V	X	$\delta$	$\gamma$	Y	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	$\alpha$	Z	$\beta$
R	Q	K	E	V	X	V	$\alpha$	P	T	$\alpha$	$\beta$	$\beta$	$\gamma$	R	Q	Z	Y
T	U	K	P	V	Z	R	Q	P	T	R	Q	$\gamma$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	Z	$\gamma$
U	K	R	Q	V	Y	V	X	$\alpha$	$\beta$	Y	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	Z	$\gamma$	Z	$\beta$
P	T	K	T	$\delta$	V	V	$\alpha$	$\alpha$	$\beta$	Y	$\gamma$	$\gamma$	V	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	Z
U	J	K	L	P	T	V	X	Y	$\gamma$	P	T	V	X	$\beta$	$\alpha$	$\gamma$	$\beta$
U	E	K	E	V	X	V	X	Y	$\gamma$	Y	$\alpha$	$\beta$	V	$\gamma$	$\alpha$	Y	Z
U	L	K	O	Y	V	V	X	$\delta$	$\alpha$	Y	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	J	L	Z	Y
U	O	K	U	V	X	V	Z	Y	$\gamma$	$\delta$	X	X	Z	J	L	$\beta$	$\gamma$
U	T	J	Q	V	X	V	Y	Y	$\gamma$	Y	$\gamma$	T	U	O	J	Z	$\alpha$
Q	P	J	R	V	X	Q	P	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	K	J	$\gamma$	$\alpha$
T	U	T	U	$\alpha$	V	V	X	$\beta$	$\delta$	$\beta$	$\delta$	$\beta$	$\delta$	R	J	Z	$\alpha$
O	Q	T	U	$\gamma$	V	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	Y	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	T	J	$\alpha$	Z
O	T	J	L	V	X	V	X	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	Z	$\beta$	Z	X	$\gamma$	$\alpha$
O	U	E	O	$\gamma$	X	Y	$\gamma$	Y	$\delta$	Y	X	Y	$\delta$	Y	X	$\beta$	Z
O	E	E	R	P	T	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	T	U	Y	$\beta$	X	Z	$\beta$	$\alpha$
J	O	E	Q	P	T	Y	$\gamma$	P	T	$\beta$	$\delta$	$\gamma$	$\beta$	X	Z	$\alpha$	$\delta$
L	O	L	P	T	U	$\gamma$	$\alpha$	T	U	$\beta$	$\delta$	$\alpha$	$\beta$	X	Z	$\beta$	$\delta$
T	O	L	T	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$	$\delta$	$\gamma$	$\delta$	Q	P	Z	Y	$\beta$	$\delta$
U	K	O	U	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	Q	P	$\beta$	$\delta$	$\alpha$	$\beta$	Z	Y	$\delta$	$\gamma$
U	J	O	T	$\beta$	$\delta$	$\alpha$	$\beta$	$\beta$	$\delta$	Q	P	$\alpha$	$\beta$	Z	Y	Y	$\gamma$
P	T	O	Q	Q	P	$\alpha$	$\beta$	Q	P	$\alpha$	$\beta$	T	U	Z	Y	Z	$\gamma$
U	O	R	R	$\beta$	$\delta$	$\beta$	$\delta$	$\beta$	$\delta$	Q	P	$\alpha$	$\beta$	Z	Y	$\gamma$	Z

步驟一：資料處理

計算所有次數的發生次數，假設門檻值 $K=0.05$ ，也就是說至少要發生24次，如表4.51所示，每個教材單元都有過門檻；而產生的資料格式以兩片斷格式，故不再做轉換為片斷的資料模式。

表 4.51 次數單元

教材單元	A (1)	B (2)	C (3)	D (4)	E (5)	F (6)	G (7)
次數	32	28	35	26	25	30	32
教材單元	H (8)	I (9)	J (10)	K (11)	L(12)	M(13)	N(14)
次數	31	31	29	28	35	34	35

教材單元	O(15)	P (16)	Q (17)	R (18)	S(19)	T (20)	U(21)
次數	36	27	27	26	32	33	28
教材單元	V(22)	W(23)	X (24)	Y (25)	Z(26)	$\alpha$ (27)	$\beta$ (28)
次數	28	26	25	33	29	45	51
教材單元	$\gamma$ (29)	$\delta$ (30)					
次數	45	28					

### 步驟二：資料轉換

將歷程的片斷資料，轉換為路徑次數矩陣，如下表4.52所示。

表 4.52 路徑次數矩陣

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	1	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	3	0	0	0	0	11	0	2	0	0	1	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	9	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	0	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	1	0	0	0	0	2	3	1	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	2	2	2	0	0	0
23	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	1	1	14	2	0	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	0	2	3	4	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	21	0	1	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	2	15	0	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	2	10	4	0	2	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	0	3	0	

### 步驟三：矩陣分析模式

建立虛擬矩陣並與路徑次數矩陣相加，產生網路圖矩陣，如下表4.53、表4.54所示。



表 4.55 矩陣分析模式

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1	0	672.5	1345	112.08	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
2	672.5	0	1345	1345	1345	672.5	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
3	1345	74.722	0	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
4	1345	440.33	1345	0	1345	134.5	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
5	1345	1345	1345	1345	0	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	672.5	1345	672.5	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
6	672.5	440.33	84.063	672.5	1345	0	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
7	1345	1345	1345	672.5	1345	1345	0	79.110	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
8	1345	1345	672.5	1345	1345	1345	1345	0	96.071	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
9	79.110	1345	1345	440.33	1345	1345	1345	1345	0	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
10	1345	1345	1345	1345	190.14	1345	1345	1345	1345	0	1345	336.25	1345	1345	672.5	1345	672.5	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
11	1345	1345	1345	1345	336.25	1345	1345	1345	1345	112.08	0	440.33	1345	1345	672.5	672.5	1345	1345	1345	1345	440.33	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
12	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	0	1345	1345	112.08	672.5	1345	1345	1345	1345	672.5	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
13	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	0	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
14	1345	1345	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	74.722	0	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	440.33	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
15	1345	1345	1345	1345	672.5	1345	1345	1345	440.33	1345	1345	1345	1345	0	1345	440.33	149.44	1345	440.33	440.33	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
16	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	440.33	1345	1345	1345	1345	0	1345	1345	1345	1345	112.08	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
17	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
18	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	672.5	1345	672.5	1345	1345	440.33	1345	122.27	0	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
19	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	672.5	96.071	1345	1345	1345	1345	1345	0	1345	1345	1345	224.17	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
20	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	672.5	1345	672.5	1345	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	0	96.071	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
21	1345	1345	1345	1345	672.5	1345	1345	1345	440.33	336.25	672.5	1345	1345	440.33	1345	1345	1345	1345	1345	672.5	0	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
22	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	0	1345	79.110	440.33	440.33	440.33	1345	1345		
23	1345	1345	1345	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	672.5	672.5	1345	672.5	1345	1345	1345	1345	1345	103.46	1345	1345	1345	0	1345	1345	1345	1345	1345	1345		
24	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	0	1345	209	1345	1345	1345		
25	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	672.5	1345	440.33	0	672.5	672.5	672.5	89.667	440.33	
26	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	
27	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	672.5	0	61.136	1345	672.5
28	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	672.5	336.25	0	440.33	84.063
29	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	440.33	1345	672.5	672.5	440.33	122.27	209	0	440.33
30	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	1345	672.5	1345	672.5	1345	336.25	1345	336.25	0

步驟四：路徑分析

應用螞蟻演算法搜尋出最短路徑結構23-19-14-13-7-8-9-1-4-6-3-2-22-24-26-25-29-27-28-30-11-10-5-12-15-18-17-16-20-21，如下圖4.31所示，因此轉換為教材數為W-S-N-M-G-H-I-A-D-F-C-B-V-X-Z-Y-γ-α-β-δ-K-J-E-L-O-R-P-T-U。

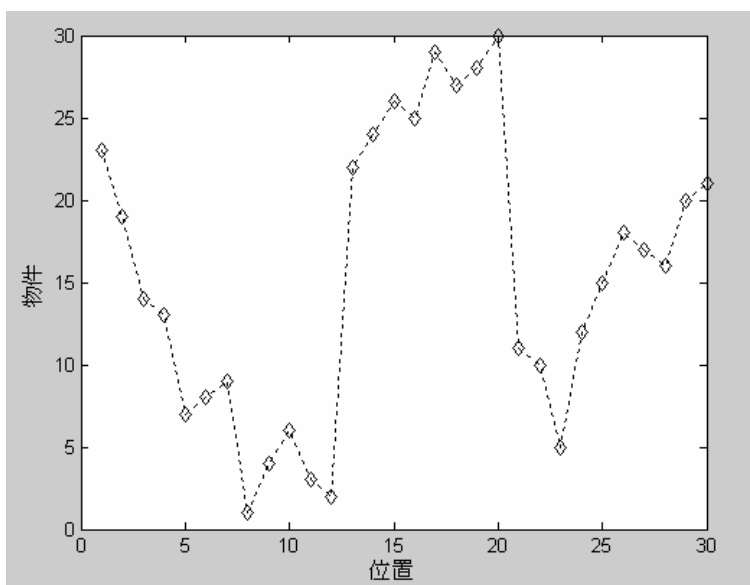


圖 4.31 路徑結構

步驟五：模式比對

將建立出來的路徑結構，將原本矩陣從新排列，因此建立一新矩陣，如下表4.56所示，並檢查黑色部分的路徑中是否有為零值的資料產生，作為

路徑的切割點，在教材B往教材V部分與教材δ往教材K部分為零值，故V、K為路徑的切割點，因此，路徑結構為的學習路徑模式為 W-S-N-M-G-H-I-A-D-F-C-B、K-J-E-L-O-R-Q-P-T-U、V-X-Z-Y-γ-α-β-δ。

表 4.56 路徑次數資料

	W	S	N	M	G	H	I	A	D	F	C	B	V	X	Z	Y	γ	α	β	δ	K	J	E	L	O	R	Q	P	T	U	
W	0	12	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
S	5	0	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
N	2	0	0	17	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
M	0	0	1	0	14	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
G	0	0	0	0	0	16	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
H	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
I	0	0	0	0	0	0	0	16	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
A	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
F	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8	0	2	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	14	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
γ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	1	0	10	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
α	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
β	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	3	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
δ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	3	2	1	1	1	1	0	2	1
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3	1	1	1	1	0	0	
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1	1	1	1	0	0	
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	1	1	1	
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	8	0	0	2	2	
R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	1	10	0	0	0	
Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	11	0	0	
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	11	1	
T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	13	
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	1	2	0	0	0	1	0	

驗證比對（架構的相似性分析）：

利用本研究所建置的路徑為 W-S-N-M-G-H-I-A-D-F-C-B，與假設的路徑作為 W-S-N-M-G-H-I-A-D-F-C-B 比較，得知兩結構的相似程度為 100%，如下圖 4.32、圖 4.33 所示：

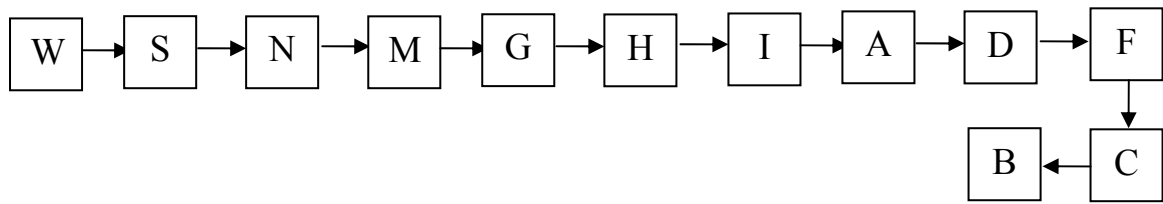


圖 4.32 已知路徑結構

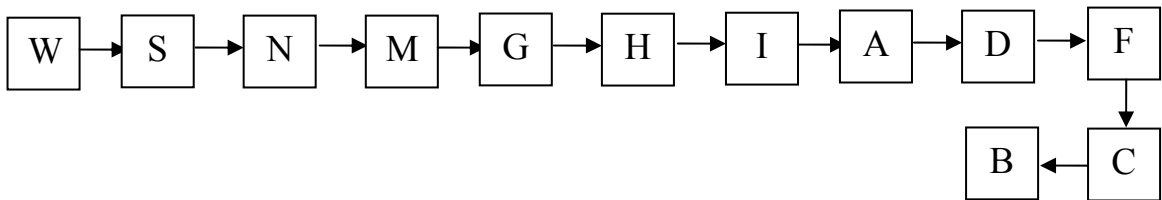


圖 4.33 本研究方法建立之路徑結構

利用本研究所建置的路徑為 K-J-E-L-O-R-Q-P-T-U，與假設的路徑作為 K-J-E-L-O-R-Q-P-T-U 比較，得知兩結構的相似程度為 100%，如下圖 4.34、圖 4.35 所示：

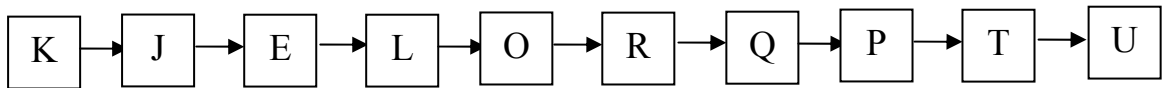


圖 4.34 已知路徑結構

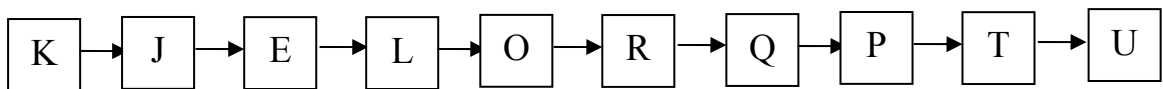


圖 4.35 本研究方法建立之路徑結構

利用本研究所建置的路徑為 V-X-Z-Y- $\gamma$ - $\alpha$ - $\beta$ - $\delta$ ，與假設的路徑作為 V-X-Z-Y- $\gamma$ - $\alpha$ - $\beta$ - $\delta$  比較，得知兩結構的相似程度為 100%，如下圖 4.36、圖 4.37 所示：

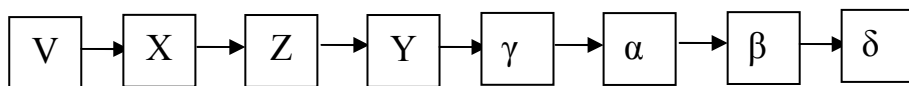




圖 4.36 已知路徑結構

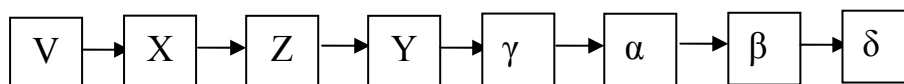


圖 4.37 本研究方法建立之路徑結構

## 第五章 結論與未來研究方向

### 5.1 結論

本研究期望從矩陣模式的方式分析出學習行為的模式，並以本研究所提出的研究機制流程步驟，應用學習者所建立的歷程資料分析出路徑結構模式，而本研究假設路徑模式中的結構是已知，探討對於路徑找尋之影響度，並以此機制方法分析資料集，以可能產生的資料集做研究分析，探討網路上可能紀錄的學習歷程資料，藉由第四章實驗驗證得到下面結論：

1. 對於面對不完整的資料情況下，藉由本研究所建立的步驟流程機制中，可以建立出一完整的學習路徑模式。
2. 就資料的關係性來說，面對單條路徑時，對於：直接連結、非直接連結、回溯連結和混合型連結等資料，都可確實的尋找出已知假設的路徑結構，且路徑結構相似度也與假設相同。
3. 探討多條路徑的結構模式，面對網路上可能所建立的結構中，是有多條路徑的產生；因此，應用本研究所建立出的方法，也是可建立出路徑的結構模式，且路徑結構相似度也與假設相同。
4. 探討教材單元數為大量且單條路徑結構研究中，在找尋路徑的過程中發現，對於面對大量教材單元時的路徑搜尋時，需要較大代數作為搜尋，其中代數為螞蟻演算法中的參數設定，不然會影響到路徑結構的找尋過程；因此，面對較大的教材時，搜尋的代數最好是要增加，不然對於路徑分析的正確性會受到影響。

本研究所建立的貢獻主要為建置一個有效的學習路徑分析方法，提供學習者一建議的引導學習之路徑模式與瀏覽學習教材的次序。

### 5.2 未來研究方向

藉由本研究提供之學習路徑分析模式，在未來發展可應用於不同課程中的學習路徑建立，提供學習者一學習引導路徑模式，減少迷失過程。對於未來的研究方向可加入幾點分析，更可讓網路教學系統達到適性化教學

之目的：

1. 本研究對於教材篩選的門檻值部分，是以教材的發生頻率作為標準，在本研究門檻值部分假設是固定常數值，且並未做詳細的探討分析，在未來的研究方向中，可藉由領域專家知識的制訂，針對此項進行分析探討。
2. 未來針對單元教材作分析，可對於不同的學習目的給於不同教材單元及學習路徑的引導方向。
3. 本研究所探討的主要以線性的路徑作為討論，對於樹狀結構的研究並無做探討，故在對於未來研究中可藉由探討以樹狀結構的找尋。
4. 未來研究中可加入使用者模式（User Modeling）探討，針對不同背景的學習者作分析，可對使用者的特徵做分群的動作，並應用本研究的方法安排學習路徑，提供個人化的學習路徑與個人化的學習教材。
5. 可加入電腦測驗的分析方式，探討學習者對於教材單元的瞭解程度，並利用收集的歷程資料作為分析，找出學習者對於教材單元缺乏的部分加以補強。

## 參考文獻

- 巫靜宜，「比較網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，2000。
- 卓輝泰，「依學習風格建構中學適性數位學習模式之研究」，國立中正大學資訊工程研究所，碩士論文，2002。
- 涂文祥，「分析學習路徑以輔助網路學習行為評量之研究」，國立台灣大學土木工程學研究所，碩士論文，2003。
- 陳鴻基，「虛擬大學的發展與未來展望」，2000年虛擬大學研討會，2000。
- 陳品仲，「網路學習標準的分析與比較」，國立中山大學資訊管理研究所，碩士論文，2002。
- 陳文森，「非同步網路教學學習路徑的研究」，國立高雄師範大學資訊教育研究所，碩士論文，2003。
- 陳明傳、莊良寶，「知識圖建構對網路化學習的影響」，第八屆國際電腦輔助教學研討會論文集，1998。
- 陳芸霈，「從學習歷程記錄檔動態建構決策法則以支援適性化教學」，國立中山大學資訊管理研究所，碩士論文，2004。
- 許永洲，「以專家系統觀念為基礎之學習路徑指導系統研究」，臺中商專學報，21期，頁 373-382，1989。
- 許峰銜，「網路學習之適性化教學設計與學習成效評估」，國立中山大學資訊管理學系研究所，碩士論文，2004。
- 童宜慧、張基成，「網路化學習歷程檔案系統」，1996年國際電腦輔助教學研討會，1996。
- 曾憲雄、蔡昌均，「結構化教學資源庫的設計與實作」，遠距教育，第十期，頁7-14，1999。
- 張智星，MATLAB程式設計與應用，清蔚科技，2000。
- 楊家興，「超媒體：一個新的學習工具」，教育科技與媒體，第十二期，頁28-39，1993
- 楊岱霖，「動態適性化學習系統之研究」，元智大學電資與資訊工程研究所，碩士論文，2002。
- 蔡旻芳，「網路學習之學習歷程分析系統」，國立中山大學資訊管理學系研究所，碩士論文，2001。
- 蔡孟勳，「非同步教學個人化評量機制」，國立高雄師範大學工業科技教育研究所，碩士論文，2000。
- 劉惠如，「整合式網路教學之教學設計與評量」，國立中山大學資訊管理研究所，碩士論文，1999。
- 劉明洲、陳龍川、壽大衛、林鴻龍，「網頁課程之適性化學習設計研究」，教育部八十

- 八年度委託專題研究計畫報告書，1999。
- 劉昌憲，「蟻拓物件分群尋優法及系統開發架構」，國立台灣大學工業工程學研究所，碩士論文，2003。
- 劉晨鐘，「網路學習歷程之知識探索：學習效能評鑑之工具」，國立中央大學資訊工程研究所，博士論文，2000。
- 顏龍源，「Internet上遠距教學系統設計之研究」，國立台灣師範大學. 資訊教育研究所論文，1996。
- Adriaans P. and D. Zantinge, "Data Mining," *Addison Wesley Longman*, 1996
- Agrawal, R., T. Imielinski, and A. Swami., "Mining Association Rules between Sets of Items in Large Database," *Proceedings Of the ACM-SIGMOD Conference On the Management of Data*, pp 207-216, 1993.
- Agrawal, R., and R. Srikant, "Fast Algorithms for Mining Association Rules," *Proceedings of Conference On Very Large Data Base*, pp.478-499, 1994.
- Beasley, R. E., and M. L. Waugh, "The effects of content-structure focusing on learner structural and disorientation in a hypermedia environment," *Journal of Research on Computing in Education*, 28 (3) , pp.271-281, 1996.
- Borsook, T.K. and N. Higginbotham-Wheat, "Interactivity: What is It and What Can It Do for Computer-Based Instruction?," *Educational Technology*, 3 (10) , pp 11-17, 1991.
- Brusilovsky, P., "User Modeling and User-Adapted Interaction," *Adaptive Hypermedia*, Vol. 11, pp 87-110.,2001.s
- Cabena P., P. Hadjinian, R. Stadler, J. Verhees and A. Zanasi, "Discovering Data Mining From Concept to Implementation," *Prentice-Hall Inc.*, 1997.
- Chen M.S., J. Han, and P.S. Yu, "Data Mining: An Overview from a Database Perspective," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 8, No. 6, 1996.
- Dorigo M. and L.M. Gambardella., "Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(1), pp 53-66, 1997.
- Fayyad, U., G. Piatetsky-Shapiro and P. Smyth, "From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases," *Artificial Intelligence Magazine*, pp 37-54, 1996.
- Hannafin, M. J., and M. Colamaio, " The effects of variations in lesson control and practice on learning from interactive video," *Educational Communication and Technology Journal*, 35, pp 203-212, 1987.
- Heller, R. S., "The role of hypermedia in education: A look at the research issues," *Journal of Research on Computing in Education*, 22, pp 431-441, 1990.
- Horney, M. A., "A measure of hypertext linearity," *Journal of Educational*, 2(1),pp 67-82, 1993
- Jonassen, D. H. "Designing structured hypertext and structuring access to hypertext," *Educational Technology*, 28(11), pp 13-16, 1988

- Kearsley, K., "The World Wide Web: Global access to education," *Educational Technology*, 5, pp 26-30, 1996.
- Lawless, K. A. and J. M. Kulikowich, "Domain knowledge, interest and hypertext navigation: A study of individual differences," *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 7(1), pp 51-69, 1998.
- Lenin, J. A., M. L. Waugh, and K. Smith, "Observations on Educational Electronic Networks: The Importance of Appropriate Activities for Learning," *The Computing Teacher, International Society for Technology in Education*. Vol.16, 1989.
- Pieter, Adriaans and Dolf, Zantinge, "Data Mining," *Addison Wesley*, 1996.
- Rada, R. and C. Murphy, "Searching versus browsing in hypertext. Hypermedia," 4(1), pp 125-134, 1992.
- Riding, R. J. and I. Cheema, "Cognitive styles— an overview and Integration," *Educational Psychology*, 11, pp 193-215, 1991.
- Relan, A., "Promoting better choices: effects of strategy training on achievement and choice behavior in learner-controlled CBI," *Journal of Educational Computing Research*, 13 ( 2 ) , pp 129-149, 1995.
- Shores, Elizabeth F. and Cathy. Grace, "The Portfolio Book A Step-by-Step Guide for Teachers," *Gryphon House, Inc.*, 1998.
- Smith, K. and H. Tillema, "Evaluating portfolio use as a learning tool for professionals," *Scandinavian Journal of Educational Rresearch*, 42(2), pp 193-205., 1998.

## 附錄一 口試相關資料

潘忠煜 老師

### ◆ 建議

1、在本文的部分，將圖表的行列位置，做細部的調整，以便讀者方便閱讀。

回應：已調整修正。

### ◆ 問題

1、為什麼選擇用螞蟻演算法？

回應：螞蟻演算法在 Dorigo 的經典文獻，有最佳的最佳化求解的表現因此利用此點的優點進行分析。

2、在第 12 頁如果假設是未知的情形下，有多大的影響性？

回應：但本研究室進行機制性探討，在此假設下有不錯的結果。我們有相當好的理由相信，在其它假設下也應有水準以上的表現。

3、在問題假設中的第四點假設，何謂非直線與方向性？

回應：所謂非直線的關係，就是表網路上可能產生的行為模式，如：回溯、非直接、混合型的連結關係產生；而所謂方向性，表示教材之間的相互關係性。

4、在第 16 頁中的 K 值的定義是如何決定的？它的範圍為何？

回應：本研究所建立的 K 值為門檻值的分析，為依據不同專家的領域範圍與制訂所建立不同的門檻，而本研究以固定值 0.05 為門檻作為分析；因此，在未來研究方向為可依據專家領域作為分析探討。

5、在第 18 頁中，二維矩陣的用意，有無其他方式嗎？目的為何？

回應：本研究所建立的矩陣分析，主要目的是以方便分析以系統化的分析方法，並轉至為螞蟻演算法並應用 Matlab 作為分析，而如何表現對於結果無重大影響。

6、在第 36 頁中，疊代數較 ”大” 的意思是指？有無作敏感度分析？

回應：所謂疊代數較大，為疊代數為大量的次數，在於本研究以大於 1000 為較大的疊代數，而大量的搜尋次數可更精準的分析。對於敏感度分析並無做詳細討論，並加入於未來的研究方向，以

作為分析討論。

王偉華 老師

◆ 建議

1、面對多條路徑的大量教材時並未分析，應用本研究可進行分析。

回應：已加入分析討論。

2、在第 66、69 頁中，matrix 圖表標示錯誤。

回應：已調整修正。

◆ 問題

1、解決的什麼樣的問題？

回應：數位學習中的學習路徑探討。

廖仁傑 老師

◆ 建議

1、在第 36 頁中，如圖標示錯誤。

回應：已調整修正。

◆ 問題

1、代數與樣本之間是要如何取捨？

回應：代數與樣本的詳細探討，以加入在未來研究方向中。

2、樣本值的產生？

回應：本研究以分析學習行為作為探討，並以建立出的架構進行分析，其中樣本值的部分，以假設的路徑結構下，隨機的產生資料行為。