

以 Van Hiele 認知模式與貝氏網路建構智慧型程式語言診斷與推薦學習機制

陳景蔚

Southern Taiwan

University, Taiwan, ROC

Email:peterchen@mail.stut.

edu.tw

郭文真

Southern Taiwan

University, Taiwan, ROC

Email:sabrina0204@mail.st

ut.edu.tw

洪盟宗

Southern Taiwan

University,, Taiwan, ROC

Email:m9790301@webmai

l.stut.edu.tw

陳龍川

Southern Taiwan

University, Taiwan, ROC

Email:lchen@mail.stut.edu.

tw

一、摘要

現今數位學習的程式語言教學環境大皆具備多元化的教學內容及多媒體的教學媒介，然而其教材主題及內容的呈現，卻經常無法有效的根據學習者的認知現況與學習缺口做出精確的推薦與調整。本研究旨在貝氏網路及學習者個人信心確定度的架構上，將 Van Hiele 的圖形與空間思考模式之理論(Van Hiele Model)與認知學派的學習層次及錯誤類別加以整合，提出一智慧型程式語言診斷與推薦學習之教導模式參考架構。研究發現學習者從視覺化的刺激與練習開始出發，經歷描述、涉入、邏輯推演、抽象模組化等五階段的教學程序及步驟，加上貝氏網路精準的診斷與推薦，確能有效的減低學生在學習程式設計上所可能遭遇到的挫折與困難，增進學生學習興趣，進而達到提升學生程式設計能力的目的。而築基於非循環有向圖的邏輯思考模式，更能有效的將不同學習節點間之相關性及次序性加以串接，形成最有效的課程概念。

本研究成功的以南縣兩所科技大學資訊相關系所共 58 名學生的問卷調查及專家意見，來建構貝氏引擎內的先期機率表，未來將實作出完善的網路平台，藉由收集更多學生練習與填答的樣本資料，來修正機率數據，以避免貝氏推薦機

制在小樣本數的操作情況下，受到極端樣本的影響，達到最適診斷與推薦目標。

關鍵詞：Van Hiele Model、貝氏網路、認知模式、適性推薦

二、研究背景與目的

電腦的興起，引發教學環境的大革命，從傳統教師口授教學到循序漸近式的電腦輔助教學（Computer Assisted Instruction, CAI）系統，演變到現今具有人工智慧的適性化網站教學系統，每次系統的躍進，皆是為了提供學習者一個更優良的平台，以滿足學習所需之各種情況。

目前的網路教學研究主流，集中在如何建立有效的、適性化的個人推薦機制[4]。因此，本研究提出一個使用貝氏網路的機率，輔以 Van Hiele 的圖形與空間思考模式理論及程式學習認知理論，做為學習順序之推薦引擎[5]若學習者答對測驗題目即代表該單元已熟悉，且已具備下一學習單元的先備知識。因此，系統便會推薦新的學習單元。然而，學習除了具有次序性外，尚存在著層級或層次的概念，每一層級的學習是為了奠定下一個層級的學習基礎。因此，若只是單純的採用貝氏網路進行推薦機制，將很難精確發現學習者其真正學習障礙是落在哪一層次。

本研究延續先前研究[3]仍採用 Van Hiele Model 之理論以了解學習者之現有學習層級狀

況，再運用貝氏網路及程式設計的五個認知類別來鑑定學習者在現有層級上所欠缺的能力缺口，並適時的提供合適的教材，以達到適時診斷、適性教學的目的。

三、文獻探討

(一) Van Hiele Model

Van Hiele Model 是由荷蘭的數學家 Pierre van Hiele 和 Dina van Hiele-Geldorf 夫婦於 1957 年從建構幾何學的角度提出學童發展的引導架構[11]，並從中發現學習者所遇到的困難點。

Van Hiele Model 的五個層級(level 0~4)分別為：視覺階段 (Visualization)、分析階段 (Analysis)、非形式演繹階段 (Informal Deduction)、形式演繹階段 (Deduction)、嚴密性 (Rigor)[7]。根據程式設計的學習特性，Chen[5] 重新定義 Van Hiele Model 的五個層級分別為 Level 0 識別期 (Visualization)—學習者透過視覺上的刺激進而了解程式語言內的單字、符號與語法圖的表面意義，並且可以簡單的描繪和複製語法圖；Level 1 描述關聯期 (Descriptive and Relations) — 學習者對於一些簡單的相關問題可以透過模擬和分析設計架構的特性，進而解決問題；Level 2 涉入期 (Implication) — 學習者已可了解結構中的重要定義，並且對於相似的結構可用正確的定義解釋其特性；Level 3 邏輯推演期 (Logic Modification and Analogy) — 學習者已有能力領悟正確的邏輯觀念，並能用自己構想的演算法解決問題；Level 4 模組化 (Abstraction and Modeling) — 能隨意使用高階且嚴謹的邏輯思考來分析並有效的解決問題。這五個層級同樣擁有次序性與進展性，學習者必須循序漸進在擁有前一層級的構想概念和策略下，才能有效的學習下一階段的知識；從一層級到下一層級是透過適當的教導和學習者的經驗累積而跨越的。

(二) Cognitive Model

程式設計的初學者常會發生語法結構的錯誤、規劃組合錯誤、程式設計環境的不了解和無法尋得幫助等因素，使得學習程式語言更加複雜和困難。因此 Liffick 和 Ailen[9] 針對不同程式設計的學習歷程，將學習者的犯錯樣式規劃為 5 個認知類別 (Cognitive Class)：Class 0 詞彙 (Lexical)：指令單字的拼字；Class 1 句法 (Syntactic)：指令的語法；Class 2 語義 (Semantic)：指一單獨的指令敘述句的語義；Class 3 概要 (Schematic)：程式規劃中配置多個指令敘述句，各個敘述句的概要合理性；Class 4 概念 (Conceptual)：應用已設計好用來解決相關問題領域的函數時的整體概念。

學習者的 5 種犯錯樣式，在實作階段，即代表每一不同學習單元的 5 種學習深度及錯誤類別。因此，為求精確定義錯誤類別為何，本研究將 5 個不同認知類別解釋為 5 個錯誤類別。

(三) 貝氏網路

貝氏網路 (Bayesian Network) 是一個用圖形化和使用機率來描述變數之間關係強弱的網路結構，每一個節點表示一個物件 (Object)，兩個節點間的連線 (Link) 表示兩個物件間的因果關係。貝氏網路也被稱為信賴網路 (Belief Network)、因果網路 (Probabilistic Causal Network) 或機率網路 (Probabilistic Network)[2]。

貝氏網路是根據貝氏在 1763 年發表的貝氏方法為基礎所發展出來的一個不允許有方向性循環 (Directed Acyclic Graph) 存在的有向性圖形模式 (Directed Graphical Model)。圖形模式是由「節點」和「連線」所組成，每個節點代表該領域的一項變數，沒有和其他節點有連線的代表獨立變數。若一連線由節點 X 指向 Y (X 變數影響 Y 變數)，則稱 X 是 Y 的父節點 (Parent)；Y 則是子節點 (Child Node)。每個節點包含事前機率表 (Prior Probability Table) 和根據條件機率的分布

(Conditional Probability Distribution,CPD)使用條件機率表(Conditional Probability Table,CPT)呈現，其中父節點的條件機率值會影響子節點的機率值。

貝氏理論的數學式如以下 (1)(2)所示。

$$P(X|Y) = \frac{P(Y \cap X)}{P(Y)} \quad (1)$$

$$P(Y \cap X) = P(Y|X)P(X) = P(X|Y)P(Y) \quad (2)$$

本研究初期所使用的貝氏網路訓練資料，已於 98 年 5 月完成紙本測驗及貝氏系統建置工作，詳細過程已載於 97 年度國科會期中報告[1]。

四、研究方法

本研究機制所規劃的 Van Hiele 問題解決環境如圖 1 所示。使用者從瀏覽器上登入系統後，即可使用系統裡的電子郵件 (e-mail)、討論區 (discussion board)、作業元件 (assignment unit)、教學單元 (tutorial unit)、線上即時測試元件 (quick-run unit)、專家解題建議 (expert template)、智慧指導系統(Intelligent Tutoring System, ITS) 等 7 個教學元件來學習 Java 程式語言。

圖 1 灰色拉出放大部份區為本文討論主題 ITS。此系統乃是由貝氏網路介面、適性化教學推薦模組與知識庫共同完成推薦教材與評定學習層級之操作。為使 ITS 能達成本研究之目的，首先須建構完整的課程地圖，接著，將課程地圖內的每個學習節點依據 Van Hiele Model 劃分為 5 個層級，在每個層級內，再依認知理論細分為 5 個認知類別，配合貝氏網路機率，推薦最適教材並記錄學生的學習層級。

以下將分別說明本機制之作法。

(一) 建立課程地圖

課程地圖的建構主要為讓學習程式語言時，學習者可以循序漸進地學習每個單元。在學習完個別單元的練習後，新學習到的單元知識即成為下一個單元的先備知識。在建立完整的課程地圖上，本研究以 Butz、Hua 和 Maguire[5]所提出的貝氏智慧教導系統研究中的非循環有向圖為基礎，利用貝氏機率表來確認其次序關係，再藉著專家之圓桌討論(Round-table discussion)逐一修改為適合學習 Java 程式語言之完整課程概念，如圖 2 所示。

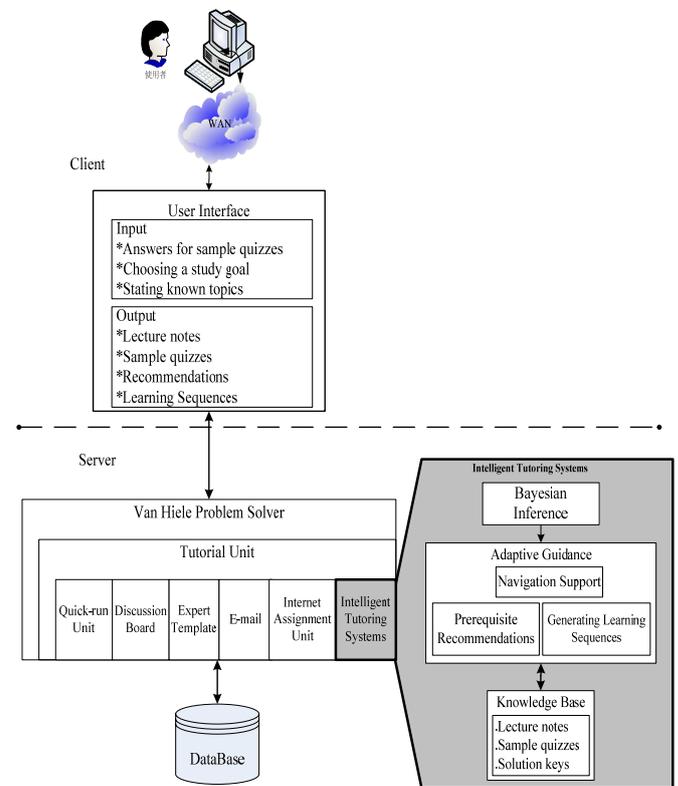


圖 1 教學推薦之系統架構圖

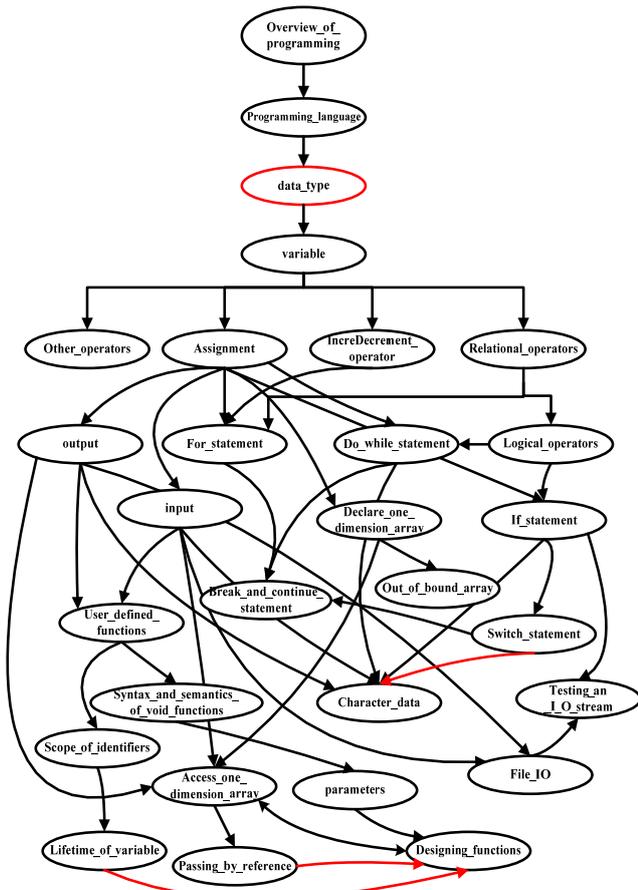


圖 2 Java 程式語言的非循環有向學習圖

(二) 建立 Van Hiele Model 與認知類別的學習節點的教材及試題

程式語言學習具有層級與層次之關係，不是單由懂和不懂便可輕易來認定學習節點的了解與否。因此本研究提出 Van Hiele Cognitive Model 學習模式，將每一學習節點根據 Van Hiele Model 劃分為 5 個層級(L0 到 L4)。而在各層級裡再根據 Cognitive Model 設計出 2~5 個數目不等的認知類別(Lexical、Syntactic、Semantic、Schematic 與 Conceptual)。因此，每一學習節點的架構，可以圖 3 來表示。Van Hiele Cognitive Model 的學習測驗題目設計則如圖 4 所示。在圖 4 中，每一測驗題目之右方要求學習者依個人答題之信心確定程度勾選不太確定或非常確定選項，學習者的選

項值將用來決定各類別內的信心確定度的分派值，增加推薦教材的精準度。

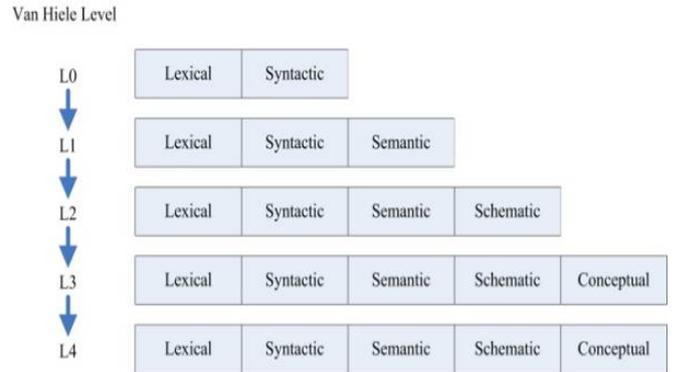


圖 3 結合 Van Hiele model 與 Cognitive Model 的學習節點架構圖

8.以下程式碼，在編輯、執行後，其可能的結果為何？

```

1 public class Exam04 {
2   public void main(String args[]){
3     System.out.println("Hello World");
4   }
5 }

```

8.本人對本題答案之確定度為：	
不太確定	非常確定

A. 編譯正常，程式執行後，丟出例外訊息
 B. 程式無法編譯
 C. 螢幕印出 "Hello World"
 D. 編譯正常，程式執行後沒有印出任何字

9.基本資料型態有八種，以下何者為非？

A. int
 B. String
 C. char
 D. short

9.本人對本題答案之確定度為：	
不太確定	非常確定

10.以下的敘述句，何者是單精倍數數字的合法寫法？

A.-36.8
 B.12366L
 C.383.34D
 D.53f

10.本人對本題答案之確定度為：	
不太確定	非常確定

11.關於圓周率，以下的敘述句，何者是正確的？

A. double pi=3.1416d;
 B. float pi=3.1416;
 C. int pi=3.1416;
 D. String pi=3.1416;

11.本人對本題答案之確定度為：	
不太確定	非常確定

12.請問整數變數 i 與單精倍數變數 f 相加，其最後的資料型態為何？

A. 整數
 B. 雙精倍數
 C. 單精倍數
 D. 無法運算

12.本人對本題答案之確定度為：	
不太確定	非常確定

13.假設 a=36 和 b=7，以下敘述句的寫法何者在計算後無法顯示出浮點值？

A. System.out.print(a/b);
 B. System.out.print(a/(float)b);
 C. System.out.print((float)a/b);
 D. System.out.print((float)a/(float)b);

13.本人對本題答案之確定度為：	
不太確定	非常確定

4

圖 4 檢測題目範例圖

(三) 認知類別內的心心確定度分派方法

以往每個教材章節的結束，皆會運用測驗來達到檢測學習者的學習成效，然而一般線上評量測驗題型採用單選或複選題時，學習者在不確定因素下，會試著猜測可能性的答案，在此種情況下，將不易精準判斷學習者真正的學習成效，進而推薦適合學習者的教材。

因此，為深入了解學習者答題時其信心度，本研究提出經由測驗題目右方之信心確定度勾選非常確定和不太確定選項，配合答題對錯，取得學習者信心確定度值，如表 1 所示。

表1 信心確定度值分派表

信心度 答題對錯 \ 選項	非常確定			不太確定
答對	1			0.25
答錯	0.75	0.5	0.25	0

每個層級內有 2~5 個認知類別，每個類別內有 3 題測驗題，學習者答對題目並勾選非常確定選項，代表學習者對此測驗題非常具有信心，因此分派信心確定度值為 1；學習者答對題目，卻勾選不太確定選項，代表學習者對此測驗題，猜測的成份比較多，因此分派信心確定度值為 0.25。

再則，當學習者答錯題目並勾選非常確定選項時，代表學習者對此測驗題存在著不正確的觀

念，或者是粗心點錯答案選項，因此在分派信心確定度值時，將先判斷 3 題裡，若答對 2 題，而第 3 題答錯並勾選非常確定，分派信心確定度值為 0.75；若答對 1 題，而第 2 與 3 題皆答錯並勾選非常確定，分派信心確定度值為 0.5；沒有答對任何 1 題且勾選非常確定，分派信心確定度值為 0.25。最後，答錯也勾選不太確定，分派信心確定度值為 0。

(四) 選擇實驗模型

本研究採用 Java 程式語言為研究課程。由於一學期的課程內容相當紮實與緊湊，要將全部課程研究內容陳敘於論文內，實屬不易，因此本研究節錄從 Java 概論到完成「If 敘述句」的課程知識為本實驗模型，如圖 5 所示。

從 Java 概論到完成「If 敘述句」全部需 8 個學習單元，為方便資料庫的存取，分別以 N1 代表 Overview_of_programming 到 N8 代表 If_statement 來展現不同的學習單元；以 L0 到 L4 分別代表 Van Hiele Model 的 Level 0 識別期到 Level 4 模組化之學習層級；以 Lexical、Syntactic、Semantic、Schematic 與 Conceptual 分別代表不同的認知類別。每個學習單元內皆採用 Van Hiele Model 與認知類別加上貝氏網路的機率，實作學習節點的教材及試題之適性化推薦。

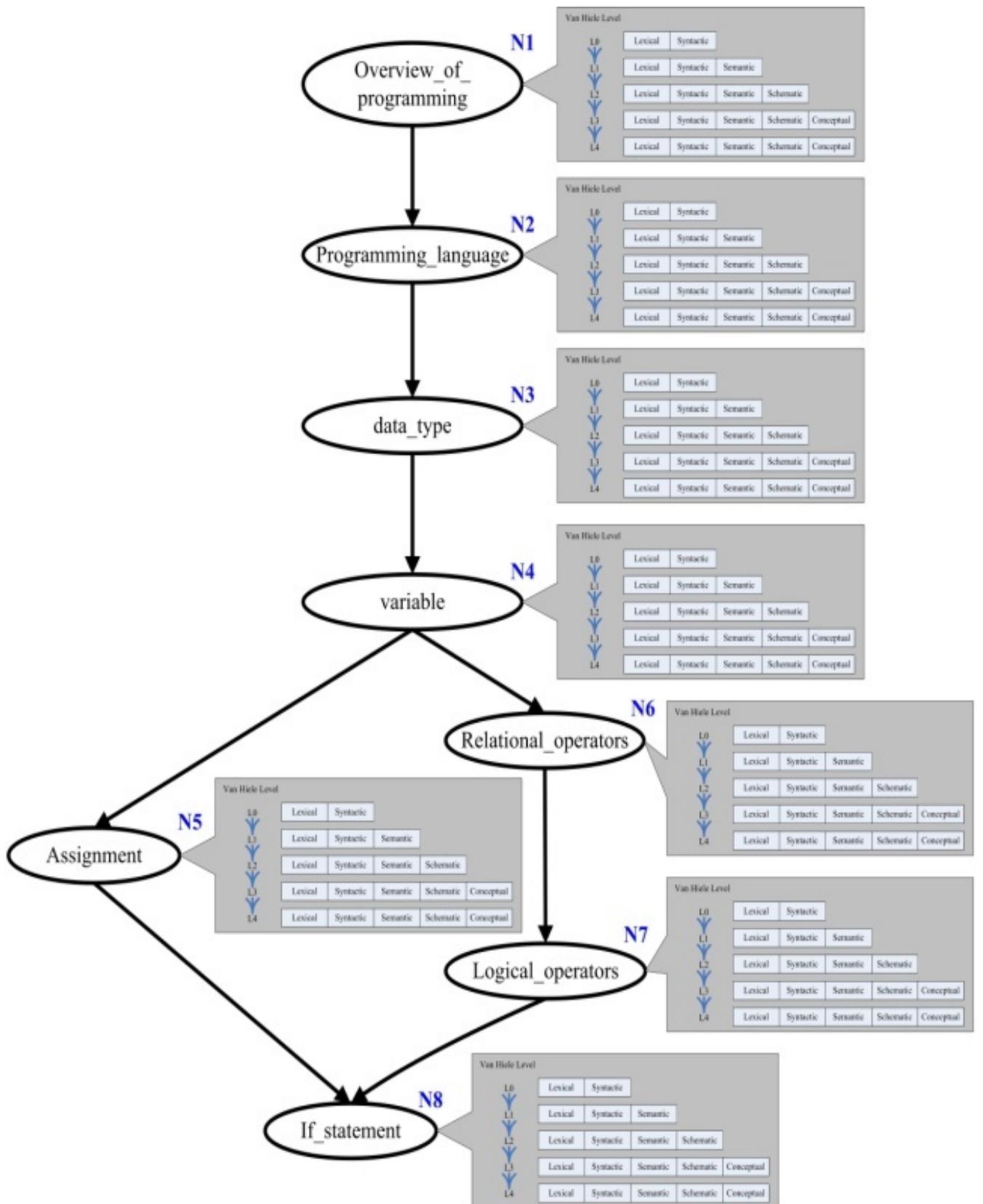


圖 5 If 敘述句的實驗模型

五、實作研究機制

一般而言，檢測學習者的測驗題目，需要對每個節點之問題加以明確定義，並描述哪些技能和概念與該問題相關。因此，學生若要答對某一問題，顯然其必須具備和該問題有關之基本能力及應用能力，而不應該具備與該問題無關的錯誤類型。

另外根據 Ebrahimi、Kopec 和 Schweikert[5] 之研究結果顯示，在 5 個認知類別裡，主要錯誤不會發生於前面的三個類別，而是發生在最後屬於程式規劃的建立和整合的二個類別。其主要是因為，前三個認知類別(Lexical、Syntactic、Semantic)可以從程式語言的定義中輕鬆的獲得；而概要(Schematic)是最易出現錯誤的類型；概念(Conceptual)則較少人可達此一層次[5]。所以，本研究將 Lexical 和 Syntactic 實作整合為一類別，提出 4 個認知類別（錯誤類別）的判斷機制。ITS 的診斷與推薦操作流程可以圖 6 來表示，說明如下。

首先，學習者在看完課程單元的學習教材後，旋即進入學習情況檢測區進行推薦題目的檢測，在學習檢測區，學習者須逐一回答代表每一層級內的 4 個不同錯誤類別，每個錯誤類別有 3 題的題目，總計 12 題進行學習測試。當每一層級的題目通過率大於等於 70%，表示該 Van Hiele Level 已達精熟程度[10][12]，故通過檢測，系統會推薦下一個關聯度較強之子學習節點之教材。

若學習情況檢測通過率低於 70%，系統隨即進行檢測該層級內不同錯誤類別與信心確定度之計算及標記工作。在檢測錯誤類別時，每一類別裡的每一測驗題目皆需透過表 1 的信心確定度來分派其信心確定度值。在單一錯誤類別裡，本研究以信心確定度值 2.1 為臨界值，仍依據每個類別有 3 題測驗題，答對通過率大於等於 70%，表示該類別學習者已達精熟程度，則系統會判定並將該錯誤類別標記為 Y；反之，若某一類別的

信心確定度計算值小於 2.1，則該錯誤類別將被標記為 N。錯誤類別標記為 Y，代表系統判定學習者已經了解該學習單元內代表該認知題型的學習，在未來的學習過程中，系統將不會再推薦該類別的教材給學習者。以下舉例說明信心確定度值之計算方式：

- 情況一 答對&非常確定 3 題
 $1*3 題=3>2.1$ 標記 Y
- 情況二 答對&非常確定 2 題+答錯&非常確定 1 題
 $1*2 題+0.75*1 題=2.75>2.1$ 標記 Y
- 情況三 答對&非常確定 1 題+答對&不確定 2 題
 $1*1 題+0.25*2 題=1.5<2.1$ 標記 N
- 情況四 答對&非常確定 1 題+答錯&非常確定 2 題
 $1*1 題+0.5*2 題=2<2.1$ 標記 N
- 情況五 答對&非常確定 1 題+答對&不確定 1 題+答錯&非常確定 1 題
 $1*1 題+0.25*1 題+0.5*1 題=1.75<2.1$ 標記 N
- 情況六 答對&不確定 2 題+答錯&非常確定 1 題
 $0.25*2 題+0.25*1=0.75<2.1$ 標記 N
- 情況七 答錯&非常確定 3 題
 $0.25*3 題=0.75<2.1$ 標記 N

當四個錯誤類別都檢測完成後，系統會自動計算每一類別的信心確定度總值，學習者的信心確定度總值，若落在所有學習者的前 25%，即代表該學習者為高信心族群，系統將推薦認知類別程度高的教材，此種推薦方式為避免學習者每次皆重覆學習基礎教材，找出真正學習缺陷。

每一層級 12 題測驗中須超過 8 題，才能進入下一層級，學習者答對 8 題（含）以下者，則需再一次研讀系統推薦的教材。至於確認高信心族群的方式，本研究最初假定學習者信心確定度

總值為均等分配。因此取 6 為高信心確定度族群的臨界值，爾後再依據學習者信心確定度總值的分佈，動態調整臨界值。

今以情況二、三、五、六為例，說明如下：

四個錯誤類別信心確定度加總值為 6.75，因此，在與資料庫內有信心確定度大於等於 6 的資料相比較後，選取信心確定度較強的推薦教材，結果為推薦 Conceptual 類別的教材，如表 2；若以情況二、三、六、七為例，加總四個錯誤類別的信心確定度總值為 4.95，因此值小於 6，在與資料庫內有信心確定度小於 6 的資料相比較後，選取信心確定度較低的推薦教材，結果為推薦 Schematic 類別的教材，如表 3。

表 2 信心確定度大於等於 6 的教材推薦參考表

類別 項次	Lexical + Syntatic	Semantic	Schematic	Conceptual	推薦教材
1	N	N	N	Y	Schematic
2	N	N	Y	Y	Semantic
3	N	N	Y	N	Semantic
4	N	Y	Y	N	Conceptual
5	N	Y	N	N	Schematic
6	Y	Y	N	N	Conceptual
7	Y	N	N	N	Semantic
8	N	Y	N	Y	Schematic
9	Y	N	Y	N	Conceptual
10	Y	N	N	Y	Schematic

表 3 信心確定度小於 6 的教材推薦參考表

類別 項次	Lexical + Syntatic	Semantic	Schematic	Conceptual	推薦教材
1	N	N	N	Y	Lexical+ Syntatic
2	N	N	Y	Y	Lexical+ Syntatic
3	N	N	Y	N	Lexical+ Syntatic
4	N	Y	Y	N	Lexical+ Syntatic
5	N	Y	N	N	Schematic
6	Y	Y	N	N	Schematic
7	Y	N	N	N	Semantic
8	N	Y	N	Y	Lexical+ Syntatic
9	Y	N	Y	N	Semantic
10	Y	N	N	Y	Semantic
11	N	N	N	N	Lexical+ Syntatic

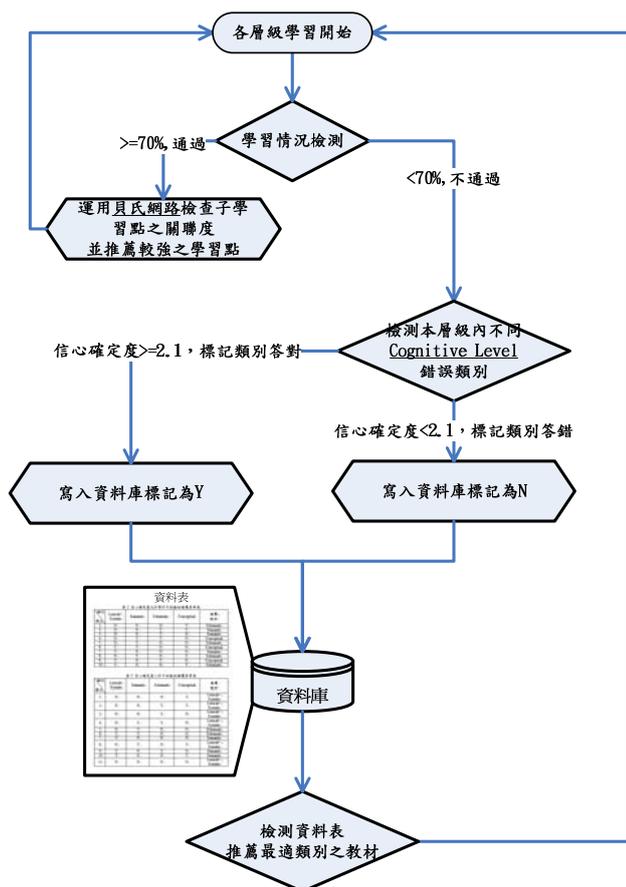


圖 6 ITS 之推薦機制

六、結論

[1] 本研究旨在以之前的 Van Hiele Model 研究主題 [1][3] 為基礎，加入 Cognitive Model 作為設計教材和開發測試問卷的準則後，提出智慧型 Van Hiele Cognitive Model 為個別化程式學習之教導模式。Van Hiele Cognitive Model 中個別化程式學習強調以學習者的需求為依歸，能精確的診斷並適切的呈現教材順序與內容，扮演好教導者的角色，促進學習者的學習效果。

為有效診斷與推薦學習者所需之教材內容，本研究驗證並改良 Butz、Hua 和 Maguire[8] 研究所提出的非循環有向圖，利用非循環有向圖中富關連性與次序性的特性來設計完整的程式語言教材。

在 Butz、Hua 和 Maguire 研究中，因僅採用懂或不懂來判斷學習者學習成效，易導致出極端判斷問題。本研究為解決此一案例值可能流於太過偏頗的問題，特運用 van Hiele Model 五層級的程式設計教學理論、認知類別與貝氏網路的推理機制，來建構創新與獨特的 ITS，以有效克服以往的適性化教學網站，無法精準得知學習者在那一類別遇到學習障礙之困難。本研究發展出之診斷與推薦機制，賦予系統根據學習者之測試資訊，隨時掌握學習者之學習狀況，並適時推薦合適的教材，以便有效的在短時間內構建學習概念、彌平知識缺口。

本研究成功的以台南縣兩所科技大學資訊相關系所共 58 名學生的問卷調查及專家意見，來建構貝氏引擎內的先期機率表，未來將有關信心確定度推薦機制納入貝氏網路變數間條件機率的計算，以發展出完整的智慧型網路教學平台，藉由收集學生練習與填答的資料，當可提高樣本數來避免受到極端樣本的影響，有效修正機率數據，以達到最適診斷及推薦之目的。

七、致謝

本論文為國科會補助一般專題研究計劃之部分研究成果（計畫編號為 NSC 97-2511-S-218-005-MY2），特此感謝國科會贊助。

八、參考文獻

[1] 97 年度國科會計畫編號 NSC 97-2511-S-218-005-MY2，期中報告，2009.8。
[2] 丁一賢、陳牧言，資料探勘，滄海書局，2005。
[3] 郭致成，建構優質的 van Hiele Model 程式設計教學環境，南台科技大學資訊管理研究所

論文，2008。

[4] 蔡明輝，具題目推薦之 VB 程式學習輔助系統對高中生電腦學科成就之影響，國立中央大學資訊工程研究所論文，2004。
[5] Butz, C. J.; Hua, S.; and Maguire, R. B.. "A Web-Based Bayesian Intelligent Tutoring System for Computer Programming." *Web Intelligence and Agent Systems*, 2006, 4(1):77-97
[6] Chen, J. W., "An Ideal van Hiele Web-based Model for Computer Programming Learning and Teaching to Promote Collaborative Learning." Paper presented at the 2005 Conference on Electronic Commerce and Digital Life (ECDL2005), Taipei, March 25, 2005.
[7] Crowley, M. L. "The van Hiele model of the development of geometric thought." In M. Lindquist & A. P. Shulte (Eds.), *Learning and teaching geometry, k-12*, (1987 Yearbook of the National Council of Teachers of Mathematics) (pp.1-16). Reston, VA : National Council of Teachers of Mathematics. 1987.
[8] Ebrahimi, A.; Kopec, D.; Schweikert, C., "Taxonomy of Novice Programming Error Patterns with Plan, Web, and Object Solutions". Submitted to *ACM Computing Surveys*, December 2006.
[9] Liffick, B. W. & Aiken, R. "A novice programmer's support environment". *SIGCSE Bulletin*, 1996, 28(1), pp.49-51.
[10] Millan, E.; Trella, M.; Perez-de-la-Cruz, J. L. and Conejo "Using Bayesian Networks in Computerized Adaptive Tests." *Computers and Education in the 21st Century*. 2007.
[11] Van Hiele-Geldof, D., *De didaktick van de Meetkunde in de eerste klasse van het V. H. M. O.*

Summary of unpublished doctoral dissertation
with English summary, University of Utrecht,
Netherlands, 1957.

[12] Van der Linden, W. & R.K. Hambleton(eds).
"Handbook of Modern Item Response Theory."
New York: Springer-Verlag. 1997.