

五年級資優生與專家使用圖形化程式(NXT-G)之心智模式及建模歷程

林靜雯^{1,*} 林怡瑾²

¹國立東華大學 課程設計暨潛能開發學系

²新北市廣福國民小學

摘要

本研究意欲比較五年級資優生與專家對行動機器人Lego Mindstorms圖形化程式(NXT-G)中「迴圈」與「分岔」兩程式進行概念理解與設計時,可能產生的心智模式與建模歷程。資優生可視為學習之起點,專家則為可能的學習典範,藉此比較,希望對資優生行動機器人程式之教學提出建議。研究以個案研究方式選擇六位初學NXT-G之五年級資優生及兩位專家,透過螢幕攝影及放聲思考,收集其進行「程式概念檢測題」之過程,並輔以「程式概念理解測驗」與晤談之結果進行歸納與推論。結果發現:一、在心智模式方面,資優生於迴圈程式中具有「loop」及「step」模式,而分岔程式則為「single-switch」、「multi-switch」及「odd」模式;專家在迴圈程式中呈現「variable loop」及「nested loops」模式,而分岔程式則為「multi-switch」模式。二、在建模歷程方面,資優生的建模歷程通常依賴上課經驗選擇模型,且選定後,需執行實驗方能驗證模型,若未能達到目的,便多以試誤方式微調參數或拒絕模型而無法修正;專家則具備豐富解題經驗與資源,形成策略模組,並多運用思考實驗驗證所選之模型,解題快速。研究者建議運用variable loop、nested loops等專家策略模組形成版型加強學生基本概念及使用程式模組經驗,並多運用「預測—執行—分享」鼓勵學生思考實驗以比較各種模型的範圍與限制。

關鍵詞: 心智模式、建模歷程、專家、資優生、圖形化程式(NXT-G)

壹、緒論

行動機器人(mobile robotics)於1980年首度被引進教學現場後,就被STEM (Science-Technology-Engineering and Mathematics)教育視為重要的教育內容及工具,藉以增進程式設計及機械工程方面的知識及提升問

題解決的能力(Demetriou, 2011)。此類課程通常於大專院校開設,但近年來,陸續有許多教學者利用可程式積木及圖形化程式Lego Mindstorms NXT將原本抽象複雜的程式語言打包並轉化成一個個的圖形化方塊,意欲降低介面及使用環境的複雜程度,使

*通訊作者:林靜雯

(投稿日期:投稿日期:民國104年3月17日,修訂日期:民國104年6月9日,接受日期:民國104年8月6日)

中、小學生較容易上手及理解(e.g., Dagdilelis, Sartatzemi, & Kagani, 2005)。雖然如此，但小學生究竟如何理解圖形化程式？原在大專院校開設之課程是否能藉由介面圖形化順利轉化，尚未可知。從認知的觀點來看，當人們在學習新事物時，其內心會產生個人化的認知表徵，藉以解釋、推理其習得的知識，甚或是預測所觀察到的事物或現象，這就是所謂的心智模式(Johnson-Laird, 1983)。而在程式設計中，所謂心智模式意味著程式碼如何控制電腦運作(Kurland & Pea, 1985)，而圖形化程式提供一個良好表徵將學習者的心智模式外化，讓研究者能進一步瞭解初學者及專家之圖形化程式概念的心智模式為何，相信有助於協助中、小學生於撰寫程式時建立更可行、更有效的程式邏輯。

模型與建模是科學發展的元素，也是科學學習中不可缺少的認知與能力(邱美虹，2008)。對科學教育而言，Justi與van Driel (2005)提出模型與建模的三個重要性：一、學習科學，亦即學生應該瞭解主要的科學模型，以及該模型的範圍和限制。二、學習動手做科學，學生應該要有創造、表達和測試自己模型的機會。三、學習科學本質，學生應該學習模型的本質並認識模型的角色。運用Lego Mindstorms NXT設計並完成各種機器人任務，含括反覆進行之「描述－執行－反思－除錯－描述」的循環，Chi (2008)認為執行程式時，學生可以預測，並觀察到結果是否能如預測般執行，這個過程外化了學生的心智模式，基本上即為一種建模的歷程，因此也有潛力達成上述三項重要目標。而圖形化介面有助於將學生思維外化，彷彿多了一扇可以觀察到學生思維的窗(Valente, 1995)。故此，若能分析學生在使用圖形化程式時對程式概念的心智模式及其建模歷程，再瞭解其與專家之間的差異，應有助

於協助學生減少不斷試誤的情形，有效提升學生的建模品質，相信將有助於程式語言及問題解決的學習。

綜上所言，本研究研究目的有二，其一為探討初學Lego Mindstorms圖形化程式編輯環境NXT-G軟體(以下簡稱NXT-G)之五年級資優學生以及專家，其「迴圈」及「分岔」兩程式概念的心智模式，其二則進一步探討這些學生與專家產生這些心智模式時的建模歷程。藉此比較，研究者希望能提出相關教學建議，協助學生逐步往專家的表現邁進。

貳、文獻探討

一、Lego Mindstorms的發展與程式概念心智模式的探討

Lego Mindstorms是丹麥樂高公司與麻省理工學院媒體實驗室(MIT Media Lab)於1998年合作開發的產品，第一代為Lego Mindstorms Robotic Invention System其核心為RCX可程式積木套件，其於2006年時更新為Lego Mindstorms NXT套件(Demetriou, 2011)為第二代，2013年更開發出第三代EV3智慧型可程式積木。本研究所運用的Lego Mindstorms NXT套件內含577個積木、馬達組、齒輪、感應器(含觸碰、光源、聲音與超音波)，以及名為「NXT Brick」的微處理器。另外，亦包含設計Mindstorms NXT的軟體，簡稱NXT-G。從「玩具」的角度來看，Lego Mindstorms系列產品徹底顛覆了傳統玩具的概念，它讓使用者發揮自己的想像力，從組裝各種模型或機械結構開始，配合圖形介面的開發工具來撰寫簡單的應用程式，藉此控制機械模型的動作(何致億，2007)。

NXT-G的操作介面雖然以英文為主，但對於小學生而言，其主要程式是以圖形

「拖一拉一放」，再點選、設定相關參數，就能以較快速且較輕鬆的學習方式習得如何操控機器人，而NXT-G主要的程式結構有三大類：程序軸(sequence beam)、判斷方塊(switch block)及迴圈方塊(loop block) (Griffin, 2010)，茲分述如下：

(一)程序軸：程序軸是控制著程式流程的進行，它指引著各個功能方塊執行的先後秩序，只有連接在程序軸上的功能方塊，才能被下載至NXT主機，其他在工作區中但未與程序軸連結的功能方塊，會呈現灰白色且不會被下載執行。另外，也可以由起始點再額外建立一個程序軸，使程式同時執行兩件工作，簡稱「多工」。舉例來說，可以讓主程序軸控制機器人向前移動，同時讓次程序軸控制其他的動作。

(二)判斷方塊：其控制選項有兩種，一個是「sensor」、一個是「value」。選擇「sensor」時，其內定為「touch sensor」，但可依使用的感應器不同而進行更改；選擇「value」時，則有「logic」、「number」、「text」三種選項。

(三)迴圈方塊：是一直重複執行迴圈內的指令，其控制選項有以下幾種：forever (重複循環)、sensor (感應器控制)、count (循環次數)、time (時間控制)、logic (邏輯判斷)。

所謂程式概念的心智模式，指的是藉由專家設計出能讓學生透過概念模型產生可行的心智模式。程式概念的心智模式通常內含變數及遞迴(recursion)，而「遞迴」的心智

模式是指一種重覆呼叫本身的函數，也可以傳入變數來執行的程式設計技巧。Götschi等人(Götschi, Sanders, & Galpin, 2003; Sanders, Galpin, & Götschi, 2006)將初學者可能具有的遞迴心智模式歸類為(一) copies model、(二) looping model、(三) active model、(四) step model、(五) return value model、(六) magic or syntactic model、(七) algebraic model以及(八) odd model八種。其中，copies model為永遠可行的專家模式，step model顯示學生不瞭解遞迴，odd model則呈現了許多誤解與迷思，algebraic model則是學生把程式或演算法等問題視為算數問題，其餘模式則須在特定條件下才能解決問題，但學生常忽略這些特定條件。由於NXT-G程式是圖形化操作介面，因此簡化了許多程式語言上的邏輯敘述，故無法從中呈現如遞迴的程式概念，但可從結構化程式設計的基本程式概念作為圖形化程式概念分析的基礎。其中結構化程式設計，包含下列三種結構(洪維恩, 2004; Panoutsopoulos, 2011)：

(一)循序性結構(sequence structure)：是採上至下(top to down)的敘述方式，其結構流程如圖1所示。

(二)選擇性結構(selection structure)：是根據條件的成立與否，再決定要執行哪些敘述的結構。switch便是典型的選擇性結構，選擇性流程圖可如圖2所示。

(三)重複性結構(iteration structure)：根據判斷條件的成立與否，決定程式段落的執行次數。這個程式段落就稱為迴圈主體，如圖3。

分析初學者對特定程式概念的心智模

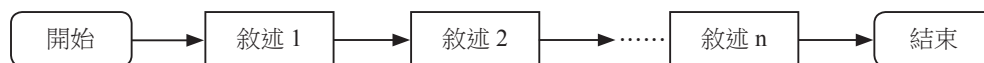


圖1：循序性結構流程圖

式十分重要，因為結構良好的心智模式有助於知識的獲得和遷移，甚至提高自我效能(Ramalingam, Labelle, & Wiedenbeck, 2004)。而瞭解初學者錯誤的心智模式，則可以讓教學者瞭解學生為何會形成不正確的心智模式，進而改變未來的教學，預防學生形成錯誤的心智模式，並建立正確的程式概念。然而，目前尚無針對NXT-G進行初學者程式心智模式的探討，因此本研究奠基於程式概念心智模式的探討，希冀藉由個案資料的收集，以分析學生圖形化程式可能具有的心智模式。

以下研究者分別針對NXT-G程式中迴圈

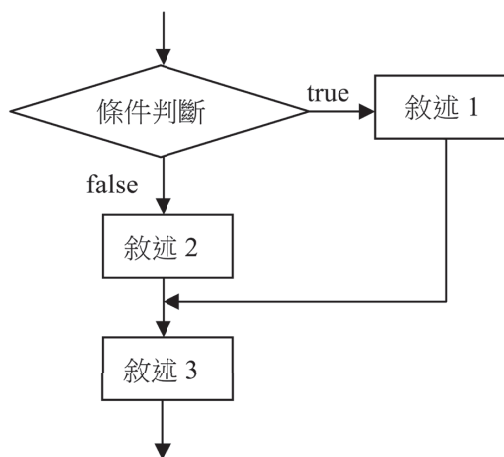


圖2：選擇性結構流程圖

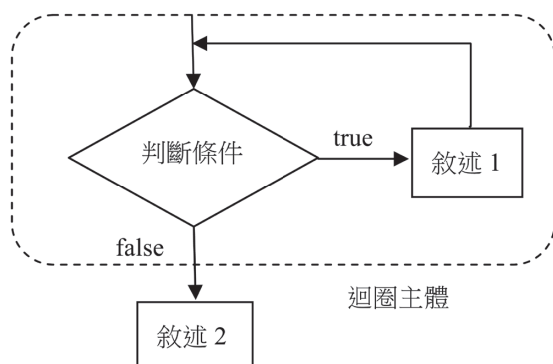


圖3：重複性結構(迴圈主體)流程圖

(loop)與分岔(switch)正確有效的結構，以圖4至圖6示之。其中圖4所呈現的loop之程式概念結構可分為計數式重複結構及條件式重複結構。計數式重複結構是在迴圈中給予重複次數的條件；而條件式重複結構則是在某條件下重複循環，需另外給予終止條件才會結束循環。

而分岔之程式概念結構是給予條件判斷，符合條件判斷，則執行true條件下的程式；不符合條件判斷，則執行false條件下的程式。而當有兩種條件判斷出現時，更會有四種判斷結果出現，其結構表徵如圖5及圖6。

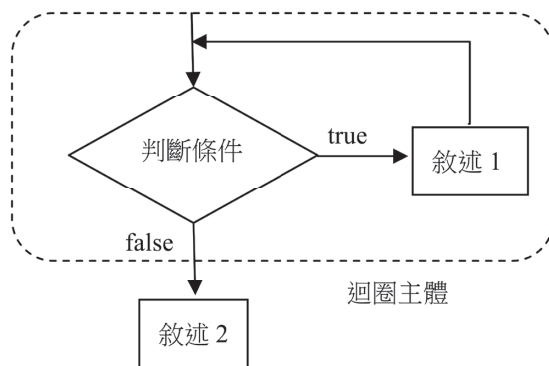


圖4：迴圈之程式概念的結構

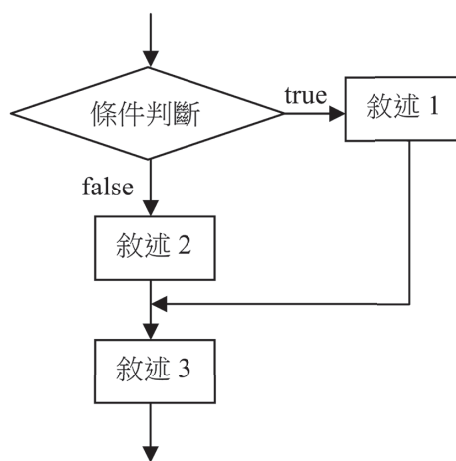


圖5：switch之程式概念心智模式

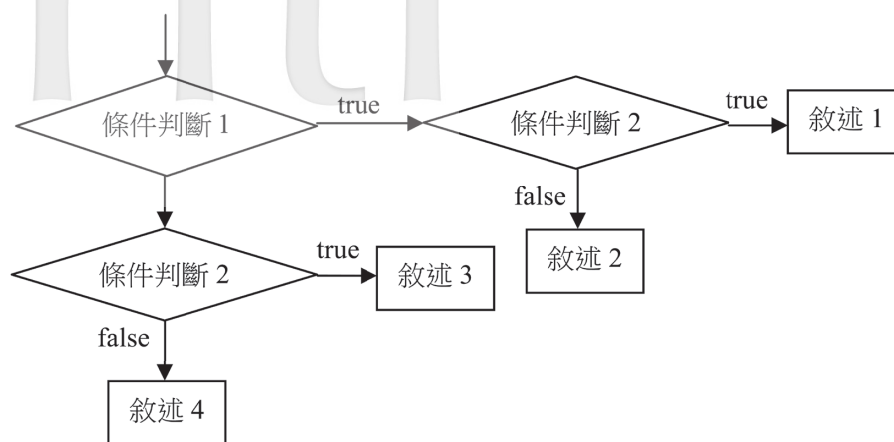


圖6：switch兩種條件判斷之程式概念心智模式

二、建模與建模歷程

所謂建模，是一種建構模型、產生個體心理表徵的過程。S. W. Gilbert (1991)將建模歷程定義為建構可預測概念模式的過程，認為模型的建構是一種較為進階的過程技能。而建模歷程也是一種動態的歷程，是一種產出模型的過程。J. K. Gilbert, Boulter與Elmer (2000)認為建模與模型能夠在科學教育與科技教育之間建立起一個橋樑，且對於科學教育而言具有下列三個主要的貢獻：(一)對於理解任何現象或是訊息的發展，心智模式的形成是相當關鍵的；(二)在科學的過程中，模型在產出與實驗的檢驗上扮演相當重要的角色；(三)歷史與科學的模型是科學的主要結果(邱美虹、劉俊庚，2008)。

依Halloun (1996)的研究指出解決教科書範例問題的建模歷程有五個步驟，分別為模型選擇(model selection)、模型建立(model construction)、模型效化(model validation)、模型分析(model analysis)和模型調度(model deployment)。Halloun認為這些過程並沒有階層的關係，中間的三個步驟是相互重疊的，某些步驟甚至是同步建構的。

張志康與邱美虹(2009)以Halloun (1996)的建模歷程為基礎，輔以「循環」的觀點，將建模的歷程歸納整理出六個向度，詳細說明如下：

- (一)模型選擇：是建模歷程中的第一步，通常學生在面對某一特定問題時，會自動從腦中選擇出一個適合解決問題的模型。
- (二)模型建立：在此階段是面臨「歸納推理」(inductive reasoning)的階段(Sins, Savelsbergh, & van Joolingen, 2005)，亦即學生必須建立個人解題的初步模型，以解決目前的問題。
- (三)模型效化：學生建立解題的初步模型後，就進入「實驗」(experienting)階段(Sins et al.)，亦即學生可能會運用不同的方式來檢驗自己初步模型的內部一致性，藉以判斷是否需要修正模型(Halloun)。
- (四)模型應用：對於修正後的心智模式，便可以運用效化後的模型來求得在相似情境中的問題解答，或來判斷解答的適切性(Halloun)。此階段是著重模型的類化運用，證實模型的適切性。
- (五)模型調度：當個人的模型具適切性時，

則會試圖使用此模型來解決新情境的問題(Halloun)。且學生可能會「評估」(evaluate) (Sins et al.)模型的適用廣度，並對新問題情境作推論的測試。

(六)模型重建：當個人的模型無法應用到類似情境問題的推論時，就會自我察覺模型的限制(Justi & Gilbert, 2002)，然後再重新發展解釋力更佳的模式，逐一檢核前述的五個階段是否需要重新修正(張志康、邱美虹)。

Justi與Gilbert (2002)發展建模架構模式(model of modeling framework)，整個建模歷程如圖7所示。該架構描繪了個體決定建模目

的後，接著從已有的資源或擁有的經驗選擇適當的素材來形成心智模式。產生心智模式後，則開始決定以何種方式(可能是口語的、視覺的、圖像的等)來表徵，接著則透過思考實驗來探討它的意涵，若模型無法通過思考實驗，則需修正模型，或是整個步驟重新運作。若符合其結果，則進行實驗檢驗，評估其結果是否與模型有所差異。若無法符合，則需修正模型且重新運作；若通過實驗檢驗，則建構之模型是符合其目的的。當然，模型的適用範圍及限制亦需納入考量。

上述三種建模歷程，各自有較為適用的情境。舉例而言，張志康與邱美虹(2009)的循

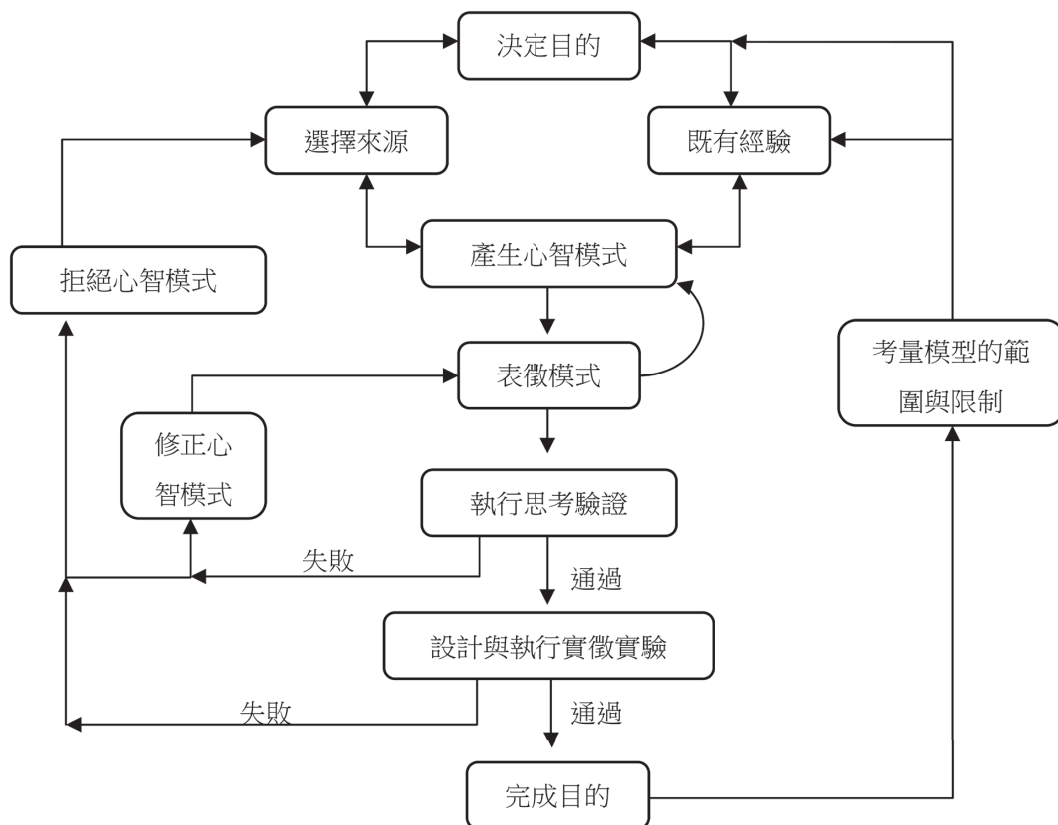


圖7：建模架構模式

資料來源：翻譯自“Modeling, Teachers’ Views on the Nature of Modelling, and Implications for the Education of Modelers,” by R. S. Justi and J. K. Gilbert, 2002, *International Journal of Science Education*, 24(4), 371.

環式建模歷程主要修改Halloun分析教科書典範範例而來，因此也被用在教科書分析(劉俊庚、邱美虹，2010)，而Justi與Gilbert (2002)發展的建模架構模式則以流程圖的方式呈現，林振欽與洪振方(2010)則認為其適合分析學生建模的歷程。本研究主要探討學生及專家圖形化程式的建模歷程，故嘗試以Justi與Gilbert的建模架構模式為基礎進行分析。

在程式設計方面，有關專家和初學者進行程式設計過程的特徵，自1970年開始，便是許多研究者好奇的議題(Robins, Rountree, & Rountree, 2003)。Robins等整理許多相關文獻後指出專家在寫程式時，能較有效率的組織特定的知識基模，並根據功能的特徵而非表面的語法來組織知識，並同時使用特定策略、特定基模、及如分治策略(divide-and-conquer)等一般性問題解決的策略。此外，當專家遇到困難時，他們較富有彈性，且願意放棄有問題的假設。相對的，初學者有關程式的知識極其有限且表淺，缺乏詳細的心智模式。他們的程式語言多半缺乏有意義的結構(chunks)，且多半以試誤的方式建構心智模式(Panoutsopoulos, 2011)。許多研究者(Caspersen & Bennedsen, 2007; Linn & Clancy, 1992)建議在程式導論時，課程應強調技能的發展，而不僅是程式的概念知識，強調以樣式為基礎之程式取向(pattern-based approach)、基模的獲得或提供具體的模型協助生手學習，而非點狀、片段概念式的學習，而後再架構適當鷹架，或利用認知師徒制將能有效協助生手達到專家境地。上述觀點不僅具有認知心理學的基礎(Campbell, Brown, & Dibello, 1992)，亦有實徵研究佐證，故此，瞭解專家程式之樣式或版型，亦為本研究重要研究目的之一。

參、研究方法

一、研究流程

本研究以個案研究進行為期一學期之教學、檢測與資料收集，研究流程如圖8所示。學生部分首先進行第一階段迴圈程式教學(四次，八節課)，教學內容主要是迴圈程式的基本概念，並提供不同目標任務的程式練習迴圈，接著施以程式概念檢測題I與半結構事後晤談(六次，十二節課)；接著，再進行分岔程式基本概念教學且加上針對不同目標任務的程式撰寫練習分岔程式之撰寫(三次，六節課，接著施以程式概念檢測題II與半結構式事後晤談(六次，十二節課)。學生平均用於兩個階段程式概念檢測之解題約六至八節課。

兩階段教學的教學者為本研究第二作者，為特殊教育教師並具有科學教育碩士學位，本身並無機器人教與學之相關經驗，但陪伴資優班學生進行機器人課程探索達三年，研究進行時為第一年進行機器人教學，但教學內容僅鎖定基本介面與概念講解、主要教學方式則為提供問題挑戰資優生，鼓勵學生主動探索，藉此希望由觀察學生與專家解題過程之心智模式與建模歷程，嘗試對未來國小資優生機器人教學提出改進與建議。最後、所有學生進行程式概念理解測驗。而專家部分，則僅進行程式概念檢測題I、II與半結構事後晤談。每次解題，約三至四小時。

二、研究對象

本研究之研究對象分為五年級「資優生」與「專家」，詳細內容分述如下。

(一)資優生部分

研究者以選修機器人課程的資優班五年級學生為個案研究對象，共六名男學生。該

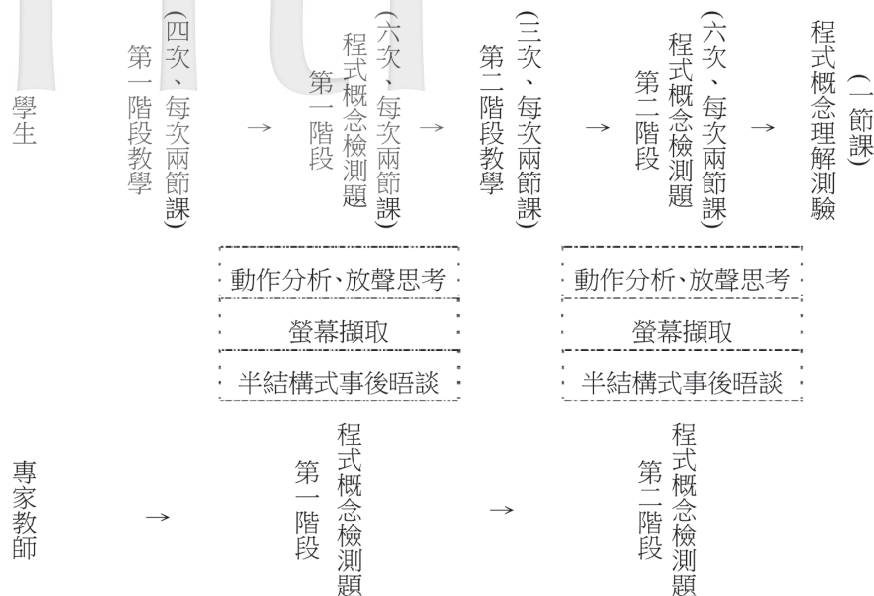


圖8：研究流程圖

課程上課時間為每週五早自習和上午第一節(8:00 ~ 9:20)，共80分鐘。此6名學生的能力分析乃依聯合鑑定智力測驗(WIRC-III)分析之結果與教師平日觀察，條列如表1。

(二)專家部分

本研究之專家是指熟悉NXT-G程式環境，且擔任NXT機器人課程教師已持續三年以上，並曾於全國性比賽中獲獎，或有相關著作發表者。研究者由近年來辦理機器人相關課程所聘請之授課教師群中邀請，此教師群中之教師不只有公立小學現職教師，亦有職業玩家及校外社團教師。為能較為廣泛獲取對NXT-G程式的概念，研究者徵詢教師參與意願後，有2名專家自願參與，其中T1是校外社團教師，熟悉C語言程式及NXT-G程式；T2則為現任國小資優班教師，其主力課程與專長為機器人，但並未擔任本研究中資優生的任何教學。

表1：資優生能力分析表

學生代號	能力分析
S1	邏輯推理及概念性思考能力佳 反應靈敏，學習積極並能用心學習 喜愛思考，觀察力敏銳
S2	邏輯推理及概念性思考能力佳 歸納整理能力佳 反應靈敏，學習積極並能用心學習 喜愛思考，觀察力敏銳 勇於接受挑戰，問題解決能力佳
S3	概念思考能力佳 空間概念佳 圖形辨識能力佳 喜愛思考，觀察力敏銳 視動能力優
S4	邏輯推理及概念性思考能力佳 語文理解能力優 數學概念及運算能力強
S5	喜愛思考，觀察力敏銳 語文理解能力優 概念性思考能力佳
S6	邏輯推理及概念性思考能力佳 喜愛思考 數學概念及運算能力強 知覺組織能力佳

三、研究工具

本研究所採用之研究工具分別為「程式概念檢測題I、II」、「程式概念理解測驗」及「半結構事後晤談大綱」。所有工具皆奠基於相關文獻，再經一位熟稔建模研究之科學教育領域教授及兩位Lego Mindstorms顧問進行內容的效化。茲將內容分述如下。

(一) 程式概念檢測題I、II

該測驗分別於第一階段及第二階段教學活動完成後實施。程式概念檢測題I是參考2009國際奧林匹克機器人大賽北縣市校際盃競賽題目中的「迷宮區」為檢測題內容；程式概念檢測題II則是參考2011國際奧林匹克機器人大賽雙北市校際盃競賽題目中的「立體迷宮」為檢測題內容(World Robot Olympiad, 2009, 2011)。兩次檢測題先經內容分析(如附錄)確立內容效度，再經由上述之三位專家審閱，該檢測題之目的在於瞭解學生與專家在迴圈、分岔程式概念的心智模式。測驗進行前，研究者以兩週時間，每週80分鐘，配合上課的進度與內容，訓練學生以放聲思考的方式表現其解題的歷程，此階段同時錄音和假錄影，以使學生熟悉錄音與錄影的過程。正式施測前，研究者先請受試者以放聲思考的方式進行解題的動作分析，結束後，再運用電腦攝影操作NXT-G程式之操作過程畫面，檢核執行結果，並輔以半結構事後晤談，以瞭解學生及專家對於解決檢測題之目標任務之圖形化程式所需的要素及結構為何，進而分析專家與學生迴圈及分岔的心智模式與建模歷程。

(二) 程式概念理解測驗

該測驗主要參考何致億(2007) Lego Mindstorms NXT智慧型樂高機器人與Java程

式開發一書的內容出題，於兩階段教學活動與檢測題結束後實施，有選擇題及問答題兩種題型，選擇題主要測驗學生的概念理解，問答題則以迴圈、分岔及多重分岔程式為題，讓學生表徵出對程式的理解。測驗內容分為兩部分：第一部分為程式理解，目的在於瞭解學生是否能正確瞭解迴圈及分岔的功能及使用時機，並表徵出其意義；第二部分為程式除錯，目的在於瞭解學生判斷程式邏輯及參數對錯的情形，以進一步除錯。題目內容及題型分布如表2所示。

(三) 半結構事後晤談大綱

半結構晤談目的在於分析學生及專家在解題過程中對於迴圈及分岔程式概念的心智模式及建模歷程。此晤談大綱是依據Justi與Gilbert (2002)發展的建模架構設計而來。其相關定義說明如表3。

四、資料處理與分析

本研究資料來源主要為專家與學生之程式概念檢測題、半結構事後晤談記錄及程式概念理解測驗。各項資料處理與分析如下所述。

(一) 資料處理

研究者於原始資料收集後，立即針對相關資料進行編碼及分類，編號依序以「日期」、「資料來源」、「題目」、「對象」四碼表示，其相關說明與示例如表4所示，其中研究者將參與者簡化標示為：「研」代表

表2：程式概念測驗內容與題型之雙向細目表

	程式理解		程式除錯
	迴圈	分岔	
選擇題	9、10		5、6
	1、2、7	3、4、8	
問答題	(三)3		(一)、(四)
	(二)、(三)1	(三)2	

表3：程式概念心智模式建模歷程架構說明

程式概念心智 模式建模歷程	定義
決定目的	透過動作分析及說明，能釐清目標任務，思考如何解題及程式的撰寫。 如：哪裡有牆？哪裡有黑線？目標任務中可能的路徑有哪些？
既有經驗	是否能從自己既有的學習經驗中產生解題的表徵(直接的)。 如：你的程式為什麼會想這樣寫？
選擇來源	是否於相似情境或已知的方法中來產生解題的表徵(間接的)。 如：你寫這程式是曾經有解過類似的題目嗎？或是有其他的情境讓你覺得可以這麼寫？
產生心智模式 表徵心智模式	撰寫程式時，所呈現對整體程式概念結構的表徵，藉由程式撰寫過程與事後晤談來瞭解研究對象所表徵的意涵。 如：運用螢幕畫面擷取分析，並請參與者解釋其程式意涵。
執行思考驗證	能針對所(思考)撰寫的程式進行思考驗證，由其是指程式中具有較強的策略性及程式結構、邏輯部分進行實際執行與檢核執行結果。 如：針對循跡(循黑線)有特定的解題策略，會先將程式下載至機器車實際操作驗證。
執行實徵實驗	針對所撰寫的程式進行實際執行結果的檢核。 如：將解題程式實際下載至機器車執行操作驗證。
完成目的	所撰寫的程式能夠達成目標任務。

表4：資料標示說明

資料來源	編號範例
檢測題動作分析放聲思考	(2010/01/16動2009-S1)
螢幕畫面擷取檔案	(2010/01/16攝2009-S1)
半結構式事後晤談資料	(2011/05/10晤2011-T2)
程式概念理解測驗	(2011/05/29測-S2)

研究者；「S」代表學生，後接編號；「T」代表專家，後接編號。

此外，本研究採三角校正法進行資料比對，如下所述：

- 1.資料的校正：研究者於晤談過程中，請受訪學生確認其作答是否與真實之想法一致，並藉由訪談結果與學生先前作答之結果進行對照，檢驗是否具一致性，亦即同時檢驗試題的可信度。
- 2.觀察者的校正：兩位研究者及協同教學教師進行交互核對，儘量使收集的資料和分析結果趨向客觀。
- 3.方法的校正：研究者使用筆試、放聲思考、螢幕擷取等多種方法探討受試者對程

式概念與程式理解的想法，使資料收集與分析更加可靠。

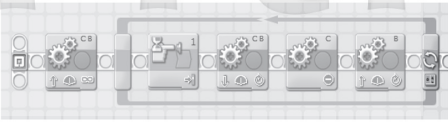
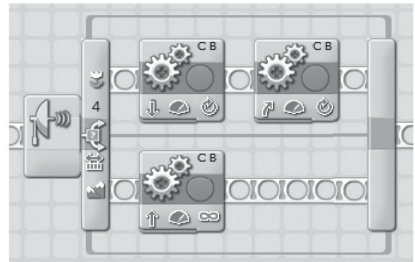
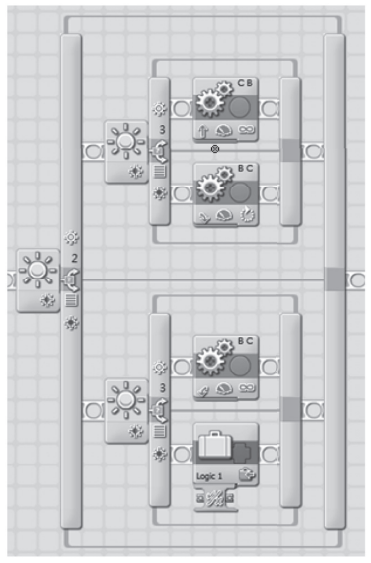
(二)資料分析

1. 學生與專家程式心智模式

學生與專家程式心智模式先由本文文獻探討處之程式心智模式建立初步分類，再由受試者實際表現進行歸類。研究者使用power cam畫面擷取學生與專家在進行程式概念檢測題解題時實際操作程式之過程。為了能在檢測題中分析出學生與專家對於「迴圈」及「分岔」程式概念心智模式，研究者將從所撰寫的程式中進行迴圈及分岔概念的最小模組分析，並將分析結果以流程圖方式呈現，其相關說明與舉例如表5。

心智模式編碼完畢後，學生部分，研究者另配合「程式概念理解測驗」結果，將原始資料交由兩位Lego Mindstorms顧問，協請進行編碼類型之確認與心智模式分類，交互核對，使編碼與分類結果一致。

表5：迴圈及分岔概念心智模式的編碼分析表

迴圈概念心智模式		定義	編碼舉例
loop model 原始程式		能在程式中適時的使用迴圈功能，會有判斷條件及終止條件的敘述。	直走→【觸碰→後退→轉彎→直走】(重複2次) (2011/01/16攝2009-S1)
step model 原始程式		所有程式皆是由一步接著一步，也就是以循序式的命令方塊組成。	【直走→超音波→B停C走(轉彎)】複製一貼上3次，卻沒使用迴圈方塊。 (2011/01/16攝2009-S3)
odd model 原始程式	(在此次研究中，並未發現)	是由許多錯誤的或迷思概念所構成，相對的所呈現的程式是無法操控機器人，或是機器人無法執行預期功能。	
分岔概念心智模式		定義	編碼舉例
single-switch model 原始程式		在呈現分岔程式概念時僅呈現其中一種判斷後的程式敘述。	機器人感應到近，就先後退再轉彎；機器人感應到遠，就直走。 (2011/05/29測-S2)
multi-switch model 原始程式		在呈現分岔程式時，其判斷結果後還有另一個分岔程式敘述(包含空敘述)。	這邊就是代表「亮一亮」的時候，就是直走……；像下面這個「暗一暗」跨黑線的，看你是要左轉還是右轉……。那這邊就是「亮一暗」，這邊是「暗一亮」，要把這四種情況列出來…… (2011/05/12晤2009-T2)
odd model 原始程式	(在此次研究中，odd model並無在程式畫面中呈現，而是在學生對於多重分岔概念之理解錯誤。)	是由許多錯誤的或迷思概念所構成，相對的所呈現的程式是無法操控機器人，或是機器人無法執行預期功能。	因為他(觸碰)放開了，就往前直走……然後再看超音波小於25，它就會往前，如果以上的話，就會往前。然後……再往這邊走(指小於的地方)，轉彎直走…… (2011/05/25晤2011-S5)

2. 學生與專家程式概念建模歷程

學生及專家在進程式概念檢測題解題之前，將先進行放聲思考解題的動作分析，並將錄音檔轉成逐字稿，藉以瞭解程式執行前學生與專家解題的想法。而後，研究者將學生與專家在「程式概念檢測題」中動作分析之放聲思考逐字稿，及畫面擷取的解題程式與半結構式事後晤談紀錄，先進行「迴圈」與「分岔」程式概念初步的建模歷程分析，再與兩位Lego Mindstorms顧問進行交互核對，確認建模歷程的每一階段分類與分析，使編碼與分類結果一致。

肆、研究發現與討論

一、學生圖形化程式概念之心智模式

研究者分別於四週迴圈程式的概念教學及三週的分岔程式概念教學後，根據學生於程式概念檢測題I、II之螢幕攝影、放聲思考資料歸納學生迴圈概念及分岔概念的心智模式。各心智模式之範例內容如前述資料分析處之表5所示。最後，研究者將相關資料比對程式概念理解測驗之結果，將學生「迴圈」及「分岔」之心智模式種類整理如表6，茲詳細介紹如下。

(一)迴圈之心智模式

根據表6，學生迴圈之心智模式可分為「loop model」及「step model」。六位學生中，有兩位持有「loop model」，即學生能在程式中適時地使用迴圈功能，且程式中含

有判斷條件及終止條件的敘述；有四位持有「step model」，即所有程式皆是由一步接著一步，也就是以循序式的命令方塊組成，其程式的組成是藉由命令參數的設定完成目標程式。然而，從所有學生的解題過程，研究者並未發現「odd model」，亦即學生並未出現「由許多錯誤的或迷思概念所構成，相對的所呈現的程式是無法操控機器人，或是機器人無法執行預期功能」的情形。另言之，所有學生皆能理解迴圈之概念意義，但多數學生在實際操作時，會基於安全心理，選擇step model解題。

(二)分岔之心智模式

經過分岔功能的教學後，研究者以程式概念理解測驗中之選擇題及問答題來瞭解學生對基本分岔概念的理解程度，結果發現學生皆能正確理解分岔命令方塊(單指使用一個分岔命令方塊)。

但在檢測多重分岔程式概念方面，由於從學生於第二階段程式概念檢測題的解題過程表現發現，僅有兩位學生(S4及S6)選擇多重分岔來解題；其餘學生並未選擇分岔來解題，因此研究者再從「程式概念理解測驗」中「多重分岔概念題」的事後晤談分析學生多重分岔程式的心智模式。根據表6，發現六位學生所呈現多重分岔程式的心智模式可分為三種：一位學生持有「single-switch model」，在呈現分岔程式概念時僅呈現其中一種判斷後的程式敘述；四位學生持有「multi-switch model」，在呈現分岔程式時，其判斷結果後還有另一個分岔程

表6：學生圖形化程式概念之心智模式

概念 心智模式	迴圈			分岔		
	loop model	step model	odd model	single-switch model	multi-switch model	odd model
人數(人)	2	4	0	1	4	1

式敘述(包含空敘述)；一位學生持有「odd model」。相較於迴圈程式，多重分岔程式對學生而言較為困難，雖有三分之二的學生能夠理解多重分岔的程式概念，但在實際解題時，僅有兩位學生能夠自由無礙的操作。另言之，有三分之一的學生因未能持有multi-switch model，因而未能在實際操作中展現，而另三分之一的學生雖具有正確的multi-switch model，但亦選擇較為繁複、安全的方式來解題。

二、專家圖形化程式概念之心智模式

(一)迴圈之心智模式

兩位專家於兩次檢測題中的表現，除瞭解題方式不同外，其迴圈的心智模式與學生相較，更具邏輯性與策略性。由於T1教師熟悉程式語言，因此對於程式的結構多以變數及邏輯判斷為主，其呈現迴圈之目的在於使解決目標任務的程式(含變數關係)能重複執行，直至能達成目的為止。由此可知，T1專家使用迴圈之目的除了達成其策略性目的，當中所陳述的命令方塊亦是使用資料線將命令方塊間形成具邏輯性的敘述。在本研究裡，研究者將此心智模式定義為「variable loop model」(圖9)，意指使用變數來控制迴圈執行次數。

而T2專家於第二階段檢測題中呈現其使用迴圈的心智模式，雖不似T1專家多以邏輯判斷和變數關係呈現程式的概念，但其所呈現的迴圈概念屬於迴圈中包含另一組迴圈，即為巢狀迴圈。在本研究裡，研究者將此心智模式稱為「nested loops model」(圖10)。

(二)分岔之心智模式

兩位專家在使用多重分岔程式時，常出現在目標任務的場地上用以校正車體的機制

下，且會配合邏輯判斷的機制來使用，故所呈現的分岔程式概念心智模式皆為「multi-switch model」，例如：在第一階段程式概念檢測題中，目標任務的場地有黑線，兩位專家皆會使用雙光感應器，在程式中運用多重分岔並配合邏輯判斷為條件，作為校正機器車車體的程式。

三、學生迴圈及分岔之建模歷程

(一)迴圈之建模歷程

在施測第一階段程式概念檢測題之前，研究者先讓學生就該題目進行機器人的動作分析及說明，目的在於瞭解學生經由教學後，是否能將已學得的迴圈程式概念運用至解題上。由於是第一次對比賽題目進行解題，故學生一開始便聚焦於界定問題及「決定目的」上，直至電腦實際操作時，才以曾經學習過的「既有經驗」產生並表徵其對於迴圈的心智模式，並在表徵自己解題的心智模式後，進行「實徵實驗」。

在迴圈的建模歷程中，研究者發現學生往往在產生並表徵自己的心智模式後，就不再修正其心智模式，而以試誤的方式修改已「表徵心智模式」的相關參數(如：轉彎的角度、前進的距離等)，使得在進行「實徵實驗」時，學生會花費許多時間在測試、修改上。因此學生在迴圈的建模歷程中會在「表徵心智模式」與執行「實徵實驗」之間，出現反覆執行的情況，缺乏思考驗證的階段(如圖11)。若是所表徵的模式是「step model」時，所花費的時間更長，但學生仍然不會調整其心智模式，而僅限於參數的調整。而完成目的之後，亦缺乏省思模型的範圍與限制之步驟。

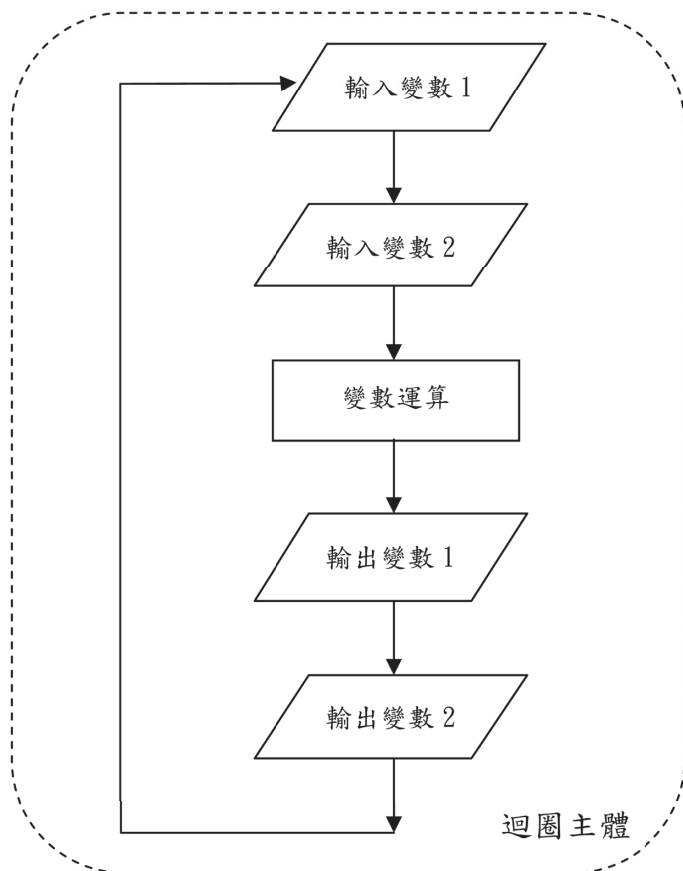
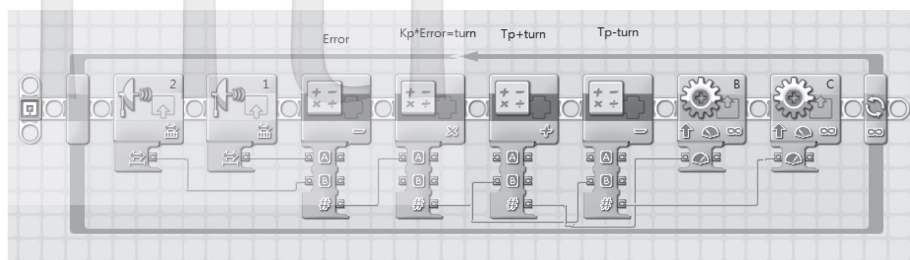


圖9：T1專家教師使用迴圈之原始程式(上)及迴圈概念心智模式(下)

(二)分岔之建模歷程

在進行第二階段程式概念檢測題前，研究者先對學生施予第一部分分岔(switch)教學後，再進行第二部分多重分岔的教學。結果發現學生雖然經過分岔及多重分岔的教學，但六位學生當中只有兩位學生選擇使用分岔程式，分別為S4與S6。S4學生於第二階段程式概念檢測題的動作分析時，即考慮使用兩

種不同的感應器進行解題，因此於實際電腦操作程式時，使用分岔來撰寫程式，但在實際執行時發現機器車不如預期結果，故回到座位上思考一陣子，再詢問教師分岔的功能後，便將先前的程式改為只用觸碰感應器作為判斷條件的寫法，且同一情境的程式亦沒有使用迴圈，而是使用「step model」。研究者認為原因主要還是剛剛使用「分岔」時的

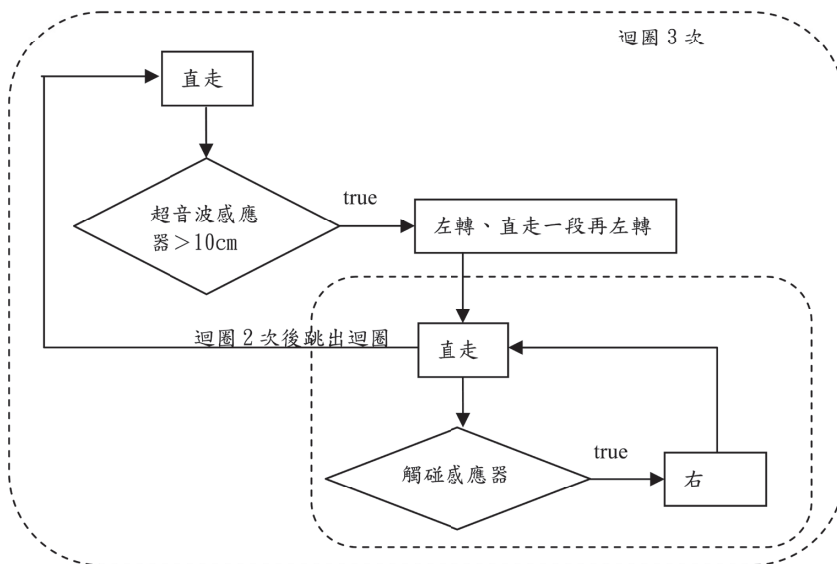
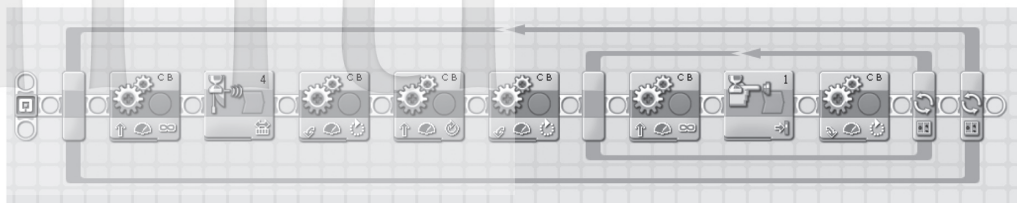


圖10：T2專家教師使用迴圈之原始程式(上)及迴圈概念心智模式(下)

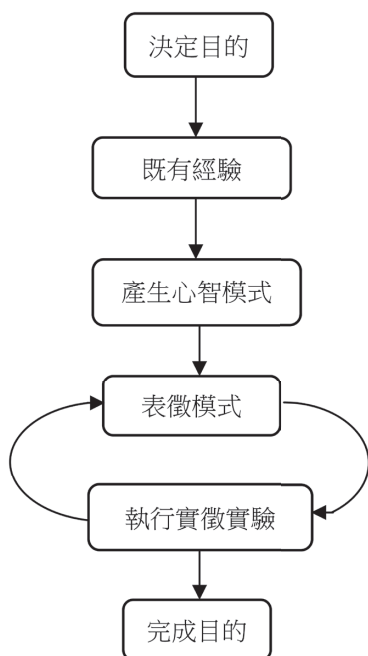


圖11：S1-S6所有學生使用迴圈之建模歷程

挫折，加上看著其他同學似乎不用分岔，程式一步一步地寫比較保險也較容易成功，於是就將自己的程式改掉了。因此S4學生在程式概念檢測題II中未能成功建立分岔程式的心智模式(如圖12)。

而另一位S6學生於第二階段程式概念檢測題的動作分析時，即考慮使用多重分岔進行解題，因此於實際電腦操作程式時，使用多重分岔撰寫程式，並以數學計算多重分岔之間的邏輯，例如：分析車子與兩側牆壁的距離，並將第二階段程式概念檢測題之內容用程式分成三部分，第一部分及第三部分程式是大同小異的，差異僅在於參數的設定，而第二部分則以程序軸的方式撰寫程式。

S6學生於一開始模型選擇時即決定使用老師教過的多重分岔來撰寫程式。由於S6學

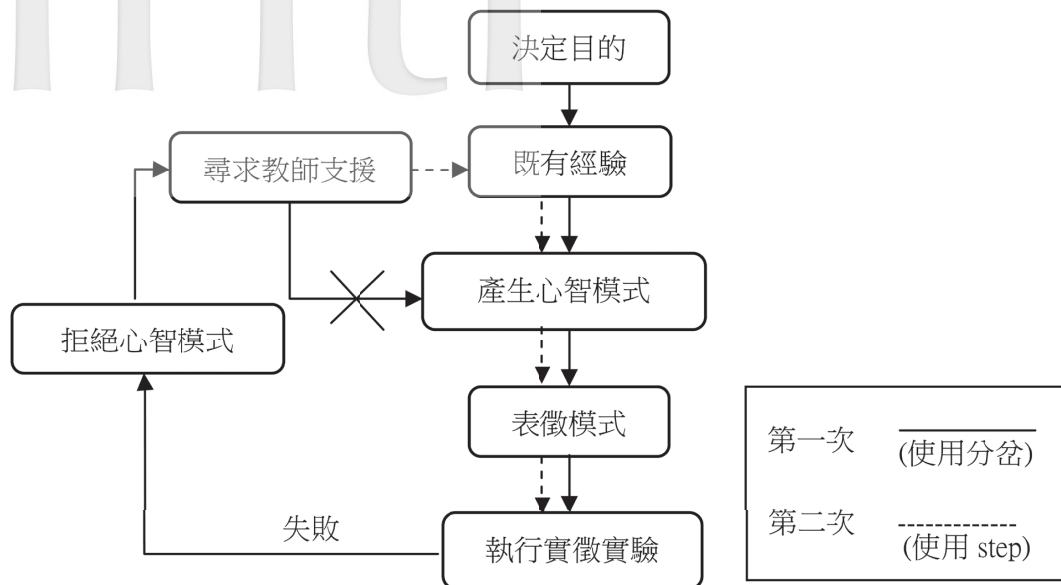


圖12：S4學生使用分岔之建模歷程

生在與其他學生相較之下，其數字概念及運算能力較強(心算能力檢定段位)且邏輯思考能力較優，因此使用多重分岔時，並不會表現出麻煩、不容易的想法，且躍躍欲試。故於第二階段程式概念檢測題中，其多重分岔之心智模式之建模是成功且能達成目標任務的(如圖13)。然而，S6學生之語文及數學能力差異較大，因此在相關晤談中，S6學生無法表達其使用分岔程式的理由及想法。

研：你今年2011的題目你為什麼會想這樣寫？

S6：我忘記了……我只想加程式，
超音波距離牆壁3公分不會撞牆……
我想趕快去加程式……

(2011/05/16晤2011-S6)

在程式概念檢測題II的檢測階段發現，有四位學生以迴圈概念呈現，而此四位學生當中，唯有S1學生能使用「loop model」驗證(如圖14)，並於其既有的學習資源中選擇迴圈(即發現有相同情境下)進行解題。

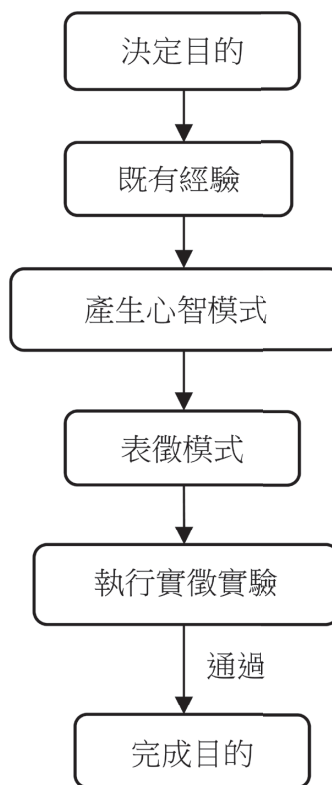
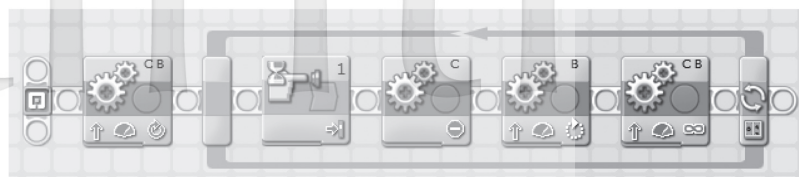
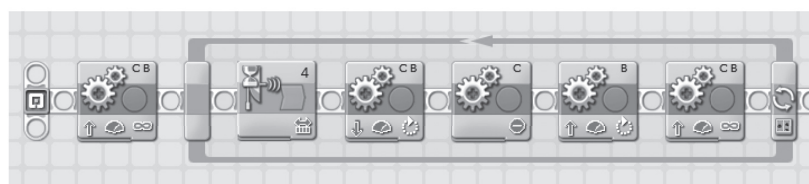


圖13：S6學生使用分岔之建模歷程



(2011/01/16 攝 2009-S1)



(2011/05/13 攝 2011-S1)

圖14：S1學生兩階段程式概念檢測題使用迴圈之原始程式

研：09年及今年都是迷宮，你覺得有什麼相同的地方？

S1：都可以用相同的方法寫(迴圈)。

(2011/05/16晤2011-S1)

S1學生在經過程式概念教學後，能從自身既有資源中選擇使用迴圈的「loop model」，並從實際撰寫程式中表徵其對迴圈概念的心智模式；在第二階段經分岔教學後，S1學生在第二階段程式概念檢測題中所呈現「loop model」的建模歷程為「決定目的」→「既有經驗」與「選擇來源」→「產生心智模式」→「表徵模式」→「執行思考驗證」→執行「實徵實驗」→「表徵模式」→執行「實徵實驗」(如圖15)。

從學生於兩階段之程式概念檢測題之表現可知，迴圈模型的建立相較於分岔概念模型的建立容易，因此只要在目標任務中呈現相似情境，學生即易使用「重複」的方式呈現對迴圈的概念。在檢測題I中，學生於迴圈概念的建模歷程裡所建立的迴圈模型呈現兩種模式，分別為loop model及step model，其中loop model的程式品質相對優於step model，而產生loop model的S1、S3與S5三位

學生之能力分析特質，其「觀察敏銳、細節覺察力佳」的特質較為凸顯，由於能覺察目標任務的相似情境，故能在迴圈的建模歷程中建立起loop model，並於第二階段沿用，而其建模歷程除了S1另具驗證歷程(圖15)外，

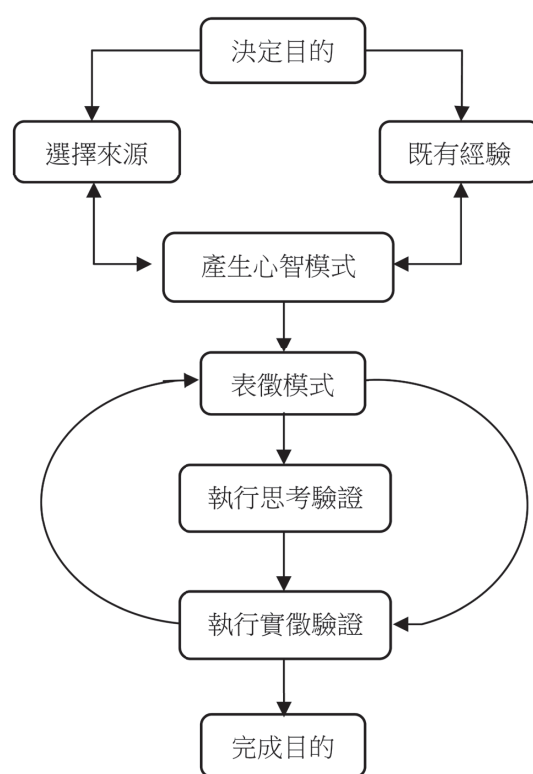


圖15：S1學生使用迴圈之建模歷程

其餘S2、S3、S5之建模歷程則同前一階段之建模歷程(圖11)；而在第二階段檢測題中，S4與S6兩位學生能選擇使用多重分岔程式概念模型，其能力分析於「邏輯推理能力優、數字運算能力佳」方面較為突出。雖然S4學生在尋求教師支援後，因失敗而拒絕分岔概念的心智模式，退而產生step model來解題，但S6學生則能成功驗證其思考模式，建立多重分岔的程式概念模型。

四、專家迴圈及分岔概念之建模歷程

(一)迴圈概念之建模歷程

兩位專家於迴圈建模歷程中，由於各自學識背景及專業背景的差異，使得面對相同題目時，雖然皆選擇迴圈概念解題，但所產生之迴圈心智模式的來源卻是不同。其中T1專家於事後晤談時表示是從書中及在類似情境中習得(電腦鼠走迷宮)；而T2專家則表示對於圖形化程式的學習大部分是靠自學及與他人交流習得，會使用迴圈解題主要是從每年比賽中觀察他人機器車的解題方式，或是在網路上觀看他人分享的影片，進而自行思考程式可能的運作。雖然影響兩位專家形成迴圈心智模式的來源不同，但可知皆屬於在自身「既有經驗」中及曾經有類似情境解題中習得。

在第二階段程式概念檢測題中，兩位專家之迴圈心智模式建模歷程的表現皆為「決定目的」→「選擇來源」及「既有經驗」→「產生心智模式」→「執行思考驗證」→「設計與執行實徵實驗」→「完成目的」(如圖16)。基本上，專家是在其所擁有的資源中「選擇模型」，並加上既有的經驗「建立」解題的模型，分析目標任務後即能產生並表徵其解題的心智模式，之後進行思考驗證，即能解決目標任務的問題。

(二)分岔概念之建模歷程

兩位專家於第一階段程式概念檢測題中，皆呈現多重分岔程式概念作為解題策略。T1專家於事後晤談中表示會使用此種運用黑線校正車體的策略主要是在指導學生過程中自己構思而成，並表示與自己的C語言背景有關；而T2專家則表示會使用此種運用黑線校正車體的策略也是在指導學生的過程習得的。

在第一階段程式概念檢測題中，兩位專家之分岔心智模式建模歷程的表現與迴圈程式之見模歷程相同，皆為「決定目的」→「選擇來源」及「既有經驗」→「產生心智模式」→「執行思考驗證」→「設計與執行實徵實驗」→「完成目的」(如圖16)。基本上，專家是在其所擁有的資源中「選擇模

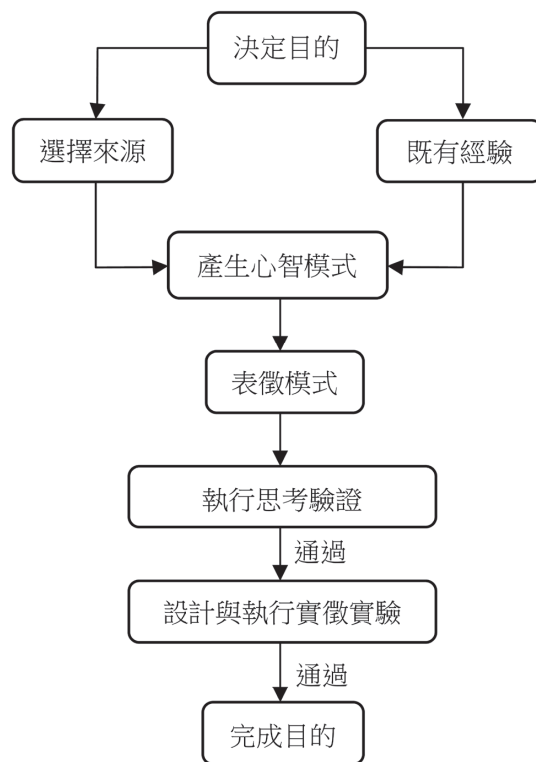


圖16：專家之建模歷程

型」，並加上既有的經驗「建立」解題的模型，分析目標任務後即能產生並表徵其解題的心智模式，之後進行思考驗證，即能解決目標任務的問題。

五、學生與專家的差異

(一)學生與專家程式心智模式的比較

1. 學生與專家迴圈心智模式的比較

學生於兩階段的程式概念檢測題中，其所呈現之迴圈心智模式共有兩類，分別是 **loop model** 及 **step model**。該兩類迴圈心智模式屬於最基本的迴圈概念，即具備基本的判斷條件及程式敘述，而迴圈內所包含的程式敘述都是程式軸的簡單敘述。部分學生能將重複敘述的程式用迴圈「包覆」(**loop model**)，以減少程式的敘述；部分學生則是將重複敘述的程式用「複製－貼上」的方式呈現(**step model**)，而其所表達的迴圈心智模式就是以命令方塊一步一步的呈現。

專家於兩階段的程式概念檢測題中，其所表徵迴圈的心智模式則是具有邏輯判斷的程式敘述，而非只有設定簡單條件的迴圈(如：次數)，而迴圈內的程式敘述會因應解題的需要寫上邏輯變數以建立指令方塊間的關係，而其所表達的迴圈心智模式是較有邏輯性及策略性。

2. 學生與專家分岔心智模式的比較

對學生而言，由於分岔功能在程式概念理解上較具邏輯概念，對於兩種判斷條件的分岔，更需邏輯清晰，甚或是更多的練習來支持分岔功能的使用條件。因此於第二階段程式概念檢測題中，只有兩位學生(S4與S6)使用，其中一位(S4)中途因感受到不容易達成目標而放棄。基本上，學生在使用分岔功能時，是以學習經驗作為使用的基礎，由於曾經在教學中學習使用分岔作為兩種感應器

或兩種條件判斷(雙光源)的練習，因此當日標任務出現並要求同時使用感應器，S6學生便選擇兩種感應器(觸碰及超音波感應器)且兩種條件判斷(雙超音波)進行解題，其所呈現的分岔心智模式是清楚且完整的。

專家於兩階段的程式概念檢測題中，於校正機器車車體時使用分岔，且皆為雙光源感應器的分岔程式。當研究者進一步詢問兩位專家是否會像S6學生使用兩種感應器(觸碰及超音波感應器)且兩種條件判斷(雙超音波)撰寫程式，兩位專家皆表示在這種情況下，雖然會使用兩種(或兩種以上)的感應器，但程式並不會這樣寫，而是會以拉資料線的方式，加上邏輯變數的功能來撰寫程式。

(二)學生與專家程式建模歷程的比較

有關程式概念的建模歷程，學生即使在第一次選擇「近似」專家的心智模式進行解題(差別僅在於是否使用邏輯變數關係)，若沒有適當的引導或鼓勵，學生容易放棄自己原有的心智模式，其建模歷程會再從「既有經驗」開始，而所表徵的心智模式及歷程也為變得簡化及單純。該類學生的建模歷程往往呈現「決定目的」→「既有經驗」→「形成並表徵心智模式」→「執行實徵實驗」→「完成目的」，在解題歷程中，缺乏多元的來源選擇，而僅能依賴課程中曾遭遇的既有經驗選擇心智模式，此外，所有學生皆缺乏思考驗證的執行，而倚賴NTX-G執行實徵實驗以驗證想法，若想法不若預期，則可能因此受挫而受同儕解題方式的影響，而拒絕原有心智模式，部分學生另會選擇簡化版，但較為安全的模型以完成解題。而專家在面對目標任務時，會先將題目中的「解題關鍵」找出，並於其既有經驗及資源選擇上找出合適解題的模式，並不會出現「拒絕心智模

式」的情形，僅是在機器車結構上做調整。研究者認為可能本研究給予專家的目標任務原是提供小學生解題的題目，因此專家可以很快在其既有經驗及資源中找出合適解題的模型。從專家所呈現的建模歷程為「決定目的」→「既有經驗」與「選擇來源」→「形成並表徵心智模式」→「執行思考驗證」→「執行實徵實驗」→「完成目的」可知，專家在心智模式的選擇是具有解題策略及相當的經驗支持。

研究者進一步比較專家與學生所呈現的建模歷程，發現兩者同樣會先釐清問題、並決定目的，所產生的心智模式會依據專家或學生自身擁有資源與經驗決定。然而，產生心智模式後，專家不會再對所呈現的模式有大幅的修正，而有些學生會以最簡略的程式概念進行解題，雖然不會有大幅度的修正，但必須花許多時間試誤或「低效率」的解題。

在本研究中，僅有S6學生使用「近似」專家的心智模式進行解題，而成功「效化」其多重分岔程式概念模型，研究者嘗試將該位學生與專家的程式概念建模歷程作一整理，如表7所示。

從上述分析可知，在模式的表徵上，專家在程式結構中呈現較嚴謹且具邏輯性的模式；在設計與執行程式時，其花費「測試」與修正參數的時間是具高效率的(即學生須花6~8節課解題，專家只須花費約半天的時間)。因此在建模歷程上，學生較容易出現「拒絕模式」，但又不知道應該如何修正，而僅是修正相關參數的情形，而專家則能快速從既有經驗中形成心智模式，並有效執行實徵實驗以完成目的。基本上，專家於兩階段的程式概念檢測題中，對於迴圈及分岔概念建模歷程的呈現，與生手學生最大的差異在於專家所擁有的資源及經驗較學生豐富許多，因此能找出解題的關鍵策略，快速且有效率的產生能完成目標任務的心智模式。

伍、結論與建議

一、結論

(一)學生及專家迴圈及分岔程式概念之心智模式

1. 學生與專家迴圈的心智模式

學生所呈現的迴圈程式心智模式可分為

表7：學生S6及專家的程式概念建模歷程比較

建模歷程	學生	專家
決定目的	瞭解目標任務後，表徵多為問題的表面意義。	瞭解目標任務後，能先找出解題關鍵及策略。
既有經驗	以學習過的程式技巧解題。	相關解題經驗較佳且豐富，並能類化相似情境來做解題策略的判斷。
選擇來源	無	
表徵心智模式	表徵的模式是解題的片段，較為單純與簡化，無策略性。	屬策略性，具邏輯判斷與變數，能表徵有效的解題模式。
執行思考驗證	僅有一位學生能結合相似情境，以相同的表徵來進行新情境解題的思考驗證。	針對解題策略進行思考驗證，以確認表徵之模式是否通過驗證。
執行實徵實驗	僅針對所撰寫的程式進行實際執行結果的檢核。	結合通過解題策略的思考驗證，將撰寫的程式進行實際執行結果的檢核。
完成目的	花費較多的時間試誤與修改參數，故完成目標任務效率較低。	先找出解題關鍵策略，故完成目標任務效率高、花費時間短。
考量模型的範圍與限制	無	無

「loop model」及「step model」，其中使用「loop model」的學生較能在所呈現的目標任務中找出情境中相同的模式來使用迴圈的程式，並在適當的時機使用以精簡程式；而使用「step model」的學生雖亦能找出目標任務中相同的情境，但對於程式參數設定無法掌握其技巧(如機器車轉彎的角度)，因此常遷就參數設定，因而雖能理解迴圈之概念，但花較多時間在摸索及試誤。此外，研究者亦發現產生loop model的學生多具備「觀察敏銳、細節覺察力佳」的能力特質，能覺察目標任務的相似情境，這也導致其在分岔任務時，仍因察覺兩任務之間之相似性，而沿用之前習得之迴圈程式。相對地，專家對迴圈程式概念的心智模式與學生相較，顯得更具邏輯性與策略性，能善用程式命令方塊間的資料線，建立程式的邏輯及有結構的敘述，以精簡的程式解決目標任務。

2. 學生與專家分岔的心智模式

由於以圖形化程式呈現分岔概念，以基本的單一判斷條件的分岔敘述，除非在判斷「true」或「false」之後皆有程式敘述，否則若只需要判斷其中一種條件做程式敘述，只需使用程序軸寫程式即能達成目標，因此學生經過分岔及多重分岔的教學後，在第二階段程式概念檢測題中，對於分岔(甚至多重分岔)的使用並非第一選擇，六位學生中僅兩位選擇使用分岔程式，經由晤談瞭解學生皆因分岔概念較為「麻煩、複雜」而放棄使用，而選擇使用分岔程式的學生，其所呈現的心智模式可分為「single-switch model」及「multi-switch model」。其餘四位學生則從程式概念理解測驗中的分岔概念測驗題的事後晤談結果獲得其對分岔概念的心智模式，研究者發現該四位學生中有三位學生具有正確的雙分岔程式概念，其心智模式為「multi-

switch model」，即在判斷條件後皆有程式敘述，而僅有一位學生呈現「odd model」，認為程式在判斷完其中一種條件敘述後(true)，接著程式會走另一種判斷(false)，若有迴圈的話，才會再回到迴圈主體的起始區。

專家在分岔概念的使用上，兩位教師皆於兩階段的程式概念檢測題中呈現在目標任務的場地上用來校正車體的機制下，且會配合迴圈程式及邏輯判斷的機制來使用，其呈現的分岔概念心智模式也具有策略性及邏輯性，尤其專家若具備C語言程式基礎，所呈現的程式概念心智模式更能呈現命令方塊間邏輯變數之關係。

(二)學生及專家迴圈及分岔程式之建模歷程

在兩階段的程式概念檢測題中發現，迴圈的建模對學生來說較為容易，且易於類化至相似情境或程式概念中使用，也較能讓學生思考迴圈概念的使用範圍與限制。然而，相較於學生對於迴圈概念的使用，專家往往在迴圈的使用上，已明確建立迴圈使用的相關範疇，並能活用迴圈的功能，使迴圈的運用更清楚呈現條件判斷及終止(跳出)迴圈的條件；而分岔程式概念的心智模式建模歷程，由於使用分岔概念需清楚的邏輯思考，且加上兩種條件判斷時，更需清楚瞭解每個判斷條件之間的關係及程式邏輯，故在此基礎下，學生容易放棄使用分岔。此外，喜歡思考、邏輯推理能力優的學生對程式自我效能具有較正面的看法，且能清楚瞭解每個判斷條件下必須如何呈現程式敘述，才能讓機器車達成目標任務。在本研究中僅有兩位學生能呈現分岔的建模歷程，其餘四位學生皆在「選擇來源」時就已放棄使用分岔的心智模式。

專家對於分岔程式的使用，已針對問題具備基本的「策略模組」，有一定的使用時

機及程式概念模組(Robins et al., 2003)，例如：當日標任務場地有「黑線」時，對專家來說，可能就可以使用雙光源感應器用分岔來寫校正車體的程式。因此，對專家而言，當目標任務呈現時，會先判斷解題關鍵與目的各為何，並從其既有經驗及資源中選擇適當解題的心智模式，經參數設定的調整之後完成目的。

(三)學生及專家程式概念心智模式與建模歷程之差異

在本研究中，學生與專家所呈現的建模歷程，其背後資源與經驗有很大的差異。首先是專家在分析目標任務上，其所知覺的型態與學生有所不同，學生僅能覺知目標任務，並以自身所知的方式進行解題，而專家對於目標任務所覺知的是較大的型態，能在短時間內找出解題的策略。其次，在設計與執行程式時，學生缺乏思考實驗的能力需倚賴實徵實驗驗證模型，亦無法考慮不同模型的使用範圍與限制，因此當其所產生的程式心智模式出現問題時，通常會拒絕原來的心智模式或僅是反覆試誤、調整參數，此點與Panoutsopoulos (2011)的研究結果一致。若仍未能順利解題，便會再從自身的「既有經驗」中選擇更為初階、安全的解題策略。相對的，通常專家在產生心智模式後，經簡短的思考實驗後，便不會再對所產生的模式有大幅修正，因此呈現的是一種序列性的建模歷程。且專家所花費「測試」與修正參數的時間是具高效率的。此外，可能因為專家的思考與解題是高效率的，因此本研究並沒有捕捉到專家如何思考各心智模式之間的範圍與限制之證據。

二、建議

目前將機器人學習納入課程或課後社團的學校單位越來越多，但如何讓學生朝往專

家之路？教師與研究者熟稔專家與資優生生手之程式心智模式與建模歷程顯然為重要的第一步，而後才能繼續探討教學之深化。據此，本研究針對未來資優生行動機器人之教學提出具體建議。

(一)運用專家版型加強基本概念及使用程式模組經驗以提高自我效能

Ramalingam等(2004)主張結構良好的心智模式有助於知識的獲得和遷移，進而提高自我效能。因此，本研究建議學生在學習進階的程式概念(如：分岔、多重分岔)時，教師應先加強學生對進階程式的基本概念，使其瞭解該程式的運用時機，進而能類化運用至適當情境。如同Linn與Clancy (1992)以個案研究方式將專家的程式分成幾個重要的區塊，並加上文字說明、演算法、概念圖、除錯及測試技巧，形成「版型」(template) (如本研究中之圖9之nested loops model 或圖10之variable loop model)後教給學生，讓學生學習專家各式版型中的程式用法及規劃的技巧，如此可以讓學生學習如何解決更高難度的程式問題。值得注意的是，過程中教師需提供鷹架，鼓勵學生，提高學生的成就動機及自我效能，否則學生一遇有挫折，便容易退縮，改選較為初階、耗時，但自己感到安全的程式解題。有關教師應提供怎樣的鷹架，和學生之間如何互動以促進學生成長為未來重要研究方向。

(二)運用「預測－執行－分享」鼓勵學生思考實驗以比較各種模型的範圍與限制

本研究主要使用Justi與Gilbert (2002)所提出之建模架構模式來分析學生與專家在目標任務解題中對程式概念心智模式的建模歷程，結果發現由於圖形化程式的方便介面，

學生可以很快經過「拖－拉－放」便完成程式，此點對於初學者而言，降低了寫程式的門檻，但也讓這群資優生普遍不會先行思考實驗，而直接執行程式驗證。建議授課教師鼓勵學生先行預測「拖－拉－放」圖形程式後所產生的結果並思考其所寫程式模型的適用範圍與限制，進而嘗試講出來與同儕分享。執行過後，建議讓學生比較執行結果與預測之間的差異，進而解釋為什麼造成這樣

的差異，甚或提出改進的方法，這樣將有助於學生提升後設認知、運用策略解題，而非不斷「試誤」。

致謝

本研究感謝科技部經費補助（計畫編號：NSC 102-2511-S-259 -003 -MY3），在此特致謝忱。

參考文獻

1. World Robot Olympiad. (2009)。WRO2009國際奧林匹克機器人大賽：校際盃比賽規則(通用版)。查詢日期：2011年1月16日，檢自http://teacher.hlc.edu.tw/file_upload/20090228-112750f1-1082.pdf。
2. World Robot Olympiad. (2011)。WRO 2011國際奧林匹克機器人大賽：校際盃比賽規則（通用參考版）。查詢日期：2011年5月6日，檢自<http://www.cjshs.tn.edu.tw/UploadImgFile/2011-6-17-9-3-23-968.pdf>。
3. 何致億(2007)。Lego Mindstorms NXT智慧型樂高機器人與Java程式開發。臺北市：精誠資訊。
4. 林振欽、洪振方(2010)。學生建模歷程分析與類型之個案研究：以電腦模擬單擺實驗為例。高雄師大學報：自然科學與科技類，28(3)，25-48。
5. 邱美虹(2008)。模型與建模能力之理論架構。科學教育月刊，306，2-9。
6. 邱美虹、劉俊庚(2008)。從科學學習的觀點探討模型與建模能力。科學教育月刊，314，2-20。
7. 洪維恩(2004)。C語言教學手冊(第3版)。新北市：博碩文化。
8. 張志康、邱美虹(2009)。建模能力分析指標的發展與應用——以電化學為例。科學教育學刊，17(4)，319-342。
9. 劉俊庚、邱美虹(2010)。從建模觀點分析高中化學教科書中原子理論之建模歷程及其意涵。科學教育研究與發展季刊，59，23-54。
10. Campbell, R. L., Brown, N. R., & Dibello, L. A. (1992). The programmer's burden: Developing expertise in programming. In R. R. Hoffman (Ed.), *The psychology of expertise: Cognitive research and empirical AI* (pp. 269-294). New York: Psychology Press.
11. Caspersen, M. E., & Bennedsen, J. (2007). Instructional design of a programming course: A learning theoretic approach. In R. Anderson (Ed.), *Proceedings of the third international workshop on computing education research* (pp. 111-122). New York: ACM.

12. Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of research on conceptual change* (pp. 61-82). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
13. Dagdilelis, V., Sartatzemi, M., & Kagani, K. (2005). Teaching (with) robots in secondary schools: Some new and not-so-new pedagogical problems. In P. Goodyear et al. (Eds.), *Proceedings of fifth IEEE international conference on advanced learning technologies* (pp. 757-761). Washington, DC: IEEE Computer Society.
14. Demetriou, G. A. (2011). Mobile robotics in education and research. In Z. Gacovski (Ed.), *Mobile robots: Current trends* (pp. 27-48). Rijeka, Croatia: InTech.
15. Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 3-17). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
16. Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73-79.
17. Götschi, T., Sanders, I., & Galpin, V. (2003). Mental models of recursion. *ACM SIGCSE Bulletin*, 35(1), 346-350.
18. Griffin, T. (2010). *The art of Lego Mindstorms NXT-G programing*. San Francisco, CA: William Pollock.
19. Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1019-1041.
20. Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental model*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
21. Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modeling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
22. Justi, R. S., & van Driel, J. (2005). A case study of the development of a beginning chemistry teacher's knowledge about models and modeling. *Research in Science Education*, 35(2-3), 197-219.
23. Kurland, M. D., & Pea, R. D. (1985). Children's mental models of recursive logo programs. *Journal Educational Computing Research*, 1(2), 235-243.
24. Linn, M. C., & Clancy, M. J. (1992). The case for case studies of programming problems. *Communications of the ACM*, 35(3), 121-132.
25. Panoutsopoulos, B. (2011). Introducing science technology engineering and mathematics in robotics outreach programs. *Technology Interface International Journal*, 12(1), 47-53.
26. Ramalingam, V., LaBelle, D., & Wiedenbeck, S. (2004). Self-efficacy and mental models in learning to program. *ACM SIGCSE Bulletin*, 36(3), 171-175.

27. Robins, A., Rountree, J., & Rountree, N. (2003). Learning and teaching programming: A review and discussion. *Computer Science Education*, 13(2), 137-172.
28. Sanders, I., Galpin, V., & Götschi, T. (2006). Mental models of recursion revisited. *ACM SIGCSE Bulletin*, 38(3), 138-142.
29. Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. V. (2005). The difficult process of scientific modeling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modelling. *International Journal of Science Education*, 27(14), 1695-1721.
30. Valente, J. A. (1995). Logo as a window into the mind. *Logo Update*, 4(1), 1-4.

附錄

兩階段程式概念檢測題內容分析

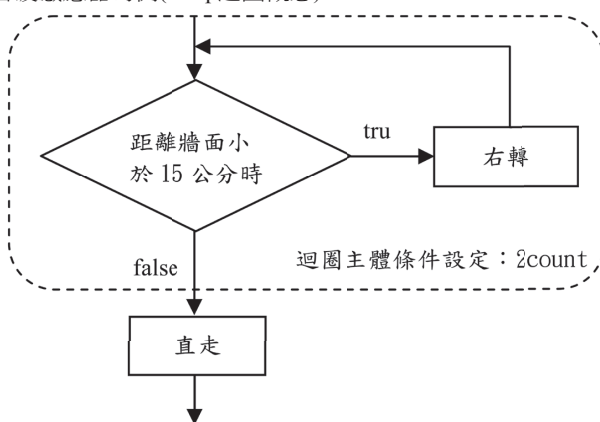
程式概念檢測題I

說明：以2009年國際奧林匹克機器人大賽之競賽場地，並沿用部分相關規則修訂之。

任務：機器人從起點區域出發後，必須使用感應器或相應判斷機制，穿越迷宮與灰色地板（任2塊），經過營地(BASE CAMP)並往前進停至白色區域後，再後退返回營地停止。

一、程式概念：

迷宮區：以超音波感應器為例(Loop迴圈概念)



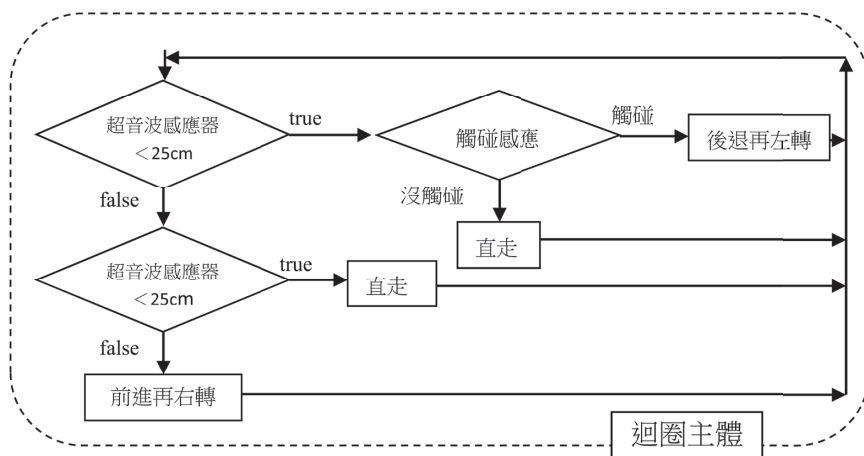
程式概念檢測題II

說明：參考2011 WRO示範影片，讓學生使用相同的車型及感應器。學生須使用程式中分岔功能，甚至兩種條件判斷的分岔功能。

任務：

- (1) 機器人須使用感應器，車型由老師提供組裝方式（基本車型，感應器自行組裝）。
- (2) 機器人須從綠色區域出發，在儘可能短的時間內（任務時間90秒）自行找出路至紅色區域終點。
- (3) 場地除了出發和結束區（用色紙布置）外都是白色，可能放在地上或桌上。出發和結束區的四周會有2 mm 左右的黑線（用膠帶布置），出發和結束時機器人都不能壓黑線。

二、程式概念：



Fifth Grade Gifted Students' and Experts' Mental Models and Modeling Processes in NXT-G

Jing-Wen Lin^{1,*} and Yi-Chin Lin²

¹ Department of Curriculum Design and Human Potentials, National Dong Hwa University

² Guang-fu Elementary School, New Taipei City

Abstract

This study explores fifth grade gifted students' and experts' mental models and modeling process, in the development of conceptual understanding and design of “loop” and “switch” programs in NXT-G. The students' performance could be seen as a starting point, and experts' performance could be seen as the role model. Suggestions for gifted students learning mobile robotics were proposed by comparing these two target groups. This study adopted the case study research method. Six fifth grade gifted students and two experts were purposely selected. Participants' experiences in completing the “Programming Concepts Test” were collected through the think aloud method and screen video capture. Additional evidence was gathered from the “Test of Understanding in Programming Concepts” and interviews. The results showed: 1. The “loop” and “step” models were adopted by the gifted students when they understood the “loop” program, while “single-switch,” “multi-switch” and “odd” models were adopted in students' understanding of the “switch” program; however, “variable loop” and “nested loops” models were adopted by the experts when they performed the “loop” program, while the “multi-switch” model was adopted in experts' performance of the “switch” program. 2. The gifted students relied on class experience to select a model, and needed to verify their model via implementing the program. If they could not achieve the goal, they usually used trial and error to modify arguments or rejected their original model rather than revising it. However, the experts had abundant problem solving resources and experiences to form strategies. They usually verified their selected model via thought experiments and solved problems rapidly. We suggest adopting experts' strategy models (e.g., variable loop, nested loops) as templates to enhance students' basic understanding of programming and their experience of using programming models. Moreover, “prediction-implementation-sharing” could be used to encourage students' thinking experimentations and to compare different models' scopes and limitations.

Key words: Mental Model, Modeling Process, Expert, Gifted Students, Graphical Program (NXT-G)

* Corresponding author: Jing-Wen Lin