

《測驗學刊》
第六十八輯第二期 2021 年 6 月 101~139 頁

雙代理人和單代理人之對話式智慧家教系統於 數學學習成效與學習興趣之探究

郭伯臣¹ 吳慧珉² 游欣容³

摘要

在對話式智慧家教系統中，教師代理人會以自然語言與學生對話，依據學生所輸入的文字，教師代理人會給予適當的回應，引導學生進行有效學習。對話式智慧家教系統已發展出雙代理人教學方式，除了介面設計不一樣之外，其對話設計機制也有差異。然而，不同的對話模式設計是否會影響學生的數學學習成效和學習興趣，仍然是一個值得探究的議題，故本研究設計雙代理人 and 單代理人之對話式智慧家教系統，以探討學生透過雙代理人 and 單代理人對話模式之引導，其數學學習成效與學習興趣之差異。本研究以畢氏定理為內容，開發單代理人與雙代理人之對話式智慧家教系統，研究對象為中部八年級 8 個班的學生共 202 位，其中隨機分派 3 個班接受單代理人對話式智慧家教系統之教學（實驗組一），3 個班接受雙代理人對話式智慧家教系統之教學（實驗組二）、2 個班接受團班教學（控制組）。研究結果顯示：接受單代理人與雙代理人對話式智慧家教系統之學生，其數學學習成效顯著優於接受團班教學之學生。雙代理人對話式智慧家教系統比單代理人對話式智慧家教系統更能有助於提升低成就學生的畢氏定理學習成效；運用雙代理人對話式智慧家教系統學習的學生，其學習畢氏定理的興趣高於運用單代理人對話式智慧家教系統的學生。

關鍵詞：單代理人、智慧家教系統、對話式、數學、雙代理人

1. 郭伯臣，國立臺中教育大學教育資訊與測驗統計研究所特聘教授

2. 吳慧珉，國立臺中教育大學教育資訊與測驗統計研究所助理教授

3. 游欣容，百年樹人文教科技股份有限公司負責人

收件日期：2020.04.01；完成修改：2021.05.12；正式接受：2021.05.18

通訊作者：吳慧珉；Email：whm@gm.ntcu.edu.tw

地址：403514 臺中市西區民生路 140 號

國立臺中教育大學教育資訊與測驗統計研究所

The Effectiveness of Two Agents and One Agent Dialogue Based Intelligent Tutoring System in Learning Mathematics

Bor-Chen Kuo¹ Huey-Min Wu² Hsin-Jung Yu³

Abstract

Pedagogical agents are embodied animated avatars that help students learn by holding conversations with the students in the dialogue based intelligent tutoring systems. There are different triologue designs (two agents interacting with a human student) that address different pedagogical goals for different classes of students. The impact of different triologue designs on learning outcome is still unknown. The core question is whether the learning outcomes show improvement over typical human-computer dialogues (one human student and one tutor agent) and conventional pedagogical interventions. The purpose of this study is to develop two agents and one agent dialogue-based intelligent tutoring systems for learning the Pythagoras Theorem for junior high school students. The effectiveness of two agents and one agent dialogue-based intelligent tutoring systems for learning the Pythagoras Theorem is evaluated in this study. In this study, the “Pythagoras Theorem” unit of mathematics utilized in Taiwanese junior high schools is adopted to construct tasks in the dialogue based intelligent tutoring system. The 202 students from the eighth grade of Taiwanese junior high school were selected to participate in the field experiment in this study. The results indicated that the students with two agents dialogue-based intelligent tutoring system can get a higher score than that with traditional instruction. Students who received two agents dialogue-based intelligent tutoring system outperformed those who received the traditional group-based remedial program. The low mathematics achievers with two agents dialogue-based intelligent tutoring system get a higher score than that with one agent dialogue-based intelligent tutoring system. Students with two agents dialogue-based intelligent tutoring system get a higher score in learning interesting than that with one agent dialogue-based intelligent tutoring system.

Keywords: dialogue, intelligent tutoring system, mathematics, one agent, two agents

1. Bor-Chen Kuo, Distinguished Professor, Graduate Institute of Educational Information and Measurement, National Taichung University of Education

2. Huey-Min Wu, Assistant Professor, Graduate Institute of Educational Information and Measurement, National Taichung University of Education

3. Hsin-Jung Yu, Person in charge, Bai Nian Shu Ren Cultural and Educational Technology Co., Ltd.

Received: 2020.04.01; Revised: 2021.05.12; Accepted: 2021.05.18

Corresponding Author: Huey-Min Wu; Email: whm@gm.ntcu.edu.tw

Address: No. 140, Minsheng Rd., West Dist., Taichung City 403514, Taiwan

Graduate Institute of Educational Information and Measurement, National Taichung University of Education

壹、前言

隨著資訊科技的進步，線上學習系統日漸興盛與多元，例如：智慧家教系統（intelligent tutoring system, ITS）即是希望透過「即時的」及「客製化的」教學或回饋來輔助學生進行學習的電腦系統（Joseph & Sharon, 1988）。智慧家教系統最早是由 Sleeman 與 Brown（1982）所提出，早期主要是結合訊息處理學派的認知理論來設計教學活動，近年來亦受到建構主義學派之影響，將建構主義的認知心理學主張融入智慧家教系統的設計中（Urban-Lurain, 1996）。基於不同的認知理論與人工智慧方法，目前有許多的智慧家教系統被提出來並驗證其對學生之學習成效，VanLehn（2011）的研究亦指出，真人一對一家教教學的效果量是 0.79，而智慧家教系統的效果量是 0.76，兩者的效果量差異不大，故智慧家教系統的教學效果與真人一對一的家教系統是一樣好的。目前，智慧家教系統與班級教學、真人家教及多媒體教學之成效比較，一直都是熱門的議題，例如：Karaci、Akyüz、Bilgici 與 Arici（2018）探討學生使用智慧家教系統學習電子學的學習成效和保留成效，顯示智慧家教系統能有效提升學生的學習成效，但無法明顯提升保留成效；Xu、Wijekumar、Ramirez、Hu 與 Irely（2019）透過後設分析探究幼兒園學生到中學生使用智慧家教系統對其閱讀理解之影響，結果顯示若和傳統的教學比較（含真人家教），使用智慧家教系統的效果量達 0.86。

目前，智慧家教系統的發展分為兩大部分：對話式智慧家教系統與非對話式智慧家教系統。對話式智慧家教系統是基於真人教師教學，在教學過程所使用的建構理論中強調解釋與合作建構活動而發展的智慧教學系統，其中 AutoTutor 是較為知名的對話式智慧家教系統。AutoTutor 是由美國曼菲斯大學 Institute for Intelligent Systems 所發展的一種智能教學系統，主要是透過代理人機制引導學生學習的對話式智慧家教系統，其特徵是學生在學習的過程中，可以與教師代理人進行對話，教師代理人會以自然語言與學生對話，並依據學生所輸入的文字，模擬真人教師會給予適當的回應，引導學生建立知識概念，透過智慧家教教學系統可以有效的改善學生之學習表現（Graesser, 2016; Graesser, Chipman, Haynes, & Olney, 2005; Graesser, Person, Harter, & The Tutoring Research Group, 2001; Graesser, VanLehn, Rosé, Jordan, & Harter, 2001; Ma, Adesope, Nesbit, & Liu, 2014; Millis, Forsyth, Butler, Wallace, Graesser, & Hal-

測驗學刊，第 68 輯第 2 期

pern, 2011)。

在非對話式智慧家教系統方面，系統會監控學生的表現，當學生需要幫助的時候，提供與內容有關的教學或答案，或是針對多步驟解題的題目幫助學生分成幾個部分來回答。教師可以得到學生的作業報告以了解學生的學習情況，並能根據學生的學習狀況制定特定目標的複習作業並分配給特定的學生，能夠更廣泛地調整或進行差異化教學，例如：教育部的因材施教網 (<http://adaptive-learning.ntcu.edu.tw/>)、美國 Carnegie Learning 所開發的高中數學智慧教學系統 Cognitive Tutor (Anderson, Corbett, Koedinger, & Pelletier, 1995)，或是 ASSISTments System (Kelly, Heffernan, Heffernan, Goldman, Pellegrino, & Goldstein, 2013; Mendicino, Razzaq, & Heffernan, 2009; Singh et al., 2011) 等，皆是屬於非對話式智慧家教系統。

最近的一些研究 (Graesser, Forsyth, & Lehman, 2017; Siler & VanLehn, 2015; VanLehn, Graesser, Jackson, Jordan, Olney, & Rose, 2007) 顯示，以對話方式設計的智慧家教系統能有效提升學習成效，而且具有好的對話設計之智慧家教系統，其教學效果會優於傳統非對話式的智慧家教系統，故本研究以對話式智慧家教系統做為系統開發之架構。對話式智慧家教系統與非對話式智慧家教系統的不同之處是著重於自然語言的對話，學習者透過句子或是語音輸入與系統進行對話式互動教學。為了處理學生所輸入的內容，對話式智慧家教系統應用計算語言學的相關演算法，包含潛在語意分析 (latent semantic analysis, LSA)、關鍵字比對等技術等，目的是希望能夠精準測量學習者所要表達的知識含意。透過這些技術，對話式智慧家教系統中的代理人可以根據學習者的輸入給予不同之回應，而這些電腦與學習者互動的一連串過程是由對話式智慧家教系統中所設計的教學腳本 (包含對話規則) 所產生。相較於閱讀同樣教科書材料時間的學生，透過對話式智慧家教系統的對話規則學習之學生能提升約 0.8 個標準差的學習成效 (Graesser, D'Mello, Hu, Cai, Olney, & Morgan, 2012; Nye, Graesser, & Hu, 2014)。

早期對話式智慧家教系統的設計是以 1 位學生對 1 位代理人為主，代理人的身分可以是低能力同儕、相同能力同儕或是教師，本研究稱之為單代理人對話式智慧家教，包含 1 位學生對 1 位教師代理人。近幾年，已有學者開始發展多人互動的對話式智慧家教系統，在本研究則是稱為雙代理人對話式智慧家教 (1 位學生代理人、1 位教師代理人)。雙代理人對話式智慧家教系統可以提供互動式情境模式，也有學者結合遊戲元素與擬真環境的學習介

面，提供學生更多元的學習經驗（Graesser et al., 2017; Millis, Forsyth, Wallace, Graesser, & Timmins, 2017）。單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統除了介面設計不一樣之外，其對話設計機制也有差異，Graesser 等人（2017）研究整理出七種雙代理人的對話模式，例如：學生只是單純的觀察代理人之間的對話進行學習，或是在教師代理人的引導下，學生跟學生代理人進行競賽等。不同的雙代理人對話模式可能有其適用的學習目標，例如：單純觀看代理人之間的對話進行學習，可能比較適合淺層學習（shallow learning），特別是學生的背景知識是有限的時候；跟學生代理人競賽的模式可能可以提升學生的學習動機等（Graesser et al., 2017）。然而，目前並沒有實證資料顯示單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統對於促進學生的學習成效，是否有差異存在？

賈志琳、李政軒（2020）使用對話式日語學習智慧家教系統進行日語教學之研究，結果顯示單代理人對話式智慧家教系統之日語學習成效顯著優於傳統教學控制組。吳慧珉、楊小億、施淑娟、許天維（2019）的研究顯示，單代理人對話式智慧家教系統之學習成效顯著優於團班教學，能有效增進實驗組高、中、低能力學生的數學學習成效，且敘述統計資料顯示，約 80% 實驗組的學生喜歡使用智慧家教系統上課，操作「對話式智慧家教系統」學習數學的方式很有趣，上述這兩篇研究的單代理人模式都是指教師代理人。而黃燕茹（2018）的研究也顯示，雙代理人對話式智慧家教系統進行畢氏定理之教學的學習成效優於團班教學，訪談的資料顯示：實驗組學生對於使用雙代理人對話式智慧家教系統是有趣的學習過程，此篇的雙代理人是指一位教師代理人 and 一位學生代理人，但在黃燕茹的研究中並未針對不同能力的學生群探究其數學學習成效；Graesser 等人（2017）的研究雖然指出雙代理人對話式智慧家教系統可能更好，但該研究主要是著墨於雙代理人對話式智慧家教系統可以設計更多元的對話內容、促進深層思考，但該研究中並沒有提供相關的實驗數據說明雙代理人對話式智慧家教系統會優於單代理人對話式智慧家教系統。綜合學者的研究結果皆顯示：單代理人對話式智慧家教系統及雙代理人對話式智慧家教系統的學習成效皆優於團班教學；然而，並未有研究探究不同的智慧家教系統對話模式設計對於學生學習成效之影響，而在學習興趣的部分，僅有少部分研究透過敘述統計或訪談的方式，了解智慧家教系統對於學生學習興趣之影響，故本研究設計不同的代理人對話模式，探討學生在不同的代理人對話模式（單代理人 and 雙代理人）中，其數學學習成效

和學習興趣是否有差異，以提供實務使用者相關建議。

「畢氏定理」是學生進入國中後初次接觸平面幾何學的概念，也是日後學習三角函數的重要基礎，不管是國民中小學九年一貫課程設計或是十二年國民基本教育數學領綱，皆將畢氏定理的學習列為學習內容，並被安排在國中八年級的數學課程裡，而到了高中課程，還有很多的定理是從它本身或推廣而來，例如：三角函數、餘弦定理、中線定理等，顯見畢氏定理在中學數學扮演著十足重要的角色。本研究以畢氏定理為內容，設計對話式智慧家教系統，比較單代理人對話式智慧家教系統、雙代理人對話式智慧家教系統運用於數學教學之成效差異，本研究之研究問題如下：

1. 運用不同的教學方法（團班教學、單代理人對話式智慧家教系統、雙代理人對話式智慧家教系統）進行國中畢氏定理之教學，其學習成效是否有顯著差異？
2. 運用單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統進行國中畢氏定理之教學，其學習興趣是否有顯著差異？

貳、對話式智慧家教系統之相關研究

智慧家教系統是提供學習者即時性回饋和個人化教學的電腦系統，目標在於透過各種計算語言技術提供學習者有意義和有效的學習（Joseph & Sharon, 1988）。根據過去研究者所提出的系統架構，智慧家教系統包含四個基本元素（Freedman, 2000; Nkambou, Mizoguchi, & Bourdeau, 2010; Nwana, 1990）：Domain Model（領域模式）、Student Model（學生模式）、Tutoring Model（教學模式）、Interface Model（介面模式）。領域模式是指在智慧家教系統中要教導學生的知識、課程或單元之範圍；學生模式是評估學生當前的學習狀態，用來記錄學生對於課程的個別學習狀況與需求，如何有效且準確的偵測學生之學習狀態與需要再提供哪些回饋是智慧家教系統的主要核心；教學模式是智慧家教系統依照相關領域教學理論所制定的教學策略與程序，系統可根據學生的學習狀態決定不同的教學方式；介面模式是指系統要以何種方式與學習者進行互動，包含對話、模擬、多媒體等，良好的使用者介面可以清楚提供教學或是回饋，以增進學習者對於智慧家教系統的接受度。

智慧家教系統的運作模式主要分為兩個部分：外部迴圈（outer loop）與內部迴圈（inner loop）。在外部迴圈中，可透過教學課程的教學活動去指導

學生，並透過內部迴圈去監控每個教學活動流程。外部迴圈一開始會選擇一個任務並呈現給學生進行學習，當一個任務被選擇後，會進入內部運作流程，直到學生完成這個教學活動。而這些教學活動多半是需要多步驟去完成的問題，而活動當中則包含了模擬、遊戲或對話的方式與學生進行互動（Koedinger, Brunskill, Baker, McLaughlin, & Stamper, 2013）。

對話式智慧家教系統最早由美國曼菲斯大學所發展且命名為 AutoTutor，是基於真人教師教學發展而來，主要是依據 Expectation-Misconception Tailored (EMT) Dialogue 為基礎建立人機互動的對話模式，其架構如圖 1 所示。EMT 主要是根據真人家教中的對話模式進行設計，藉由問題引導學生回答後給予各種不同的回饋。在 EMT Dialogue 中，每個主要問題（Main Question）都會包含多個預期概念（Expectations）與迷思概念（Misconceptions），而教師代理人會透過一連串不同的對話方式來引導學生了解正確的概念，這些對話方式包含 Pump、Hint、Prompt 等不同層級的回饋。Pump 是激發學生，讓學生說出更多訊息；Hint 是提供重要的問題或是陳述引導學生回答主要的問題；Prompt 是引導學生從問題中表達出主要概念被遺漏的關鍵詞；另外，還有一些 Feedback 是根據學生上句回答內容的品質給予的回饋，例如：「很棒」是正向的回饋，「好的」是中性的回饋，「你錯了」是負向的回饋（Graesser et al., 2012）。

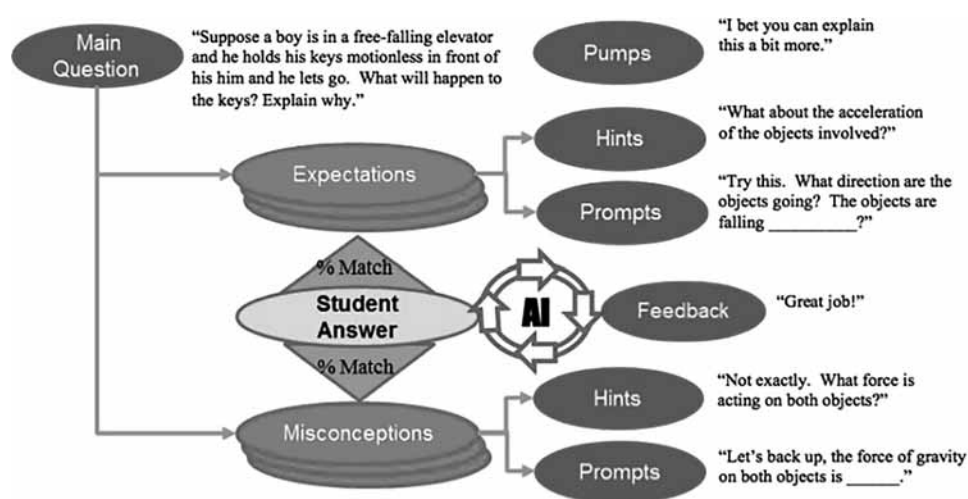


圖 1 AutoTutor Style Expectation-Misconception Tailored (EMT) Dialogue 架構

資料來源：Nye、Rahman 等人（2014）

對話式智慧家教系統早期是發展學生與一位教師或學生代理人進行互動為主，以單代理人對話式智慧家教系統進行一系列學習成效的實驗，例如：在電腦知識的教學實驗中，比較學生使用單代理人對話式智慧家教系統、不使用任何教材、使用教科書學習的學習表現。研究結果發現，在需要應用知識進行推理的選擇問題與克漏字填空測驗方面，使用單代理人對話式智慧家教系統的學生表現比其他兩組學生要好（Graesser et al., 2004）；另一項應用於大學物理教學的實驗中，研究比較學生使用單代理人對話式智慧家教系統、真人家教、學生閱讀教科書與未使用任何教材四組的學習成效，研究結果發現單代理人對話式智慧家教系統的學習成效明顯高於學生閱讀教科書與未使用任何教材，而與真人家教並未達顯著差異（VanLehn et al., 2007）。

對話式智慧家教系統在國外已被廣泛應用於電腦資訊、物理學、生物學、閱讀理解、寫作練習等各領域的學習，其教學模式也從一個學生對一個代理人教學模式延伸至一個學生對多個代理人的教學模式設計（Graesser et al., 2017; Millis et al., 2017）。Graesser 等人（2017）研究整理出七種多代理人的對話模式，如表 1 所示。

模式一和模式二適合用於提供較低層次的知識學習，包括簡單的事實、規則和順序等，較無法促進深層的學習；模式五和模式七能促進深層學習，適合用於能力佳的學生；模式四能藉由遊戲競爭提升學生的學習動機與情意面；模式三則是在學習的過程中將負面的回饋最小化，儘可能給予學生中性的回饋或正面的回饋。模式一～模式七在學習過程中給予學生的能力狀態評估之頻率也是不同的：模式一學生只是觀看代理人之間的對話進行學習，故學習過程中完全不需要評估學生的能力狀態給予回饋；模式二藉由簡單的問題評估學生的能力狀態；在模式三～模式七的學習過程中，須不斷地評估學生的能力狀態給予相對應的適性回饋（Graesser et al., 2017）。

Graesser 等人（2017）的研究介紹雙代理人的系統 Operation ARIES，該系統主要是教導學生學習科學方法學（scientific methodology）的批判思考能力，根據學生所要學習的概念特性，採用表 1 的模式二、模式三、模式四、模式五和模式七設計不同的對話模式。在該篇研究中，聚焦於探討模式七的設計可以讓對話設計更多元，如學生代理人和教師代理人的答案是一對一錯，或是學生代理人和教師代理人的答案皆是錯的，這樣的對話引導能誘發學生產生認知失衡，且可以促進深層思考。Graesser 等人（2017）的結論雖然指出雙代理人的設計可能比較好，但卻沒有提供相關的實驗數據驗證雙代

郭伯臣 吳慧珉 游欣容 雙代理人和單代理人之對話式智慧家教系統於數學學習成效與學習興趣之探究

理人對話教學的學生學習成效。

表 1 對話式智慧家教系統的七種多代理人對話模式

| 模式 | 多代理人對話模式 |
|-----|--|
| 模式一 | Vicarious Learning with Human Observer：學生透過觀察「教師代理人與學生代理人對話」或「代理人之間的對話」來強化自我的學習。 |
| 模式二 | Vicarious Learning with Limited Human Participation：學生在觀察「教師代理人與學生代理人對話」或「代理人之間的對話」過程中，教師代理人或學生代理人會問學生一些明確的 Prompt 問題（大多是是非題或簡單的回答），讓學生回答，學生除了觀察強化自我學習外，也能融入課程中，增加參與感。 |
| 模式三 | Tutor Agent Interacting with Human and Student Agent：在這個模式中，教師代理人會針對學生代理人給的錯誤答案，給予一個負面的評價。但這樣的指正過程設計對學生而言，是獲得一個較中性的回饋。 |
| 模式四 | Expert Agent Staging a Competition Between the Human and a Peer Agent：教師代理人發起一個競賽，讓學生和學生代理人在競賽或遊戲中學習。 |
| 模式五 | Human Teaches/Helps a Student Agent with Facilitation from the Tutor Agent：透過教師代理人的問題進行三方對話與互動，對於能力較好的學生，系統可以將情境設計成學生教導學生代理人，讓學生透過教導學生代理人來進行深層思考。 |
| 模式六 | Human Interacts with Two Peer Agents that Vary in Proficiency：系統可以設計兩位學生代理人，藉由學生代理人的知識和能力不同，透過對話設計，看學生是否能夠透過與兩位學生代理人的溝通進行學習，甚至採取主動指引能力較差的學生代理人。 |
| 模式七 | Human Interacts with Two Agents Expressing Contradictions, Arguments, or Different Views：學生可以透過兩位代理人之間的認知衝突進行學習，調整自己的迷思概念，可以得到更深層的學習。 |

Millis 等人（2017）則試圖釐清模式四中，遊戲在對話式智慧家教系統中是否能促進學生的學習成效。透過系統性的分析比較結果顯示：雙代理人的對話式智慧家教系統可以有效提升學生的學習成效；相較於沒有加入遊戲元素的對話式智慧家教系統，在對話式智慧家教系統中加入遊戲成分並無法更有效地促進學生學習，因過度強調遊戲特色，反而會忽略了學習主題的首要任務，故在對話式智慧家教系統中仍應以學習為主題。黃燕茹（2018）由雙代理人智慧家教系統的學習成效探討數學學習成效，採用表 1 中的模式二、三、五進行對話設計，結果顯示學生透過智慧家教系統、團班教學這兩種教學方式均具有明顯的進步，使用雙代理人對話式智慧家教系統進行教學

之學習成效則顯著優於團班教學之學習成效。

上述的研究結果顯示：單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統均能促進學生學習成效。根據吳慧珉等人（2019）及黃燕茹（2018）的研究結果發現，使用「單代理人對話式智慧家教系統」和「雙代理人對話式智慧家教系統」進行數學教學皆能有效提升學生的學習成效，使用「單代理人對話式智慧家教系統」和「雙代理人對話式智慧家教系統」進行教學之學習成效顯著優於團班教學之學習成效；但並未探究單代理人及雙代理人進行教學時，哪種對話式智慧家教系統成效較佳？單代理人對話模式可以根據學生的答案給予對錯的直接回饋，學生可以立即知道自己的作答情形；雙代理人的設計即是在原本一位學習者對一位教師代理人的互動下再加入其他的代理人，雙代理人的方式可以設計出不同的教學模式與教學對話情境。對此，Graesser 等人（2017）雖然指出雙代理人的設計可能更好，但 Millis 等人（2017）的研究也指出模式四中強調遊戲的機制並無法有效促進學生的學習成效，故雙代理人對話設計和單代理人對話設計對於學生學習成效之影響，仍需進一步探究。

模式五、六、七是適合能力佳的學生，模式一、二主要是學生觀看對話較少互動，且過程中較少涉及評估機制，以了解學生目前的能力狀態（Graesser et al., 2017），模式四已有實驗探究其對於學習成效並無實質的助益（Millis et al., 2017）。考量本研究的實驗對象能力涵蓋低、中、高的學生，並非特定能力學生，且相較於模式一和模式二，模式三的對話歷程較能與學生互動，故本研究採用模式三的對話模式。模式三之設計為教師代理人會針對學生代理人給的錯誤答案給予一個負面的評價，而此錯誤答案其實是學生的錯誤答案，但對於學生而言，則給予中性的回饋。這樣的指正過程設計對學生而言，學生在學習的過程中可避免接受負面回饋，主要是在接受中性和正面的回饋。

對話式智慧家教系統可有效提升學生的學習成效，其系統也不斷的修正、改進，教學領域不斷擴展，對話模式從單代理人發展至多代理人，顯見對話式智慧家教系統的發展不斷增進。目前，多數的研究聚焦於探究單代理人對話式智慧家教系統或雙代理人對話式智慧家教系統和團班教學之學習成效比較，單代理人對話式智慧家教系統或雙代理人對話式智慧家教系統在教學模式和介面模式皆有差異，這樣的差異是否會對學生的學習成效造成影響，仍需要進一步探究。本研究發展單代理人對話式智慧家教系統與雙代理

人對話式智慧家教系統，透過實驗控制，以提供實證資料了解這兩種模式對於學生學習成效與學習興趣之影響。

參、本研究開發之對話式智慧家教系統

本研究開發單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統，系統由領域模式、學生模式、教學模式和介面模式所組成。本研究之單代理人對話式智慧家教系統是一位教師代理人透過對話流程，引導學生學習，而雙代理人對話式智慧家教系統則是一位教師代理人搭配一位學生代理人，透過對話流程，引導學生學習。在對話式智慧家教系統中，以外部迴圈與內部迴圈引導教學歷程，外部迴圈以畢氏定理的六個任務作為教學順序，而內部迴圈則以每個任務為主，設計單代理人或雙代理人對話教學腳本，引導學生循序漸進學習，系統架構如圖 2 所示。

一開始，系統依據領域模式（Domain Model）選擇適當的數學任務（Task）讓學生回答，不同的任務會有相對應的介面模式（Interface Model），當學生對數學任務進行回答後，系統會評估學生的回答內容，決定是否需要進一步教學或是完成這個問題，當學生完成這個問題後，系統會即時更新（Update）學生目前的學習狀態（Student Model）。當學生需要教學時，便進入教學模式（Tutoring Model），其教學腳本包含所採用的教學策略、教學步驟等，透過單代理人或雙代理人的對話方式引導學生學習，完成後系統即時更新學生模式（Student Model），並選擇下一任務。當所有的任務都完成後，則結束對話式智慧家教系統之學習。

在此架構中有內外兩種迴圈，外部迴圈（Outer loop）主要作用在任務，其功能在於根據學生對任務的反應（responses）評估後更新學生的學習狀態（Student Model），如有適性的機制，可以根據學生的學習狀態選擇適當任務給學生作為下個學習任務，本研究並無使用適性的機制，系統給予學生六個任務依序學習。內部迴圈（Inner loop）主要作用在步驟（Steps），一個「任務」會包含許多「步驟」，每一個步驟都會涉及一個介面模式（Interface Model）的互動，由教學模式（Tutoring Model）依學習狀態（記錄於學生模式中）啟動不同的步驟引導學習者學習；而在本研究中，「步驟」包含有對話、操作等，各模式之詳細內容說明如下。

測驗學刊，第 68 輯第 2 期

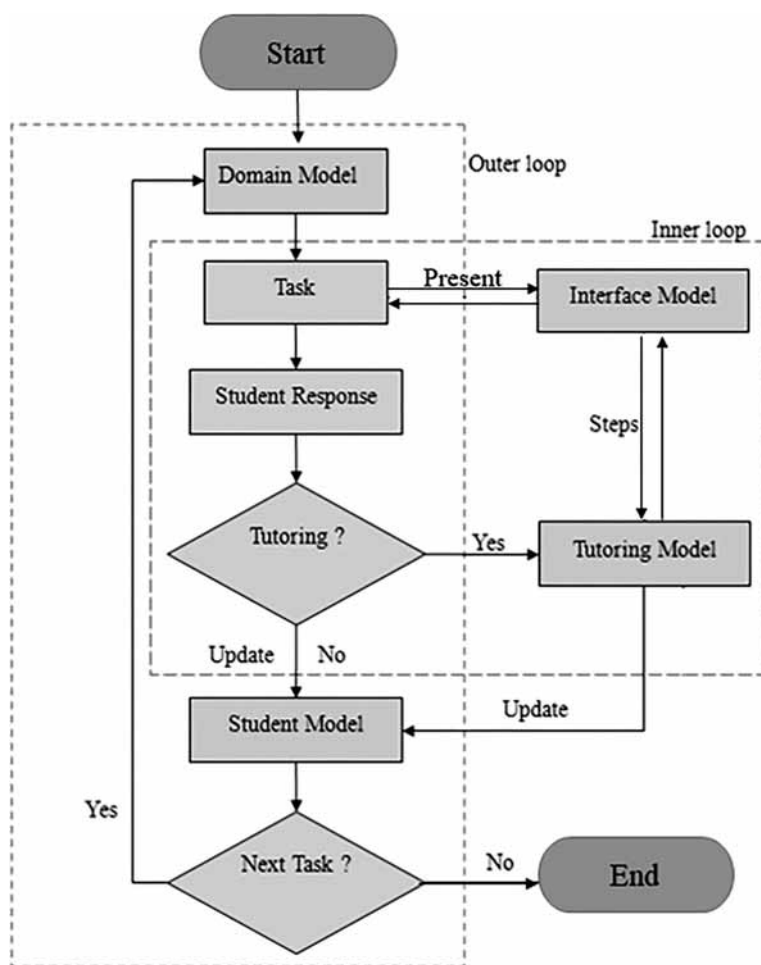


圖 2 本研究使用之對話式智慧家教系統架構

一、領域模式

本研究參考九年一貫課程內容與十二年國民基本教育數學領綱，經由數學領域專家，包含兩位在大學教授數學科教材教法之大學教授與四位年資 10 年以上且擔任數學輔導團之國中數學教師協助，設計六個畢氏定理的任務，詳細內容如表 2 所示。

表 2 本研究在領域模式中設計的畢氏定理任務

| 任務編號 | 教學概念 |
|------|---|
| P1 | 能由拼圖及面積的計算導出畢氏定理 |
| P2 | 能運用直角三角形三內角為 30° - 60° - 90° 的三角形之邊長比求出正三角形的高與面積 |
| P3 | 已知直角三角形的二邊長，能應用畢氏定理計算第三邊 |
| P4 | 直角坐標上任兩點的距離公式 |
| P5 | 能應用畢氏定理解決日常生活中的簡易問題 |
| P6 | 能理解 SSS、RHS 全等性質的概念 |

二、教學模式

在教學模式中，首先由單代理人對話式智慧家教系統或雙代理人對話式智慧家教系統之代理教師提出問題，學生回答問題後，必須針對學生的回答進行能力評估，評估後給予不同層級的回饋（Pump→Hint→Prompt→Teaching→Summary），引領學生回答正確（Good）的答案。

本研究參閱 Hu 與 Cai（2015）的對話流程設計架構，單代理人對話式智慧家教系統是一位教師代理人透過對話流程引導學生學習，對話流程如圖 3 所示。首先，由教師代理人提出問題（Main Question, M.Q.），學生回答後由系統評估學生的能力狀態，看學生是屬於答對（Good）、不完整（Incomplete）、有迷思概念（Confused）、其他（Other）或空白（Blank）中的哪一種？若是答對，教師代理人給予正面評價（Positive Feedback, Pos FdBk）並進入小結（Summary）後結束教學，否則教師代理人即給予負面評價（Negative Feedback, Neg FdBk）後再給予第一層級之回饋（Pump）；學生重新作答後，系統評估學生的能力狀態，看學生的答案是否符合預期答案（Get Expectation）？若是符合，則給予正面評價並進入小結後結束教學，不符合則給予第二層回饋（Hint）；學生重新作答後，系統評估學生的能力狀態，若是答對給予正面評價並進入小結後結束教學，學生的答案不完整、有迷思概念或其他則給予第三層回饋（Prompt）；學生重新作答後，系統評估學生的能力狀態，若是答對給予正面評價並進入小結後結束教學，其他答案直接進入教學（Teaching）並進入小結後結束教學。在單代理人對話式智慧家教系統中呈現的畫面和教師代理人給的不同層級回饋範例請見表 3 所示。

測驗學刊，第 68 輯第 2 期

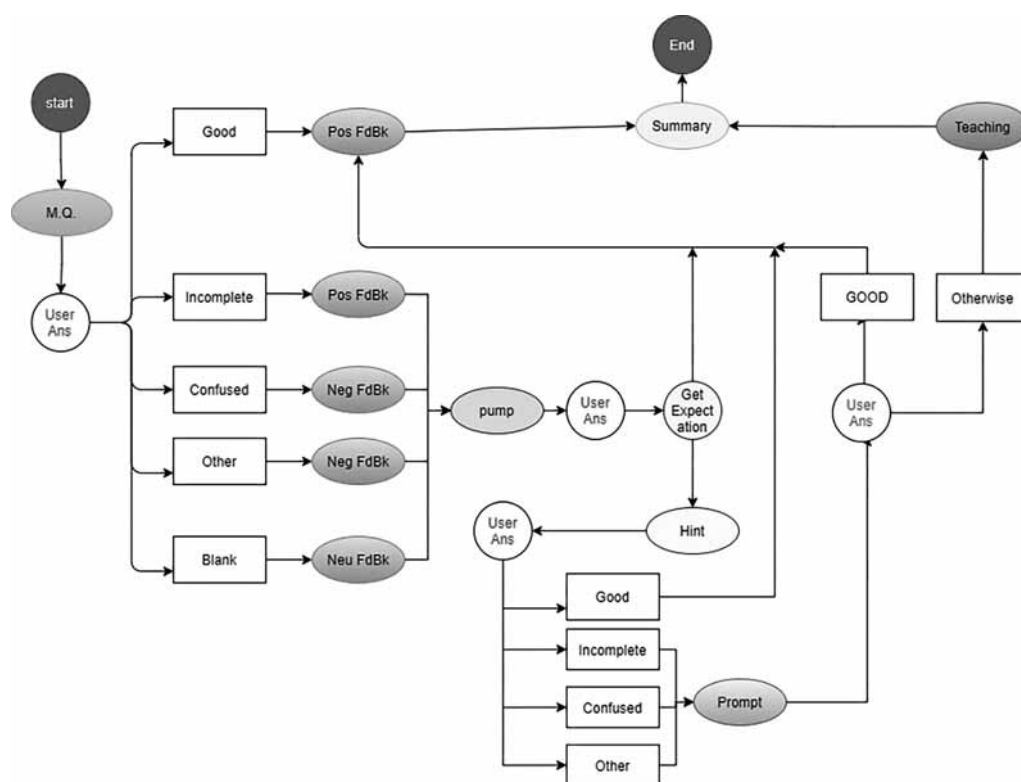
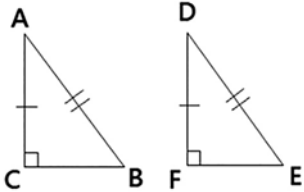
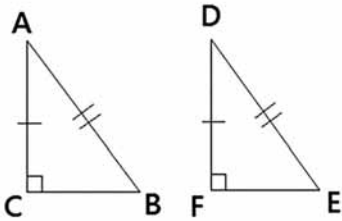


圖 3 本研究開發之單代理人對話式智慧家教系統之對話流程

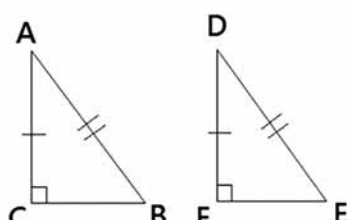
本研究之雙代理人對話式智慧家教系統是一位教師代理人搭配一位學生代理人，透過對話流程引導學生學習，對話流程如圖 4 所示。單代理人 and 雙代理人對話流程之差異是在單代理人對話流程中，如果學生的作答反應是錯誤的，則教師代理人會直接給予學生負面評價（Neg FdBk），例如：「你錯了！」在雙代理人對話流程中，如果學生的作答反應是錯誤的，學生並不會接受到任何的負面回饋，而是由學生代理人代為接受負面評價。首先，由教師代理人提出問題（M.Q.），學生回答後由系統評估學生的能力狀態，看學生是屬於答對（Good）、不完整（Incomplete）、有迷思概念（Confused）、其他（Other）或空白（Blank）中的哪一種？若是答對，教師代理人 and 學生代理人會給予正面評價（T/S Pos FdBk）並由代理教師進行小結（Summary）後結束教學，否則學生代理人出現和學生一樣的錯誤（Student Incomplete Ans），教師代理人給予學生代理人負面評價（Tutor Negative

表 3 本研究開發之單代理人對話式智慧家教系統的對話流程範例

| | |
|---|--|
| <p>現在我們已知$\triangle ABC$為直角三角形，若有另一個直角三角形$\triangle DEF$，已知$\overline{AB}=\overline{DE}$，$\overline{AC}=\overline{DF}$，$\angle C=\angle F=90^\circ$ (請依序回答下列問題)</p>  <p>(4) 由此可知，若要證明$\triangle ABC$和$\triangle DEF$全等，我們也可以將$\triangle ABC$和$\triangle DEF$的已知條件改寫為： (請選出適當的答案。)</p> $\therefore \begin{cases} (\overline{AB}) = (X) & \text{【已知對應邊】} \\ (\overline{AC}) = (Y) & \text{【已知對應邊】} \\ (\angle C) = (Z) & \text{【已知對應角】} \end{cases}$ <p>① $X=\overline{DE}$，$Y=\overline{DF}$，$Z=\angle F$ ② $X=\overline{DE}$，$Y=\overline{DF}$，$Z=\angle E$ ③ $X=\overline{BC}$，$Y=\overline{DF}$，$Z=\angle E$</p> | <p>Pump 的範例 教師代理人： 不對喔！你是不是看錯了呢？請再試一次。</p> |
| <p>現在我們已知$\triangle ABC$為直角三角形，若有另一個直角三角形$\triangle DEF$，已知$\overline{AB}=\overline{DE}$，$\overline{AC}=\overline{DF}$，$\angle C=\angle F=90^\circ$ (請依序回答下列問題)</p>  <p>(4) 由此可知，若要證明$\triangle ABC$和$\triangle DEF$全等，我們也可以將$\triangle ABC$和$\triangle DEF$的已知條件改寫為： ➤請先回答下列問題： 從題目的已知條件可知，兩個三角形的哪些邊會等長？ (請用橫式換列隔開)</p> | <p>Hint 的範例 教師代理人： 不對喔！從題目中我們可知，這兩個三角形的哪些邊會等長？請在作答區列式，並使用橫式換列隔開。</p> |

測驗學刊，第 68 輯第 2 期

表 3 本研究開發之單代理人對話式智慧家教系統的對話流程範例（續）

| | |
|---|---|
| <p>現在我們已知$\triangle ABC$為直角三角形，若有另一個直角三角形$\triangle DEF$，已知$\overline{AB}=\overline{DE}$，$\overline{AC}=\overline{DF}$，$\angle C=\angle F=90^\circ$（請依序回答下列問題）</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>(4) 由此可知，若要證明$\triangle ABC$和$\triangle DEF$全等，我們也可以將$\triangle ABC$和$\triangle DEF$的已知條件改寫為：</p> <p>➤請先回答下列問題：</p> <p>從題目的已知條件可知，兩個三角形的哪些邊會等長？</p> <p>老師講解：</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> $\begin{pmatrix} \overline{AB} \\ \overline{AC} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \overline{DE} \\ \overline{DF} \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} \text{【已知對應邊】} \\ \text{【已知對應邊】} \end{matrix}$ </div> | <p>Prompt 範例</p> <p>教師代理人：</p> <p>不對喔！從題目中，兩個三角形的已知條件有 AB 等於 DE，AC 等於 DF。</p> |
|---|---|

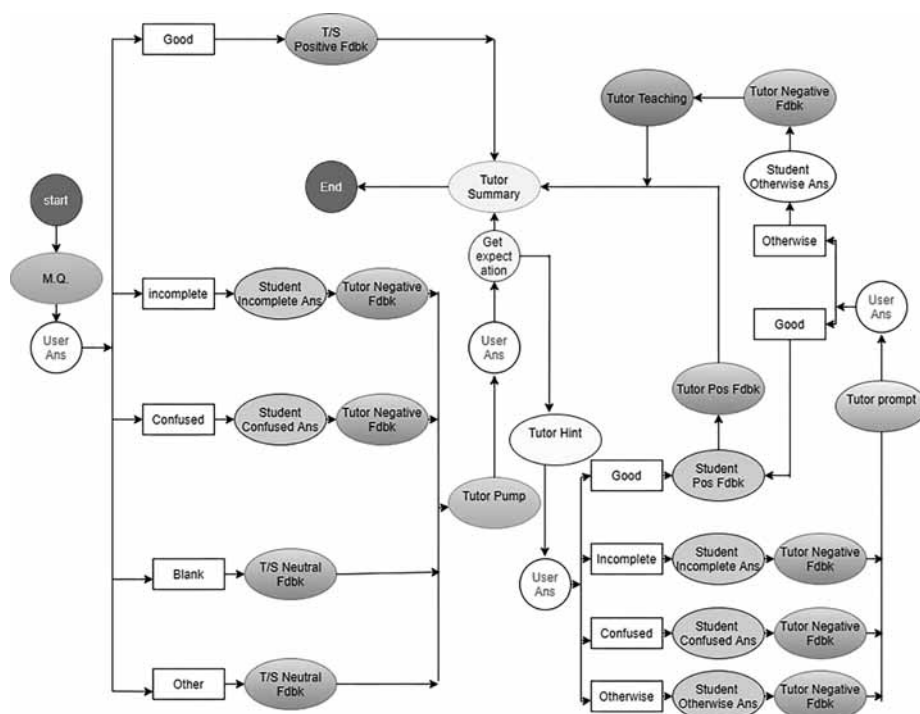
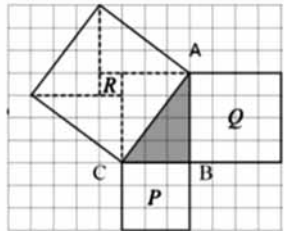


圖 4 本研究開發之雙代理人對話式智慧家教系統的對話流程

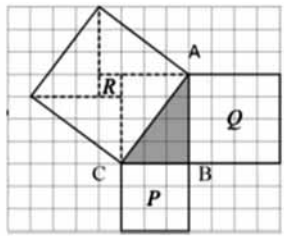
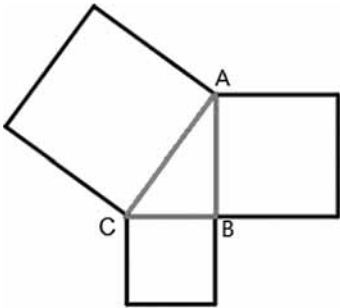
FdBk)，再給予第一種層級之回饋（T Pump）；學生重新作答後，系統評估學生的能力狀態，看學生答案是否符合預期答案（Get Expectation）？若是符合，則給予正面評價並進入小結後結束教學，不符合則給予第二層回饋（T Hint）；學生重新作答後，系統評估學生的能力狀態，若是答對，學生代理人 and 教師代理人給予正面評價進入小結後結束教學，學生的答案不完整、有迷思概念或其他，則學生代理人出現同樣的錯誤答案，教師代理人給予學生代理人負面評價後進入第三層回饋（T Prompt）；學生重新作答後，系統評估學生的能力狀態，若是答對給予正面評價進入小結後結束教學，其他答案則學生代理人出現同樣的答案後，教師代理人給予負面評價進入教學（Teaching）並進入小結後結束教學。在雙代理人對話式智慧家教系統中，教師代理人給予學生代理人負面評價後，再給予不同層級的回饋範例請見表 4 所示。

表 4 本研究開發之雙代理人對話式智慧家教系統的對話流程範例

| | |
|--|--|
|  <p>由拼圖中，我們推得正方形面積 $R = \text{面積 } P + \text{面積 } Q$， 且面積 R 的邊長為 \overline{AC}，面積 P 的邊長為 \overline{BC}，面積 Q 的邊長為 \overline{AB}， 請以 \overline{AC}、\overline{AB}、\overline{BC} 表示直角三角形 ABC 的邊長關係為何？</p> <p>提示</p> <p>面積 $R = \text{面積 } Q + \text{面積 } P$</p> <p>() = $\overline{AB}^2 + \overline{BC}^2$</p> | <p>Pump 範例</p> <p>教師代理人： 立智答案錯了。面積 Q 是線段 AB 的平方！面積 P 是線段 BC 的平方！</p> <p>學生代理人： 同學，我們一起再試一次喔！</p> |
|--|--|

測驗學刊，第 68 輯第 2 期

表 4 本研究開發之雙代理人對話式智慧家教系統的對話流程範例（續）

| | |
|--|--|
|  <p>由拼圖中，我們推得正方形面積 $R = \text{面積 } P + \text{面積 } Q$， 且面積 R 的邊長為 \overline{AC}，面積 P 的邊長為 \overline{BC}，面積 Q 的邊長為 \overline{AB}， 請以 \overline{AC}、\overline{AB}、\overline{BC} 表示直角三角形 ABC 的邊長關係為何？</p> <p>提示</p> <p>面積 $R = \text{面積 } Q + \text{面積 } P$</p> $\overline{AC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{BC}^2$ | <p>Hint 範例</p> <p>學生代理人： 我的答案跟同學一樣！</p> <p>教師代理人： 立智，你又錯了喔！\overline{AC} 的平方等於 \overline{AB} 的平方加 \overline{BC} 的平方。</p> |
|  <p>直角的對邊 \overline{AC} 是斜邊， 直角的鄰邊 \overline{AB}、\overline{BC} 稱為股， $\overline{AC}^2 = \text{斜邊平方}$ $\overline{AB}^2 + \overline{BC}^2 = \text{兩股平方和}$ 因為 $\overline{AC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{BC}^2$ 所以（斜邊平方）=（兩股平方和）</p> | <p>Prompt 範例</p> <p>教師代理人： 不對喔！從題目中，兩個三角形的已知條件有 \overline{AB} 等於 \overline{DE}，\overline{AC} 等於 \overline{DF}。</p> |

三、學生模式

本研究建立學生的數學語料庫，如表 5 所示。學生作答反應資料是 log file 的資料格式，本研究以等號做為區隔，透過區塊比對分析，更新學生的

郭伯臣 吳慧珉 游欣容 雙代理人和單代理人之對話式智慧家教系統於數學學習成效與學習興趣之探究

能力狀態。學生的能力狀態包含答對（Good）、有迷思概念（Confused）、不完整（Incomplete）、空白（Blank）和其他（Other），如果不屬於答對、有迷思概念、不完整與空白者都歸類為其他。

表 5 數學語料庫之分類（部分範例）

| 能力狀態 | log file |
|------------|--|
| Good | $\sqrt{81+144}=15$ |
| Good | $225=\overline{BC}^2\overline{BC}$ $=\sqrt{225}=15$ |
| Confused | $81+144=\sqrt{225}=25$ |
| Confused | $81+144=225$ |
| Confused | $9^2+12^2=81+144=225$ |
| Incomplete | $\sqrt{81+144}$ |

四、介面模式

介面模式是指，一個「任務」包含許多「步驟」，每一個步驟都會涉及一個介面模式的互動，透過對話引導，一步一步引導學生學習。圖 5 是單代理人對話式智慧家教系統的其中一個介面模式，「主題區」為呈現教學問題與內容，會隨著任務的進行而有所變化，教師代理人會模擬自然語音提出問題進行教學引導，並依據學生的回答給予適當回饋。教師代理人的對話語音會呈現在「對話紀錄顯示區」，學生在「作答區」輸入答案或操作圖形，按「送出」，系統即會比對學生的作答反應，以讓教師代理人進行下一步的回饋。

圖 6 是雙代理人對話式智慧家教系統的介面模式，「主題區」為呈現教學問題與內容，會隨著任務的進行而有所變化，教師代理人與學生代理人會模擬自然語音提出問題進行教學引導，教師代理人依據學生的回答給予適當回饋。教師代理人與學生代理人的對話語音會呈現在「對話紀錄顯示區」，學生在「作答區」輸入答案或操作圖形，按「送出」，系統即會比對學生的作答反應，以讓教師代理人或學生代理人有進一步的評價與回饋。

測驗學刊，第 68 輯第 2 期

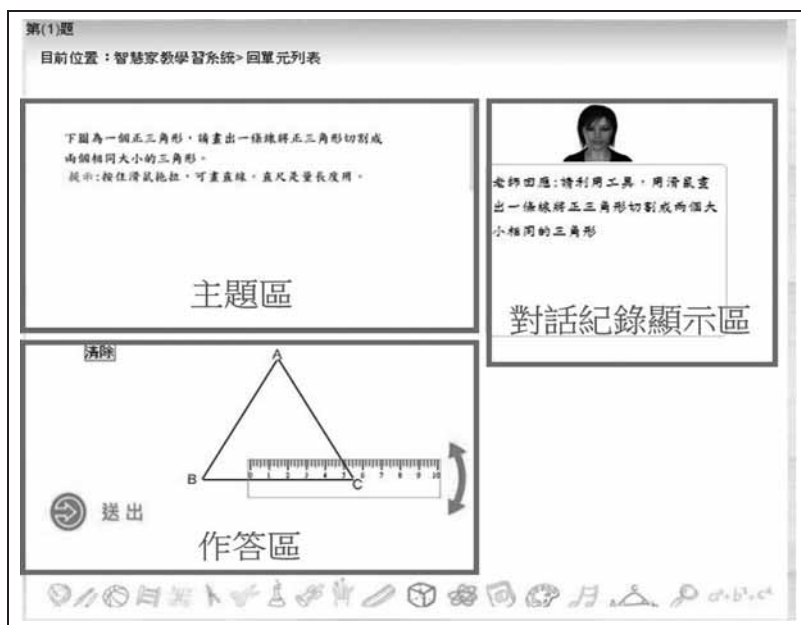


圖 5 單代理人對話式智慧家教系統的介面模式範例



圖 6 雙代理人對話式智慧家教系統的介面模式範例

肆、實驗設計

一、研究對象

本研究使用準實驗設計，由於需使用電腦教室作為實驗場域，且須配合前後測實驗流程，研究對象是以班級為單位招募而來，為臺中市國中八年級學生，是屬於常態編班的學生。為配合學校之教學流程與行政作業，本研究分組實驗時，是以班級為單位進行隨機分組，八個班級隨機分派為實驗組 A（單代理人對話式智慧家教系統）、實驗組 B（雙代理人對話式智慧家教系統）或控制組（團班教學），共 202 位學生為實驗對象（排除特教學生）。有效樣本分為控制組「團班教學」54 人、實驗組 A「單代理人數學智慧家教系統」70 人、實驗組 B「雙代理人數學智慧家教系統」78 人，分別進行三種八年級數學「畢氏定理」的教學方式，研究對象如表 6 所示。

表 6 研究對象人數統計表

| 組別 | 男 | 女 | 總數 |
|----------------------|----|-----|-----|
| 「團班教學」 | 27 | 27 | 54 |
| 實驗組 A「單代理人對話式智慧家教系統」 | 32 | 38 | 70 |
| 實驗組 B「雙代理人對話式智慧家教系統」 | 40 | 38 | 78 |
| 小計 | 99 | 103 | 202 |

二、研究工具

本研究所使用的工具包含對話式智慧家教系統、畢氏定理之前後測試卷與學習興趣問卷。畢氏定理之前後測試卷為研究者自編的試卷，分別針對六個畢氏定理之任務設計題目，用以了解學生在補教教學後的畢氏定理學習成效，題目共 22 題，前測試卷與後測試卷為題型相同的複本測驗，以利比較學生實施教學前後學習成效的差異。本試卷透過 Cronbach's alpha 統計方法來檢驗該問卷，前測試卷的信度係數為 0.83，後測試卷的信度係數為 0.80，表示本測驗的試題信度良好。效度的部分是採用數學教育專家檢核雙向細目表，檢核試題與六個任務之關聯性，確保試卷之內容效度，如表 7 所示。學習興趣問卷是研究者參考國際評比 PISA（the Programme for International Student

測驗學刊，第 68 輯第 2 期

Assessment) 2018 之問卷改編而來，一共有 7 題，四點計分量表：非常同意 4 分、同意 3 分、不同意 2 分與非常不同意 1 分，題目如表 8 所示，前測和後測均是使用同一份問卷，前測和後測之信度均為 0.94，效度則請專家檢核內容效度。

表 7 畢氏定理前後測試卷試題與任務主題關聯表

| 任務主題 | 前後測試卷題號 |
|--|-------------|
| 能由拼圖及面積的計算導出畢氏定理 | 1、2、3 |
| 能運用直角三角形三內角為 30° - 60° - 90° 的三角形邊長比求出正三角形的高與面積 | 4、5、6、7 |
| 已知直角三角形的二邊長，能應用畢氏定理計算第三邊 | 8、9、10 |
| 直角坐標上任兩點的距離公式 | 11、12、13、14 |
| 能應用畢氏定理解決日常生活中的簡易問題 | 15、16、17、18 |
| 能理解 SSS、RHS 全等性質的概念 | 19、20、21、22 |

表 8 畢氏定理學習興趣問卷之題目

| |
|-----------------------|
| 1.我在學習「畢氏定理」時很愉快 |
| 2.我在「畢氏定理」，學習到很多有趣的東西 |
| 3.我喜歡「畢氏定理」 |
| 4.我喜歡任何有關「畢氏定理」的學校作業 |
| 5.我喜歡解決「畢氏定理」的問題 |
| 6.我期待上「畢氏定理」的課程 |
| 7.「畢氏定理」是我最愛的數學單元之一 |

三、實地實驗流程

本研究以班級為單位，隨機將受試者分為實驗組 A、實驗組 B 與控制組，在教師教完畢氏定理單元後實施一節單元前測。實驗組 A 與實驗組 B 以「對話式智慧家教系統」在電腦教室進行二節教學，由資訊教師和導師協助解決電腦操作之問題；控制組由原班之數學教師以「團班教學」進行二節教學，採用講述式教學。接著，實驗組和控制組再進行一節單元後測。

實地實驗流程如圖 7 所示。在實驗第一週進行 50 分鐘畢氏定理學科試卷前測，實驗組的學生在前測做完後多做 7 題學習興趣問卷。第二週與第三週進行實驗組與控制組的二節教學活動，並皆於教學活動結束後兩天內進行畢氏定理學科試卷後測，實驗組的學生在前測做完後多做 7 題學習興趣問卷。本研究控制或測量的變項說明如下。

（一）自變項

本研究的自變項為實驗教學模式，實驗組實施對話式智慧家教系統之教學，控制組實施團班教學之教學，根據前測的結果，錯誤最多的題目優先教學。

（二）依變項

本研究的依變項為研究對象在八年級數學「畢氏定理」單元學科後測試卷之得分與學習興趣問卷之得分。

（三）共變項

本研究的共變項為研究對象在八年級數學「畢氏定理」單元學科試卷前測與學習興趣問卷之得分，前後測試卷的施測時間各為 50 分鐘。在排除共變項（前測分數）對依變項（後測分數）的影響力之後，不同組別的教學法對於學生後測成績之影響。

（四）控制變項

1. 學生背景：本研究的實施對象皆為國中八年級學生，採常態分班，學生的背景視為相等。

2. 教材內容：控制組的教材為研究者自編的對話式智慧家教系統之六個畢氏定理任務，將系統的內容轉為紙本的內容，作為教學教材，內容近似對話式智慧家教系統之教材。實驗組是使用對話式智慧家教系統之六個畢氏定理任務作為教材。

測驗學刊，第 68 輯第 2 期

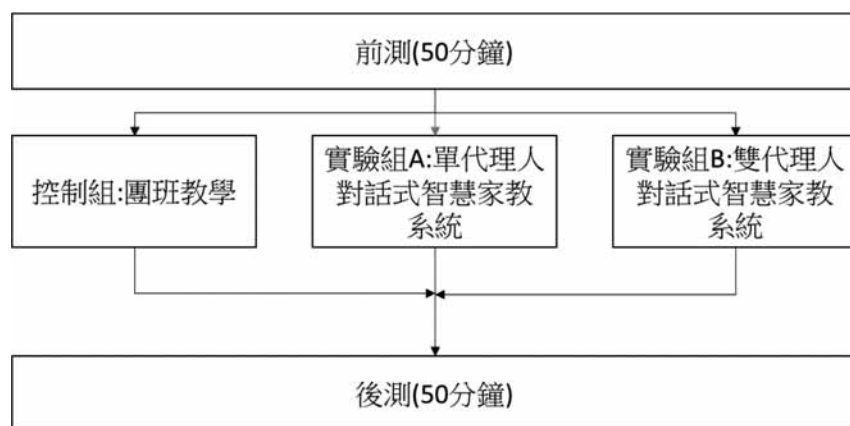


圖 7 本研究之實地實驗流程

四、對話式智慧家教系統

操作說明如下：

第一步：進入系統與熟悉操作介面

每一位學生都有專屬的帳號與密碼，登入對話式智慧家教系統後，教師代理人會先自我介紹，歡迎學生進入系統，並介紹系統的操作方式，了解此系統的操作方式（如圖 8 所示），教師代理人會請學生在操作區輸入一些文字或符號（如圖 9 所示），確認學生會操作對話式智慧家教系統後才進入六個任務的學習。



圖 8 對話式智慧家教系統的操作說明介面

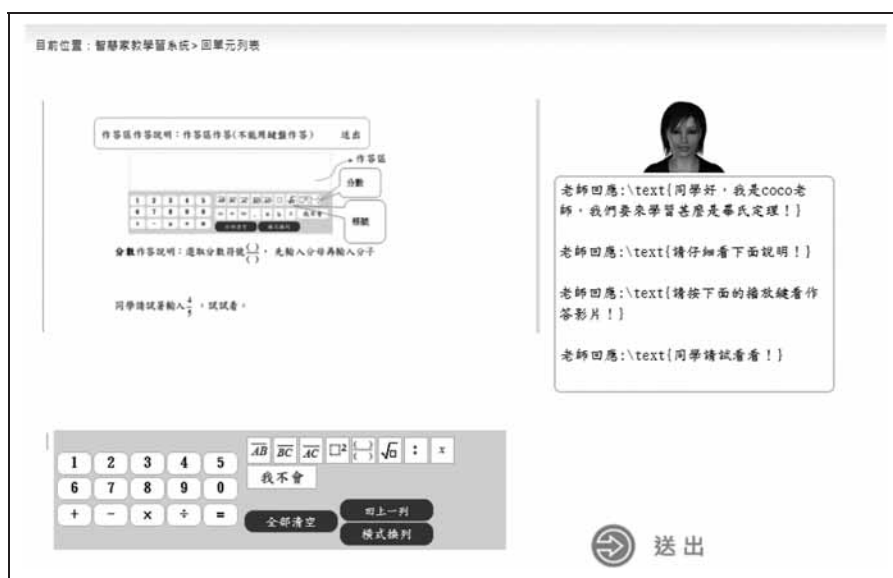


圖 9 對話式智慧家教系統的學生練習操作介面

第二步：教師代理人提出問題

教師代理人會依據六個任務的腳本設計向學生提出問題，此問題會顯示在主題區，同時在右側的對話紀錄呈現區會呈現對話內容。

第三步：學生與教師代理人／學生代理人進行互動對話

學生以鍵盤輸入答案或操作介面，系統會依據學習者輸入的內容，給予適當的回饋與學生進行對話交流，對話流程依循圖 3 和圖 4 之流程。

第四步：完成學習，結束本系統

當六個任務都完成後即結束，退出對話式智慧家教系統。

五、資料分析流程

本研究利用 SPSS 軟體進行資料相關的分析與檢定，以變異數分析了解實驗組 A、實驗組 B 與控制組學生在前測得分是否有差異；以共變數分析比較三組之間在排除前測的共變後，在後測表現的差異。在進行共變數分析時，本研究先進行迴歸係數同質性考驗，當迴歸係數不同質時，本研究以詹森—內曼法（Johnson-Neyman）進行分析，探討不同組別在受到前測影響下之後測差異。

伍、研究結果

本研究在探討國中八年級學生分別進行單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統與團班教學等三種不同的教學方法，對畢氏定理之數學學習成效。本節首先呈現三組之敘述統計結果，接著呈現單因子變異數結果，了解三組在教學介入前，畢氏定理的學習成效是否有差異？而後呈現三組之共變數分析結果，了解三組在教學介入後，畢氏定理的學習成效是否有差異？最後再針對學習興趣的部分，探討單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統是否有差異？以下說明研究結果。

一、實驗組 A、實驗組 B 與控制組在畢氏定理學科試卷前測與後測之敘述統計值

三組的前測與後測平均數之敘述統計值如表 9 所示。在前測平均數的部分是以團班教學的組別分數最低，單代理人對話式智慧家教系統（實驗組 A）的分數最高；而後測的平均數則是雙代理人對話式智慧家教系統（實驗組 B）的分數最高，團班教學的組別分數最低。

表 9 實驗組 A、實驗組 B 與控制組的學科試卷前後測平均數之敘述統計值

| 組別 | 前測平均 | 後測平均 |
|----------------------|-------|-------|
| 單代理人對話式智慧家教系統（實驗組 A） | 48.23 | 67.53 |
| 雙代理人對話式智慧家教系統（實驗組 B） | 44.47 | 70.28 |
| 團班教學（控制組） | 42.80 | 59.89 |

二、實驗組 A、實驗組 B 與控制組在教學介入前之學科試卷前測分數分析

本研究對前測的分數進行單因子變異數分析，以了解三組參與者在教學前，其畢氏定理學習成效是否已有差異？在進行單因子變異數分析之前，先進行變異數同質性假設檢定，結果顯示：Levene 統計量是 1.118，顯著性是 0.329，大於 0.05，表示資料符合變異數同質性之要求，可進行單因子變異數分析。表 10 的結果顯示： F 值 = 1.174，顯著性 p 值 = 0.331 > 0.05，表示單代理人對話式智慧家教系統（實驗組 A）、雙代理人對話式智慧家教系統

郭伯臣 吳慧珉 游欣容 雙代理人和單代理人之對話式智慧家教系統於數學學習成效與學習興趣之探究

（實驗組 B）與團班教學（控制組）這三個組別在教學前的畢氏定理學習成效並無顯著差異。

表 10 實驗組 A、實驗組 B 與控制組的單因子變異數分析摘要表

| 變異來源 | 平方和 | df | Mean Square | F | 顯著性 |
|------|-----------|-----|-------------|-------|------|
| 組間 | 991.885 | 2 | 495.942 | 1.174 | .311 |
| 組內 | 84032.551 | 199 | 422.274 | | |
| 總和 | 85024.436 | 201 | | | |

三、運用不同的教學方法（團班教學、單代理人對話式智慧家教系統、雙代理人對話式智慧家教系統）進行國中八年級畢氏定理之教學，其學習成效的顯著差異分析

本研究探討不同教學方法在排除前測差異後，後測之學習成效是否有顯著不同。本研究以前測成績為共變量，後測成績為依變項，組別為自變項，進行單因子共變數分析，以求得單代理人對話式智慧家教系統、雙代理人對話式智慧家教系統與團班教學等三種教學方法在排除共變數的影響後，其學習成效是否有顯著差異。在進行共變數分析之前，必須先進行組內迴歸係數同質性檢定，即在考驗自變項與共變項之間是否有顯著的交互作用。

組內迴歸係數同質性檢定結果顯示：組別與前測成績的交互作用 F 值 = 7.35，並達顯著性（ $p < 0.05$ ），顯示違反迴歸係數同質性的假設，表示不同組別與前測成績間有顯著交互作用，不宜直接進行共變數分析。為了釐清是否三組的迴歸係數皆不同質，接下來分別以兩組（單代理人對話式智慧家教系統與控制組、雙代理人對話式智慧家教系統與控制組、雙代理人對話式智慧家教系統與單代理人對話式智慧家教系統）進行不同教學方法對於後測成績影響的共變數分析，以回答研究問題。

（一）單代理人對話式智慧家教與控制組的實驗結果

首先進行組內迴歸係數同質性檢定，檢定結果顯示組別與前測成績的交互作用 F 值 = 2.567，並未達顯著性（ $p > 0.05$ ），未違反迴歸係數同質性的假設，表示不同組別與前測成績間無顯著交互作用，亦可進行不同教學方法

測驗學刊，第 68 輯第 2 期

對於後測成績影響的共變數分析。單因子共變數分析結果如表 11 所示，排除共變項（前測分數）對依變項（後測分數）的影響力，不同組別的教學方法對於學生後測成績的影響 F 值 = 40.95，達到顯著水準（ $p < .05$ ），組別淨相關 Eta 平方值 = 0.40，是非常大的效果量（葉晉嘉、鄭時宜、徐茂洲，2016），顯示單代理人對話式智慧家教系統與團班教學之學習成效有顯著差異。

表 11 單代理人對話式智慧家教系統與團班教學的共變數分析（ANCOVA）摘要表

| 變異來源 | 平方和 | df | 平均值平方 | F | 顯著性 |
|------|-----------|-----|-----------|---------|-----|
| 前測 | 522831.02 | 1 | 522831.02 | 2553.09 | .00 |
| 組別 | 16771.19 | 2 | 8385.60 | 40.95 | .00 |
| 誤差 | 24778.79 | 121 | 204.78 | | |
| 總數 | 564381.00 | 124 | | | |

表 12 為邊際平均摘要表。由表 12 可知，實驗組 A（單代理人對話式智慧家教系統）與控制組（團班教學）校正後的平均數相差 3.55，實驗組 A 校正後的平均分數高於控制組校正後的平均分數，表示使用單代理人對話式智慧家教系統進行「畢氏定理」的教學成效優於團班教學。此研究結果與 Graesser（2016）提及透過智慧家教系統可以有效改善學生的學習表現是一致的，也與吳慧珉等人（2019）的研究結果一致，但 Graesser 所研究的對話式智慧家教系統中並無針對數學領域的部分進行探討，而吳慧珉等人的對話式智慧家教系統同樣是學習畢氏定理，透過單代理人機制引導學生進行數學學習。本研究再次驗證了單代理人對話式智慧家教系統能促進學生的數學學習成效，學生的學習成效優於使用團班教學的學生。

表 12 單代理人對話式智慧家教系統與團班教學的後測校正平均

| 組別 | 後測校正平均 |
|---------------|--------|
| 單代理人對話式智慧家教系統 | 65.75 |
| 團班教學 | 62.20 |

註：模式估計的共變量 $PRE = 45.86$ 。

(二) 雙代理人對話式智慧家教與控制組的實驗結果

首先，進行組內迴歸係數同質性檢定，檢定結果顯示組別與前測成績的交互作用 F 值 = 4.094，並未達顯著性 ($p > 0.05$)，未違反迴歸係數同質性的假設，表示不同組別與前測成績間無顯著交互作用，亦可進行不同教學方法對於後測成績影響的共變數分析。單因子共變數分析結果如表 13 所示，排除共變項（前測分數）對依變項（後測分數）的影響力，不同組別的教學方法對於學生後測成績的影響 F 值 = 130.33，達到顯著水準 ($p < .05$)，組別淨相關 Eta 平方值 = 0.67，是非常大的效果量（葉晉嘉等人，2016），表示雙代理人對話式智慧家教系統與團班教學之學習成效有顯著差異。

表 13 雙代理人對話式智慧家教系統與團班教學的共變數分析（ANCOVA）摘要表

| 變異來源 | 平方和 | df | 平均值平方 | F | 顯著性 |
|------|-----------|-----|-----------|---------|-----|
| 前測 | 541260.09 | 1 | 541260.09 | 2730.88 | .00 |
| 組別 | 51662.14 | 2 | 25831.07 | 130.33 | .00 |
| 誤差 | 25567.77 | 129 | 198.20 | | |
| 總數 | 618490.00 | 132 | | | |

表 14 為邊際平均摘要表。由表 14 可知，雙代理人對話式智慧家教系統與團班教學校正後的平均數相差 9.58，雙代理人對話式智慧家教系統校正後的平均分數高於團班教學校正後的平均分數，表示使用雙代理人對話式智慧家教系統進行「畢氏定理」的教學顯著優於使用團班教學的學習成效。本研究結果與黃燕茹（2018）的雙代理人智慧家教系統學習成效探討數學學習成效之結果是一致的，使用雙代理人對話式智慧家教系統的學習成效顯著優於團班教學之學習成效。Graesser 等人（2017）指出，雙代理人對話式智慧家教系統的設計比較好，但並無相關實證資料驗證雙代理人對話教學的學生學習成效，本研究則提供實證資料說明雙代理人對話式智慧家教系統對於學生的學習成效確實優於團班教學。Millis 等人（2017）則指出，雙代理人對話式智慧家教系統可以有效提升學生的學習成效，本研究亦顯示學生在雙代理人對話式智慧家教系統之引導下，成效優於傳統的團班教學。

測驗學刊，第 68 輯第 2 期

表 14 雙代理人對話式智慧家教系統與團班教學的後測校正平均

| 組別 | 後測校正平均 |
|---------------|--------|
| 雙代理人對話式智慧家教系統 | 69.95 |
| 團班教學 | 60.37 |

註：模式估計的共變量 $PRE = 43.79$ 。

(三) 單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統在學習成效的實驗結果

由組內迴歸係數同質性考驗結果顯示，組別和前測分數有交互作用， F 值 = 12.98， $p = 0.00$ ，小於顯著水準 0.05，故拒絕虛無假設，表示二組迴歸線不同質，即斜率不相同。單代理人對話式智慧家教系統組與雙代理人對話式智慧家教系統組在後測的差異結果，會因為前測分數的不同而不同。

針對單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統的學生在「畢氏定理」學習成效進一步採用「詹森—內曼法」加以統計分析，依據下面二條組內迴歸線的斜率與截距，可以將二條組內迴歸線繪製如圖 9 所示。

單代理人對話式智慧家教系統：後測分數 = $0.84940 \times \text{前測} + 26.56323$

雙代理人對話式智慧家教系統：後測分數 = $0.39847 \times \text{前測} + 52.56019$

兩條組內迴歸線之交點可以透過組內迴歸線的斜率與截距求得， $(26.56323 - 52.56019) / (0.39847 - 0.84940) = 57.65$ ；「詹森—內曼法」主要是找到兩組後測差異剛好達顯著水準 0.05 的前測臨界點，也就是上界和下界。由於計算方式較複雜，本研究直接呈現 SPSS 的計算結果，單代理人對話式智慧家教系統組與雙代理人對話式智慧家教系統組的顯著差異點：上界是 78.21、下界是 46.53。

圖 10 為組內迴歸線相交點及差異顯著點，其中二條組內迴歸線之交點是 57.65，表示前測成績為 57.65 時，雙代理人對話式智慧家教系統與單代理人對話式智慧家教系統之二種教學方式的學習效果差異值為 0，也就是沒有顯著差異存在。前測分數在 78.21 以上者，二種對話式智慧家教系統教學的實驗效果差異達到顯著；前測成績在 46.53 以下者，二種對話式智慧家教系統教學的實驗效果差異達到顯著；前測成績介於[46.53, 78.21]中間區段者，二種對話式智慧家教系統的學習效果並沒有顯著差異。也就是說，前測成績

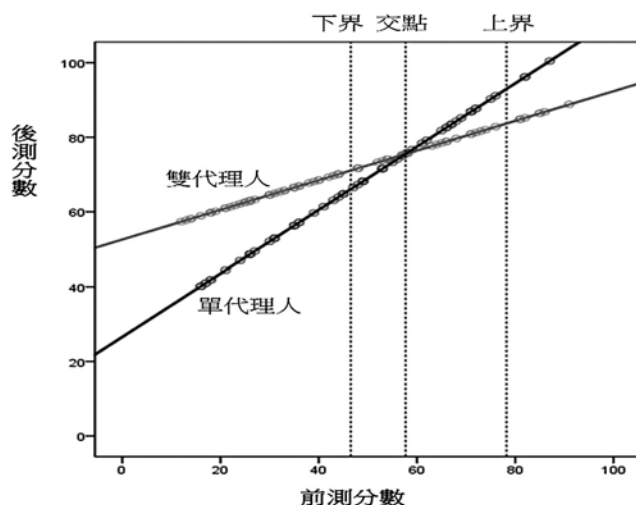


圖 10 單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統的詹森—內曼法分析圖

在 46.53 分以下者，雙代理人對話式智慧家教系統對於提升學生學習畢氏定理的學習成效顯著優於單代理人對話式智慧家教系統。而前測成績在 78.21 分以上者，單代理人對話式智慧家教系統對於提升學生學習畢氏定理的學習成效顯著優於雙代理人對話式智慧家教系統。

根據上界與下界的前測分數，本研究將學生分成三個組別：前測分數在 47 分以下、48~77 分之間與 78 分以上，各組別人數如表 15 所示。本研究 78 分以上學生人數較少，推測原因可能是本研究在老師教完畢氏定理單元後立即進行前測，學生可能還沒有足夠的時間精熟此單元內容，故多數學生的前測成績是在 78 分以下。前測分數在 47 分以下的學生人數最多，是屬於能力較低之學生，此群學生中使用雙代理人對話式智慧家教系統的學習成效優於單代理人對話式智慧家教系統，雙代理人 and 單代理人對話式智慧家教系統均透過對話一步一步引導學習，雙代理人多了一個學生代理人代為承受負面評價，這樣的設計對於能力較低的學生能促進其學習成效。前測分數在 48~77 之間的人數為第二多，是屬於中等能力的學生，對於此群學生而言，使用雙代理人對話式智慧家教系統的學習成效和使用單代理人對話式智慧家教系統的學習成效並無差別，但根據前面的分析結果（表 11 和表 13），使用對話式智慧家教系統的學習成效優於團班教學。考量 78 分以上的人數較少，本研

測驗學刊，第 68 輯第 2 期

究將之併入中能力組（48～77 分）進行分析，結果顯示中、高能力的學生在單代理人和雙代理人對話式智慧家教系統之學習成效沒有差異， F 值 = 0.994， p 值 = 0.322，並未達顯著性（ $p > 0.05$ ），針對高能力組的部分，未來需蒐集更多的資料，以作更有效的推論。

表 15 實驗組 A 與實驗組 B 在前測不同分數區間的學生人數分配表

| 組別 | 單代理人對話式 智慧家教系統 | 雙代理人對話式 智慧家教系統 | 人數（比例） |
|----------|-------------------|-------------------|-----------|
| 78 分以上 | 3 | 8 | 11（7%） |
| 48～77 之間 | 35 | 25 | 60（41%） |
| 47 分以下 | 32 | 45 | 77（52%） |
| 小計 | 70 | 78 | 148（100%） |

四、單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統的學生學習興趣差異情形分析

單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統的學生學習興趣問卷之前測與後測敘述統計值如表 16 所示，單代理人對話式智慧家教系統的學生在前測與後測之學習興趣分數高於雙代理人對話式智慧家教系統的學生。

表 16 實驗組 A 與實驗組 B 在學習興趣問卷的平均敘述統計

| 組別 | 人數 | 前測平均 | 後測平均 |
|---------------|----|-------|-------|
| 單代理人對話式智慧家教系統 | 70 | 2.500 | 2.616 |
| 雙代理人對話式智慧家教系統 | 78 | 2.458 | 2.590 |

首先，進行單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統的學習興趣問卷組內迴歸係數同質性檢定，檢定結果顯示組別與學習興趣前測的交互作用 F 值 = 1.528，並未達顯著性（ $p > 0.05$ ），未違反迴歸係數同質性的假設，表示不同組別與學習興趣問卷間無顯著交互作用，可進行單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統的學習興趣問卷後測影響的共變數分析。

單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統在學習興趣問卷後測的獨立樣本單因子共變數分析，分析比較結果如表 17 所示。排除共變項（學習興趣問卷前測分數）對依變項（學習興趣問卷後測分數）的影響力，不同組別的教學方法對於學生學習興趣問卷後測的影響 F 值 = 30.715，達到顯著水準（ $p < .005$ ），表示單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統對於數學學習興趣有顯著差異。

表 18 為邊際平均摘要表。由表 18 可知，雙代理人對話式智慧家教系統校正後的平均分數高於單代理人對話式智慧家教系統校正後的平均分數，表示使用雙代理人對話式智慧家教系統比單代理人對話式智慧家教系統的教學具有較佳之學習興趣成效。本研究對於單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統的主要差異在於單代理人對話式智慧家教系統直接給予學生負面評價，例如：「你錯了。」雙代理人對話式智慧家教系統則是給予學生中性評價，所有的負面評價皆由學生代理人承受，接著教師代理人給予重要問題，再由學生修正自己的答案，運用這樣的對話模式可以讓學生有較高的學習興趣。

表 17 單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統的學習興趣問卷共變數分析（ANCOVA）摘要表

| 變異來源 | 型 I 平方和 | df | 平均值平方 | F | 顯著性 |
|------|----------|-----|----------|----------|-----|
| 前測 | 1027.866 | 1 | 1027.866 | 8221.890 | .00 |
| 組別 | 7.680 | 2 | 3.840 | 30.715 | .00 |
| 誤差 | 18.127 | 145 | .125 | | |
| 總數 | 1053.673 | 148 | | | |

表 18 單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統的學習興趣問卷後測校正平均

| 組別 | 後測校正平均 |
|---------------|--------|
| 單代理人對話式智慧家教系統 | 2.601 |
| 雙代理人對話式智慧家教系統 | 2.604 |

註：模式的共變量 PRE = 2.425。

陸、結論與建議

一、結論

（一）對話式智慧家教系統在畢氏定理的學習成效優於團班教學

單代理人對話式智慧家教系統、雙代理人對話式智慧家教系統與團班教學的學生在排除共變數影響後，以調整後的平均數比較兩者的差異，不管是使用單代理人對話式智慧家教系統或是雙代理人對話式智慧家教系統的學生，其後測成績均高於團班教學的學生成績，且其差異達顯著性，顯示本研究開發的對話式智慧家教系統，透過對話的引導與不同層級的回饋，能促進學生的數學學習成效。

（二）不同的教學介入法對於不同能力區間之學生會有不同的學習成效

本研究的實驗組學生分別使用單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統，對於低能力的學生而言，雙代理人對話式智慧家教系統對於提升學生學習畢氏定理的成效顯著優於單代理人對話式智慧家教系統。而對於中等能力的學生，單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統對於提升學生學習畢氏定理的成效並沒有差別。對於高能力的學生，由於本研究的樣本數太少，仍待進一步探究。

（三）雙代理人對話式智慧家教系統的畢氏定理學習興趣高於單代理人對話式智慧家教系統

本研究對於單代理人對話式智慧家教系統與雙代理人對話式智慧家教系統的對話流程之差異在於代理人的人數與負面評價的部分，而雙代理人對話式智慧家教系統多了一個學生代理人且不給予學生負面評價，這一種對話設計有助於提升學生的學習興趣。

郭伯臣 吳慧琨 游欣容 雙代理人 and 單代理人之對話式智慧家教系統於數學學習成效與學習興趣之探究

二、建議

根據上述研究結果及研究過程的發現與限制，提出實務與未來研究之建議，提供日後研究者的參考，分別說明如下。

（一）雙代理人對話式智慧家教系統可以促進低成就學生的學習成效與學習興趣

本研究結論指出，雙代理人對話式智慧家教系統對於能力較低的學生能有效促進學習成效，且對於提升學生的學習興趣方面優於單代理人對話式智慧家教系統，故對學習低成就或補救教學對象可以實施雙代理人對話式智慧家教系統，經探討可能是因為它的回饋系統是正向偏中性，有助於低成就的學生，可見在一般教學現場中，給予低成就學生正向回饋的重要性。

（二）教學過程中給予學生適性回饋可促進學生的學習成效及情意面

本研究設計的對話式智慧家教系統之最大特色是給予學生適性回饋，能針對學生的作答反應給予回饋意見，學生在對話式智慧家教系統的學習成效均比傳統的團班教學好。老師在教學過程中如能針對學生的反應給予不同的回饋建議，將能促進其學習成效與學習興趣。

（三）未來研究建議可設計不同的對話模式

本研究參考 Graesser（2017）針對 AutoTutor 對話設計模式中的模式三，在對話的過程中將負面評價減至最低，此對話模式特別適合低能力的學生，對於中、高能力學生則影響較少。在 Graesser 的對話模式中，有特別適合高能力學生的對話模式，如設計學生教導學生代理人的對話模式，建議可以針對高能力的學生，設計適合之對話模式，探討教導學生代理人的模式對於促進學生深層思考與學習興趣之成效。

測驗學刊，第 68 輯第 2 期

謝誌

本研究感謝科技部計畫（MOST 108-2511-H-019-004-MY3）之部分經費支持與東海大學白鎧誌助理教授對於本研究系統建置之協助。

參考文獻

中文部分

- 吳慧琨、楊小億、施淑娟、許天維（2019）。一對一畢氏定理對話式智慧家教系統之建置與成效評估。《數位學習科技期刊》，11（3），1-28。doi:10.3966/2071260X2019071103001
- 黃燕茹（2018）。雙代理人智慧家教系統教學成效探討以畢氏定理教學為例（未出版之碩士論文）。國立臺中教育大學，臺中市。
- 葉晉嘉、鄭時宜、徐茂洲（2016）。效果量的重要性與及其在學術論文中的應用。《高應科大人文社會科學學報》，11（1），93-109。doi:10.29888/KUASJHSS
- 賈志琳、李政軒（2020）。人工智慧的實踐：對話式日語學習智慧家教系統進行日語補救教學之研究。《教育實踐與研究》，33（2），1-42。doi:10.6776/JEPR

英文部分

- Anderson, J. R., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., & Pelletier, R. (1995). Cognitive tutor: Lesson learned. *The Journal of the Learning Sciences*, 4(2), 167-207.
- Freedman, R. (2000). What is an intelligent tutoring system? *Intelligence*, 11(3), 15-16.
- Graesser, A. C. (2016). Conversations with AutoTutor help students learn. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(1), 124-132. doi:10.1007/s40593-015-0086-4
- Graesser, A. C., Chipman, P., Haynes, B., & Olney, A. M. (2005). AutoTutor: An intelligent tutoring system with mixed-initiative dialogue. *IEEE Transactions on Education*, 48(4), 612-618.
- Graesser, A. C., D'Mello, S. K., Hu, X., Cai, Z., Olney, A., & Morgan, B. (2012). AutoTutor. In P. McCarthy & C. Boonthum-Denecke (Eds.), *Applied natural language processing: Identification, investigation, and resolution* (pp. 169-187). Hershey, PA: IGI Global.
- Graesser, A. C., Forsyth, C. M., & Lehman, B. A. (2017). Two heads may be better than one: Learning from computer agents in conversational dialogues. *Grantee Sub-*

- mission*, 119, 1-20.
- Graesser, A. C., Lu, S., Jackson, G. T., Mitchell, H., Ventura, M., Olney, A., & Louwerse, M. M. (2004). AutoTutor: A tutor with dialogue in natural language. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36, 180-193.
- Graesser, A. C., Person, N., Harter, D., & The Tutoring Research Group (2001). Teaching tactics and dialogue in AutoTutor. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12, 257-279.
- Graesser, A. C., VanLehn, K., Rosé, C. P., Jordan, P. W., & Harter, D. (2001). Intelligent tutoring systems with conversational dialogue. *AI Magazine*, 22(4), 39-52.
- Hu, X., & Cai, Z. (2015). *AutoTutor: Theory and Implementation*. Paper presented in 2015 Global Chinese Conference on Educational Information and Assessment Chinese Association Psychological Testing 2015 Annual Conference, Taichung, Taiwan.
- Joseph, P., & Sharon, A. M. (1988). *Intelligent Tutoring Systems: Lessons learned*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Karaci, A., Akyüz, H. I., Bilgici, G., & Arici, N. (2018). Effects of Web-Based Intelligent Tutoring Systems on academic achievement and retention. *International Journal of Computer Applications*, 181(16), 35-41. doi:10.5120/ijca2018917806
- Kelly, K., Heffernan, N., Heffernan, C., Goldman, S., Pellegrino, J., & Goldstein, D. S. (2013, July). Estimating the effect of web-based homework. In *International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 824-827). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Koedinger, K. R., Brunskill, E., Baker, R. S., McLaughlin, E. A., & Stamper, J. (2013). New potentials for data-driven intelligent tutoring system development and optimization. *AI Magazine*, 34(3), 27-41.
- Ma, W., Adesope, O. O., Nesbit, J. C., & Liu, Q. (2014). Intelligent tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 106(4), 901-918. doi:10.1037/a0037123
- Mendicino, M., Razzaq, L., & Heffernan, N. T. (2009) Comparison of traditional homework with computer supported homework. *Journal of Research on Technology in Education*, 41(3), 331-359.
- Millis, K., Forsyth, C., Butler, H., Wallace, P., Graesser, A., & Halpern, D. (2011). Operation ARIES!: A serious game for teaching scientific inquiry. In *Serious games and edutainment applications* (pp. 169-195). London, UK: Springer.
- Millis, K., Forsyth, C., Wallace, P., Graesser, A. C., & Timmins, G. (2017). The impact of game-like features on learning from an intelligent tutoring system. *Technology*,

- Knowledge and Learning*, 22(1), 1-22. doi:10.1007/s10758-016-9289-5
- Nkambou, R., Mizoguchi, R., & Bourdeau, J. (2010). *Advances in intelligent tutoring systems*. Heidelberg, Germany: Springer.
- Nwana, H. S. (1990). Intelligent tutoring systems: An overview. *Artificial Intelligence Review*, 4, 251-277.
- Nye, B. D., Graesser, A. C., & Hu, X. (2014). AutoTutor and family: A review of 17 years of natural language tutoring. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 24, 427-469.
- Nye, B. D., Rahman, M. F., Yang, M., Hays, P., Cai, Z., Graesser, A., & Hu, X. (2014). *A tutoring page markup suite for integrating shareable knowledge objects (SKO) with HTML*. In Intelligent Tutoring Systems (ITS) 2014 Workshop on Authoring Tools, held in Honolulu, HI, USA.
- Siler, S. A., & VanLehn, K. (2015). Investigating microadaptation in one-to-one human tutoring. *The Journal of Experimental Education*, 83(3), 344-367.
- Singh, R., Saleem, M., Pradhan, P., Heffernan, C., Heffernan, N., Razzaq, L., & Dailey, M. (2011). *Improving K-12 homework with computers*. Proceedings of the Artificial Intelligence in Education Conference, held in Auckland, New Zealand.
- Sleeman, D., & Brown, J. S. (1982). Introduction: Intelligent tutoring systems. In *Intelligent tutoring systems* (pp. 1-11). Orlando, FL: Academic Press.
- Urban-Lurain, M. (1996). *Intelligent tutoring systems: An historic review in the context of the development of artificial intelligence and educational psychology*. Retrieved Aug 12, 2020.
- VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, 46(4), 197-221. doi:10.1080/00461520.2011.611369
- VanLehn, K., Graesser, A. C., Jackson, G. T., Jordan, P., Olney, A., & Rose, C. P. (2007). When are tutorial dialogues more effective than reading? *Cognitive Science*, 31, 3-62.
- Xu, Z., Wijekumar, K. (K.), Ramirez, G., Hu, X., & Irey, R. (2019). The effectiveness of intelligent tutoring systems on K-12 students' reading comprehension: A meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*, 50(6), 3119-3137. doi:10.1111/bjet.12758

測驗學刊，第 68 輯第 2 期