

# 數位電路虛擬實驗室之評量模式

## An Assessment Model of Virtual Laboratory for

### Digital Circuit Experiments

竇其仁

逢甲大學資訊工程研究所

台中市文華路 100 號

crdow@fcu.edu.tw

謝銘勳

逢甲大學資訊工程研究所

台中市文華路 100 號

sms@ctsh.mlc.edu.tw

#### 摘要

所有的教學模式，都需要評量的機制，以利學生與教師進行教學活動。而資訊科技的進步，使得真實的實驗環境，可以使用軟體技術來模擬。本文利用實作評量的概念，在逢甲大學所開發的虛擬數位系統實驗室電腦輔助教學軟體中，提出其評量模式，以加速學習者學習數位電路的成效。

關鍵字：電腦輔助教學，實作評量，數位電路，虛擬實驗室，評量模式

#### 一、緒論

教學活動之三大主體為教師、學習者與課程，它們之間的互動產生了形形色色的教學方式，如演講法、討論法、示範法、問答法等等。而這些教學方式的目的皆希望學生對所授課程的知識、技能和態度有所啟發。電腦與網路科技的進步，使得電腦輔助教學(CAI)、電腦輔助學習(CAL)與遠距教學(Distance Learning)逐漸盛行。

‘因材施教’是教學的最高原則，所以不管是傳統式的教學，或是電腦輔助教學，都希望能夠針對學習者的能力，加以協助其有效學習。但是如何來評定學習者的能力呢？因此評量就顯得非常的重要。評量可以反映出學習者的學習成效，提供學習者改善其學習方法，亦能讓教師調整其教法與教材內容。

傳統式的紙筆測驗是最常使用的評量工具，能讓教師在教學後以最快、最簡單且最客觀的方式了解學習者的學習結果、評定學習者的學習等第[5]。然而，是否皆能以紙筆測驗評量出學習者所有課程的能力呢？其實不然，例如物理實驗、生物實驗，電子電路實習，數位電路實習等等。因此這些以技能為導向的課程，必須有另類的評量方式來彌補紙筆測驗的不

足。

以技能為導向的課程，在學習者學習過程中需面對設備、器材的成本反映，學習過程中的危險性。如飛行員學習飛機飛行，飛行員的安全性，另外，飛機的成本昂貴，不容學習者在練習時有任何的錯誤，造成飛機的損毀。又如供給學習者電路實習的電子零件，因使用率高，常造成元件損壞，造成耗材成本的浪費；學習危險性高的化學實驗，不小心會造成終身遺憾。電腦科技的進步，能將部份以技能為導向的課程，使用電腦模擬的方式呈現，我們可以讓學習者先接受電腦模擬軟體的訓練，最後再實際操作，如此可以節省訓練時間，降低設備、耗材的成本，以及降低操作時的危險性。

技能教學的目標乃在訓練學習者學會某種技術，使其能應用在工作世界中。因此，學習者不只是知道要怎麼做，更是能做到那一件事。而在技術教育的評量中，根據各種技術的特質會有不同程度的要求，但仍可歸納如下各點[2]：

- (1) 準確度(accuracy)：表示在進行某種操作時，學生能很準確的操作正確的器具，取用正確的材料，並放置正確的位置。例如：中文輸入以及英文輸入。
- (2) 速度(speed)：在技術教學中學習者進行某項動作的反應速度被列為技能熟練度的主要評量依據。例如：打字。
- (3) 複雜度(complexity)：評量某種整合性技能的複雜程度，也就是組織能力。例如：能將電腦各部分拆卸後再組裝起來。會使用各種儀器完成電路的檢修。
- (4) 創造度(originality)：鼓勵新產品的產生。

在真實的實習環境中，教師必須面對多個學習者，因此，教師對於上述要求的評量會碰到一些困境：

- (1) 紀錄與觀察的困難：教師需花許多的時間對一個學習者做觀察與紀錄，才可得知此學習

者對此課程的學習能力，然而，對於所有學習者所做的評量就很難達到公平與公正。

- (2) 製作故障點評量試題的困難：在電路的實習課程中，學習者常因使用到損壞的元件或接錯電路而不自知，待電路完成後，發現電路無法正常動作，浪費了許多時間，因此對學習者實施故障點的訓練是必要的。然而，多個學習者的環境中，在電路中佈置故障點是一件耗時且枯燥的工作。
- (3) 無法跳躍式學習：一個單元電路的完成，是經過許多步驟的，且其中的部分電路是學習者之前便已經學過的。在真實的學習環境中，學習者無法跳過所學過的部分電路而完成此單元的實習。
- (4) 製作可調整性評量試題的困難：一個電路的完成，是循序漸進的，對於不同程度的學習者，很難有彈性的佈置各樣式的電路來評量學習者。如教師對程度較好的學習者佈置電路的 10%，這些程度好的學習者完成剩下的 90%；對程度較低者，教師可先佈置 50%，其餘的 50%再由這些程度較低學習者完成。

上述在真實環境中所碰到的問題，所幸在模擬軟體中都可以克服。但目前的電路模擬軟體，如 Orcad[14]、Tina、Edison [17]、Protel[15]、CircuitMaker [16]以及 VDSL[8]等，僅提供學習者操作，缺乏對學習者做出上述多樣式(Multi-paradigm)的評量方式，例如，故障點檢測(Trouble-shooting)的訓練以及漸進式(Incremental)評量。本文以逢甲大學所開發的虛擬數位系統實驗(Virtual Digital System Laboratory；VDSL)軟體為範例，探討其評量模式，希望對高職學生、大專院校的學生以及有興趣學習數位電路的學習者，能提供有效的學習，另外亦可提供作為全國數位電子技能檢定之參考。

## 二、相關研究

在一個真實的實習(實驗)教學活動，對學習者的評量，紙筆的測驗是無法滿足的，而且要評量出一個學習者的能力是非常耗時的，何況是針對多個學習者。而網路科技的快速發展，對傳統教室的教學與學習產生重大影響。因此本段對於評量的方式以及虛擬實驗教室提出探討。

### (一) 評量

教學是教導者與學習者共同參與而產生交互影響的動態過程；而評量則是運用科學方法和技術，蒐集有關學習者學習行為及其成就的正確資料。教育部於民國八十七年八月二十六日修正公佈的「國民中學學生成績考察辦法」規定：學校對國中成績之考察，應視學生身

心發展與個別差異，以獎勵與輔導為原則，並依各學科及活動性質，得就紙筆測驗、口試、表演、實作、作業、設計製作、報告、資料蒐集整理、鑑賞、晤談、自我評量、同儕互評、校外學習、實踐、以及其他等十五種評量方式選擇辦理。

由上可知，評量的方式有許多種。一般人認為目前傳統式測驗方式(紙筆式測驗)，如是非題及選擇題，偏重在一些片斷，不連接的知識與技能的認知與了解，缺乏對整體知識的組合與應用，以及實際應用的考量。現今教學評量的研究發展趨勢更注重彈性的、變通的、多元化的評量，並且強調動態的過程，乃出現許多評量的新名詞，如“Alternative Assessment”(另類評量)、“Dynamic Assessment”(動態評量)和“Performance Assessment”(技能評量)等[6]。

何謂實作評量？著重於將所學所知表現在具體的成果以及應用過程上。也著重於高層次能力例如思考、分析、組合、判斷、表達能力的啟發、以及思考過程和邏輯推算的程序的考量[3]。實作評量具有下列幾點特徵[4]：

- (1) 要求學習者執行或製作一些需要高層思考或問題解決技能的事或物。
- (2) 評量的作業是具有意義性、挑戰性且與教學活動相結合。
- (3) 歷程和作品通常式評量的重點。
- (4) 表現的規準(criteria)和標準(standard)要事先確定。

而實作評量的類型包括[18]：

- (1) 紙筆表現—強調在模擬情境中應用知識技能的評量方式。
- (2) 辨認測驗—由各種不同真實程度測驗情境組合而成的評量方式。
- (3) 結構化表現測驗—在標準且有控制的情境下進行，且測量表現的情境則是具有結構性的。
- (4) 模擬表現—為配合或替代真實情境中的表現，以全部或局部模擬真實情境的評量方式。
- (5) 工作樣本—學習者在控制良好的情境下，表現出所要測量的真實技能。

目前國內實施實作評量的經驗[1]皆提及，實作評量可以彌補紙筆測驗的不足，但實施起來也有一些困難：如時間上的難題、成本和設備上的難題、評分上的難題、以及信度上的難題都有待克服。

由於電腦計算能力加快、記憶容量的加大，可以將部分實際的工作環境，利用電腦來模擬，以降低訓練成本及克服設備上的難題；在模擬軟體中，可以撰寫程式來輔助觀察與紀錄，解決教師評量學習者在時間上的難題。

## (二) 虛擬實驗教室

網際網路的快速成長，對傳統教室的教學與學習產生重大影響，並且產生許多技術與應用：如遠距學習(Distance Learning)、虛擬教室(Virtual Classroom)、虛擬實驗室(Virtual Laboratory；vLab)等。這些新的應用，可以解決傳統學習上的難題：如時間、距離、位置以及儀器或設備的成本等。

在[11]，設計程式來輔助教與學的活動，並將此活動透過網路來進行，即是所謂的虛擬教室。在[9]將遠距學習重新定義為「互動式」遠距學習，使用了互動的技術如：網頁、網際網路、以及多媒體等，這些技術就構建成虛擬教室了。[10]認為各種形形色色的CAI軟體，可以看成虛擬教室。因此，在虛擬教室中可以進行某些課程的教學，但是在虛擬教室中，教導者對於需要手動的實驗課程，需要使用模擬軟體來完成教學活動。

雖然電腦的技術進步神速，可以模擬許多的實驗元件與器材，然而目前一些特製的精密儀器或設備，並不容易使用一般電腦去模擬其功能，但卻可以透過電腦控制此儀器或設備，若再加上網路技術的應用，更可以在遠端控制此電腦操作這些儀器或設備，此為虛擬實驗室。這些虛擬實驗室也非常適合遠距學習的課程。如[7][12]，實驗參數可以透過web來設定，而軟體介面可以將這些參數轉換成執行此實驗的電腦所接受的格式。任何人，可以在任何時間，任何地點使用虛擬實驗室，很方便的來使用虛擬實驗室中的昂貴儀器或設備，如此可以節省購買儀器或設備的費用了。在[13]，此vLab為互動式訓練系統，使用了Cisco真實的硬體與軟體。學生可以透過此vLab來學習架構與控制真實的網路。

## 三、虛擬數位系統實驗室

虛擬數位系統實驗室(VDSL)，強調以近似真實地模擬出麵包板實驗的過程，讓學生使用本系統有如和使用麵包板做實驗的親身感受，依照上數位電路實習課所需要要用的基本元件，諸如麵包板、電線、IC、開關、LED等，以物件導向的技術融入本系統中[8]。VDSL系統包含四類物件，分別是輸出入元件、電線群組、麵包板物件、IC群組等。

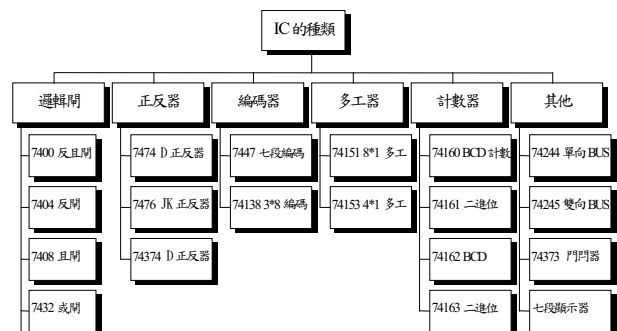
其中輸出入元件包含了電源的正負極、電源總開關、脈波產生器(Clock)、輸入用的開關、輸出用的LED等。電源正負極主要是用來提供IC的工作電源，電源正負極的電源輸出是由電源總開關所控制，因此電源總開關在實際上是用來提供電路的總電源，而在邏輯上則是用來切換「電路編輯模式」或是「電路運作模式」，脈波產生器可輸出序向邏輯元件所需要的時脈訊號，開關和LED元件則提供數位電路

的外界輸入和輸出訊號，除了LED可做為輸出入元件外，另外還有七段顯示器。

電線群組是由一堆電線所組成，可以使用不同的顏色來區分不同用途的配線，以方便區分控制線和電源線，它和麵包板物件作用一樣主要是用來連接輸出入元件和IC群組，而在電路運作模式下，可傳遞控制訊號給IC元件或是輸出入元件(開關或LED)。

麵包板是由很多的插孔所組成，而每五孔為一個最基本的單位，彼此連接在一起，可視為一個單一物件，而麵包板可視為許多以五個為一組的插孔所組成的集合體，每一個插孔僅允許插入單一物件，如IC元件的接腳或電線等。

IC群組是由許多不同IC元件所組成，它是VDSL最為重要的模擬元件，因每一種IC的作用不同，使用OO技術，將不同元件中的同性質集中起來製成基礎類別，而使用繼承的技術來發展子類別，以方便各別實作模擬IC元件的物件。目前的VDSL僅提供74系列TTL IC，包括了基本邏輯閘、正反器、編碼器、多工器、計數器、和其他等六類的IC，如圖一所示，約20種不同的IC元件，可供一般基本的數位電路實習使用。



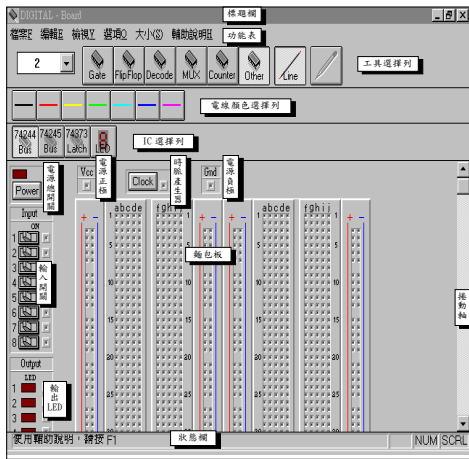
圖一 VDSL 目前所支援的 IC 的種類

圖二為VDSL的概觀圖，此VDSL除了具備基本的電路模擬能力外，另提供下列功能：

- (1)具備電腦輔助合作式學習系統的基本功能，可以使用電子文件做為交換知識的媒介。
- (2)操控自如的電路編輯能力，輕輕鬆鬆完成放置IC和配線工作。
- (3)集編輯、模擬於一身的整合環境。
- (4)利用IC內部電路輔助配線，可減少使用者必需經常翻閱IC手冊困擾。
- (5)具備插線錯誤的檢知能力，縮短使用者電路偵錯的時間。
- (6)適時地提醒做完實驗必需關閉總電源開關。

VDSL系統是一套不錯的電腦輔助教學與學習之訓練工具。因此選擇此軟體作為本研究的主體，增加評量機制，以利學習者縮短其學習數位電子電路的時間，增進學習者的邏輯推演能力。





圖二 VDSL 概觀圖

#### 四、數位電路實驗教學評量模式

評量方式依各學科及活動性質，得就紙筆測驗、口試、表演、實作、作業、設計製作、報告、資料蒐集整理、鑑賞、晤談、自我評量、同儕互評、校外學習、實踐、以及其他等十五種。本研究係透過 VDSL 此模擬軟體，設計評量模式，並以實作、作業、設計製作、自我評量、以及同儕互評等方式來設計數位電路實驗教學評量模式。

- (1)實作：就學習者之實際操作及解決問題等行為表現考察之。
- (2)作業：就學習者各種習作考察之。
- (3)設計製作：就學習者創造過程及實際表現考察之。
- (4)自我評量：學習者就自己學習情形、成果級行為表現、做自我評量與比較。
- (5)同儕互評：學習者之間就行為或作品相互評量之。

而在技術教育的評量中，根據各種技術的特質會有不同程度的要求，可分為：準確度、速度、複雜度、以及創造度。技術教育的教學，必須先由知識學理奠定基礎，由學習者對理論的了解引導學習者操作，而這些操作的行為與結果必須具有可觀察性、可測量性與具體的成果，以做為回饋而校正學習者學習或教師的教導。

每一種技能學習皆有其一定的目標與目的、操作環境、操作原理、與其操作之步驟。實驗目的與實驗原理是屬於知識學理，可利用傳統式的紙筆測驗來評量。而實驗的環境包括實驗的操作元件；實驗的步驟是指要完成成品所需的操作行為的組合，其評量方式則需要另類的評量。

在數位電路的實習中，希望學習者首先能夠認識電子元件或 IC，再來能夠組合電路，其次對於電路的除錯亦能夠熟悉。因此，本研

究針對此三個目標，將評量模式分類，以利學習者學習，並利於教導者紀錄學習者學習情況。

評量模式分為：

- (1)指定式評量(Appointed Assessment)：適合形成性評量。每一實驗單元，有所需要的實驗元件。評量時，教師提供有限種類的元件，但指定那些元件可供學習者佈置電路。如此學習者必須由所提供的元件中，辨識並挑出指定的元件來組合電路。此種評量模式，可以加強學習者辨識 IC 的能力。例如，教師提供 NAND、NOR、以及 AND 這些種類的邏輯閘，但是指定 NAND 邏輯閘完成半加器的和。
- (2)自選式的評量(Optional Assessment)：適合總結性評量。經由指定式評量的結果，學習者已經可以辨認出實驗元件或 IC，亦了解各元件或 IC 的用途與功能。因此，此評量並不限制利用何種元件來組合電路，只要其結果正確即可。此評量可以訓練學習對 IC 功能的認識及其應用能力。例如上述半加器之和，學習者可以用 NOR 閘完成，亦可利用 AND、OR、以及 NOT 三種邏輯閘同時組合完成。
- (3)故障點評量(Trouble-Shooting Assessment)：可由教師設計實驗電路的故障點，讓學習者練習除錯。而故障點設計包含有：使用錯誤的 IC、使用毀損的 IC、接線錯誤、以及上述之合成。但在真實的環境中，教師若為多個學習者實施此評量，則評量試題是需要花很長的時間為多個學習者佈置。而在模擬軟體中，教師則容易達成製作故障點評量的試題來訓練學生。
- (4)漸進式評量(Incremental Assessment)：一個完整的電路是由許多步驟來完成，其中有部分的步驟是學習者已經學會了，因此，教導者可先完成此部分學會的電路，其餘的步驟，交由學習者完成。但在真實的實習環境中，教師很難先為多個學習者佈置已學會的部分電路，但在模擬軟體中卻很容易克服此難題。另外，針對學習者的能力，可以設計出各式各樣的電路評量試題，由於完成電路的步驟是可以計數的，因此教師可以調整所有步驟的百分比，並先完成這些步驟之電路，其餘的就交由學習者完成。

此四種評量模式可以如此實施：(1)學習者學習某一單元後，先接受指定式評量，讓學習者了解此單元實習所需元件，並且能夠分辨出來。(2)教導者設計故障點評量，以加深學習者對電路理論基礎的認知，培養學習者邏輯推演能力。(3)當所有單元之課程結束後，可以實施自選式評量，訓練學習者對所有元件的了解與認識。由於此評量模式不指定元件的使用。因

此可以產生許多組的答案。可以將這些答案交給同儕互評，互相比較，互相求進步。而漸進式評量可以融入上述三種評量中使用。

由於 VDSL 系統是一套模擬軟體，可以設計程式來記錄學習者操作此軟體的步驟。因此，教導者可依此紀錄對學習者實施實作評量；學習者亦可依此紀錄對自己的學習做改善達到自我評量的目的。教導者可以依課程需要以及學習者的能力，以上述四種評量模式來設計作業，訓練學習者，以達到教學目標。學習者亦可在任何時間使用此系統來輔助學習數位電路，自我學習，自我評量。

每一種評量，皆紀錄學習者所花費的時間，以達到技能評量所要求的速度。而自選式的評量更可以訓練學習者達到技能評量所要求的複雜度與創造度。另外，每個 IC 輸出與 IC 輸入之連接，有一定的接法，因此，可以將正確電路圖之線路組合紀錄起來，然後與學習者所組合之電路做比較，便可以評量學習者所組合電路的正確性，以達到技能評量所要求的準確度。故障點的評量可以訓練學習者將知識學理與技能結合，增進其邏輯推演能力。而漸進式的評量，可以節省所學過的電路佈置時間，以縮短學習者學習數位電路課程的時間。

教導者可以透過程式將學習者常犯的錯誤紀錄統計並且加以分析，可以知道何處是學習者不容易瞭解的內容，以作為調整教材難度。學習者亦可透過此紀錄來改進學習方法。

## 五、範例

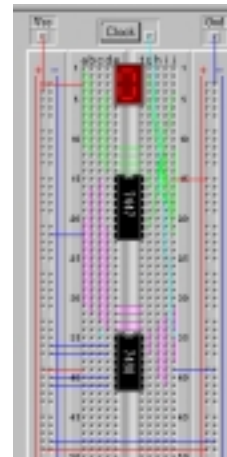
這一節，以兩個範例來說明上節的評量模式。故障點的評量包括佈置的 IC 錯誤、以及接線錯誤。另一範例為漸進式評量。

### (範例一)故障點評量

以設計除 10 電路(0~9 之計時器)為一單元，來說明故障點評量方式：

如圖三為正確的除 10 電路，其 IC 組合為 7490、7447、與共陽型七段顯示器。若脈波選擇手動，按 Clock 則七段顯示器會順序顯示 0123456789 的字型。而其正確線路接腳連接如下：

- (1)正確 IC 線路之接腳組合：{7490, 7447, 共陽七段顯示器}
- (2)接 Vcc：{(5), (16), (3, 8)}
- (3)接 Gnd：{(2, 3, 6, 7), (8), ( )}
- (4)7490 與 7447：{[7490, 7447]}  
 {[ (1, 12), -, [8, 2], [9, 1], [11, 6], [12, 7]}
- (5)7447 與共陽七段顯示器：{[7447, 共陽七段顯示器]}  
 {[10, d], [11, c], [12, b], [13, a], [14, g], [15, f]}

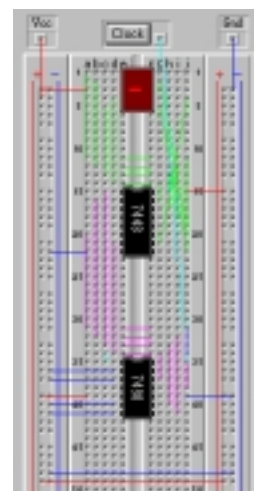


圖三 除 10 正確電路圖

### (一) IC 插錯：

如圖四使用 7490、7448、以及共陽型七段顯示器

- (1)7448 必須與共陰七段顯示器搭配
- (2)7447 必須與共陽七段顯示器搭配
- (3)此電路 IC 線路之接腳組合：  
 {7490, 7448, 共陽七段顯示器}
- (4)接 Vcc：{(5), (16), (3, 8)}
- (5)接 Gnd：{(2, 3, 6, 7), (8), ( )}
- (6)7490 與 7448：{[7490, 7448]}  
 {[ (1, 12), [8, 2], [9, 1], [11, 6], [12, 7]}
- (7)7448 與共陽七段顯示器：{[7448, 七段顯示器]}  
 {[10, d], [11, c], [12, b], [13, a], [14, g], [15, f]}



圖四 IC 插錯

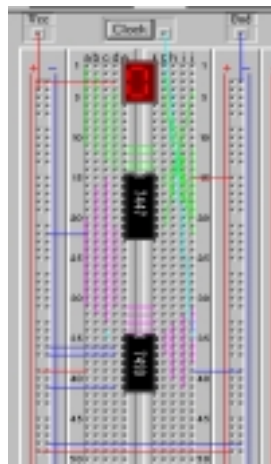
此電路 IC 接腳組合雖與正確電路接腳組合同樣，但解碼器與七段顯示器搭配錯誤會造成顯示互補的字型。因此可以提醒學習者其 IC 有接錯。

(二) 接線錯誤：

圖五為使用 7490、7447、以及共陽型七段顯示器。

此電路 IC 線路之接腳組合：{7490, 7447, 共陽七段顯示器}

- (1)接 Vcc：{(5), (16), (3, 8)}
- (2)接 Gnd：{(2, 3, 6, 7), (8), ( )}
- (3)7490 與 7447：{[7490, 7447]}  
{[(1, 12)], [8, 2], [9, 1], [11, 6], [11, 7]}
- (4)7447 與共陽七段顯示器：{[7447, 共陽七段顯示器]}  
{[10, d], [11, c], [12, b], [13, a], [14, g], [15, f]}



圖五 接線錯誤

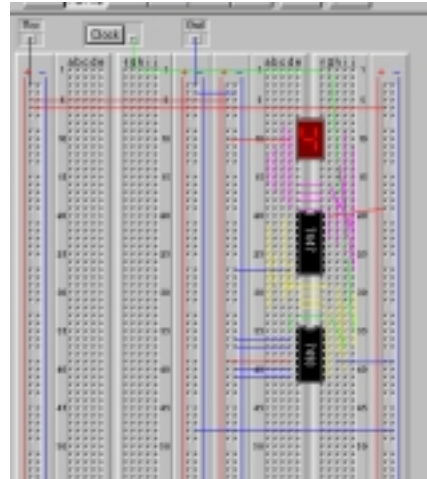
乍看之下無錯，但按 Clock 後，有時顯示出 0123456789 之部分字型，但與正確電路接腳組合比較，可以判斷出 7490 與 7447 之間接線錯誤。

(範例二)漸進式評量

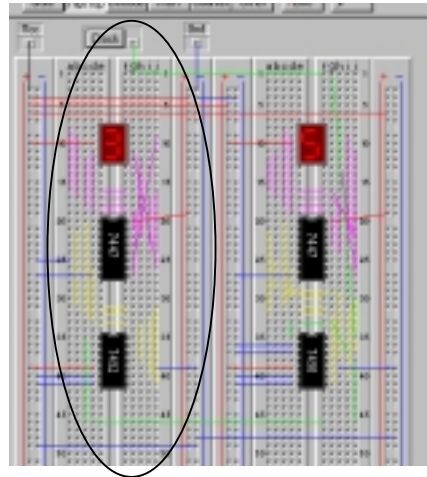
設計除 60 計數器，可以讓七段顯示器顯示由 00 至 59 共 60 組數字。因此，可以指定先除 10 後，再除 6。所以，步驟如下：

- (1) 除 10 電路：選擇 7490
- (2) 除 6 電路：選擇 7492

因此教導者可以先佈置除 10 電路之評量試題，如圖六所示，再請學習者完成除 6 電路，如圖七所示。



圖六 教導者完成除 10 電路



圖七 學習者完成除 6 電路

## 六、結論

‘因材施教’是教學的最高原則，所以不管是傳統式的教學，或是電腦輔助教學，都希望能夠針對學習者的能力，加以協助學習者有效學習。而評量更能將學習者學習能力等第區分出來。傳統式的紙筆測驗無法評量出以實驗或電路為導向的技術能力，必須以另類評量方式來評量。本研究利用逢甲大學開發的 VDSL 電腦輔助教學模擬軟體，將數位電路實驗教學評量模式作分類：指定式評量、自選式評量、故障點評量、以及漸進式評量等四類，以利學習者學習，能達到技能評量的要求：準確度、速度、複雜度以及創造度；在 VDSL 系統中，若能再加上故障 IC 元件庫，讓此 VDSL 模擬軟體更能夠接近真實的實驗環境，而使得故障點評量愈能夠讓學習者學習到邏輯推演能力。

資訊技術的進步，使得網路更加盛行，希望藉由網路的功能，能夠增加教學與學習的互動。因此學習與教學的模式也因此產生變化，

如遠距學習以及虛擬實驗教室的教學模式。在看不到學習者的情境中，要如何評量出學習者的能力就顯得格外的重要。行動代理人(mobile agent)的掘起，應該有助於這些新興教學模式的評量。因此未來可以將單機版的 VDSL 系統網路版化，增進其互動的能力，提高學習者學習數位電路的興趣，並加入行動代理人來輔助設計評量模式，以利教學活動的實施。

- [14]<http://www.orcad.com>.
- [15]<http://www.protel.com>.
- [16]<http://www.circuitmaker.com/downloads/student.htm>.
- [17][http://www.tiked.com.tw/page\\_9.htm](http://www.tiked.com.tw/page_9.htm).
- [18]<http://edutest.nccu.edu.tw/edutest/theory/實作評量的基本概念.asp>。

### 參考文獻

- [1] 桂怡芬, "紙筆與實作的互補;我的實作評量經驗," 教育資料與研究雙月刊, 第 13 期, 民 85, pp.24-35。
- [2] 莊謙本, "電子電路電腦輔助教學評量模式探討," 教學科技與媒體, 第 22 期, pp.3-9, 民 84。
- [3] 彭森明, "實作評量的理論與實際," 教育資料與研究雙月刊, 第 9 期, 民 85, pp.44-48。
- [4] 盧雪梅, "實作評量的應許、難題和挑戰," 教育資料與研究雙月刊, 第 20 期, 民 87。
- [5] 賴羿蓉, "簡介真實評量," 科教人, 第二期, 民 88。
- [6] 簡茂發, "多元化評量之理念與方法," 教師天地, 第 99 期, 民 88, pp. 11-17。
- [7] C. C. Ko, B. M. Chen, S. H. Chen, V. Ramakrishnan, R. Chen, S. Y. Hu, and Y. Zhuang, "A Large-scale Web-based Virtual Oscilloscope Laboratory Experiment," Engineering Science and Education Journal On April 2000, pp. 69 - 76.
- [8] C. R. Dow, C. M. Lin, and S. S. Chen, "The Development of a Virtual Digital Circuit Laboratory Using VDSL," To appear in the Journal of Chinese Institute of Electrical Engineering.
- [9] K. J. Siddiqui and J. A. Zubairi, "Distance Learning Using Web-Based Multimedia Environment," Proceedings of the Acadmia/Industry Working Conference on Research Challenges ( AIWORC'00).
- [10] S. Ogino and M. Sakauchi, "Mobile Applications on Virtual University," Proceedings of the Acadmia/Industry Working Conference on Research Challenges ( AIWORC'00).
- [11] S. R. Hilts, "Collaborative Learning in a Virtual Classroom: Highlights of Findings," ACM, 1988.
- [12] V. Ramakrishnan ; Y. Zhuang, S. Y. Hu, J. P. Chen, C. C. Ko, B. M. Chen, and K. C. Tan, "Development of a Web-based Control Experiment for a Coupled Tank Apparatus," American Control Conference, 2000.
- [13] <http://www.mentortech.com/vlab/index.shtml>.