

具有教育實用性的月亮、太陽運動之虛擬實境模型研究

Study of Building a Virtual Reality Model with the Practicability Education on the Movements of the Moon and the Sun

孫光天

王聖閔

國立台南大學數位學習科技學系

ktsun@mail.nutn.edu.twsammy@dc2es.tnc.edu.tw

摘要

本研究利用3D虛擬實境技術，建立一個適用於國民中小學月亮太陽觀測課程之觀測月亮、太陽運動之虛擬實境模型。

在國民中小學自然與生活科技領域的天文觀測課程中，關於太陽、月亮，地球的相對位置對學生常是相當抽象而不容易理解的。

目前已有一些由天文愛好者開發的免費的天文觀測軟體，例如:Stellarium就是一套開放原始碼的免費星圖軟體，可以模擬出相當逼真的立體星空。但可惜的是，這些軟體的操作介面對小朋友還是太過複雜，較適合由老師操作模型給學生觀看，而不適合學生自行使用。

本研究將克服操作介面的問題，設計一套應用3D虛擬實境技術於太陽、月球、地球相對運動位置的觀察、月相的變化、太陽位置及軌跡的觀測同時學生容易操作的虛擬實境模型。教學實驗結果顯示，有三分之二以上學生能接受並喜愛此種教學模式。

關鍵詞：「3D 虛擬實境」、「月亮、太陽觀測」、「自然與生活科技」。

Abstract

This study is intended to utilize the 3D virtual reality technologies to build a virtual reality model suitable for the moon and sun observing courses of elementary schools and junior high schools.

In astronomical observation courses of nature and life science in elementary schools and junior high schools, the relative positions of the sun, the moon and the earth is quite abstract and hard to understand.

This study is to explorer how can we utilize 3D virtual reality technologies and the actual relative movement parameters of the sun, the moon and the earth to make the virtual reality model suitable for the observation of the relative movement locations of the sun, the moon and the earth as well as the changes of phases of the moon and the location and track of the sun.

The results show that the model is helpful for improving the study of nature science by elementary students. Besides, about more than 2/3 students like this system and are ready to promote it to others.

Keywords: 3D Virtual Reality, Observation of the Moon and the Sun, Nature and Life Science

1. 前言

電腦的硬體效能愈來愈快，許多電腦的遊戲軟體都往3D的介面來發展。但一般教師對於3D虛擬實境軟體的開發，通常會覺得技術難度較高，需要相當昂貴的開發費用。

近年來教育部大力推動資訊融入教學，而實施資訊融入常常需要用到許多的電腦輔助教學媒體。但在3D的虛擬實境電腦輔助教學軟體方面，可取得的教材還是相當有限。

太陽、月亮、地球及星座的題材，在由國小到高中的自然與生活科技領域課程中一直都有相關的課程。但這些課程的輔助教學軟體卻都還一直停留在2D動畫或圖片，雖然也有一些3D虛擬實境網站[13,16,17]，但都操作複雜，對國中小學生而言，無法用於輔助學習，所以，一套能適用於國中小學生觀測月亮、太陽運動之虛擬實境模型，有其必要性。

希望能夠開發出一套操作簡單的國民中小學月亮太陽觀測教學的3D虛擬實境教學模型。同時並能推廣給其他老師及學生使用，期待這套模型的開發對國中小天文觀測教學能有所助益。

2. 3D 虛擬實境

運用電腦動畫處理現實世界較難製作的3D場景與立體透視，建立兒童們的三度空間概念，擺脫面對2D平面的圖像需要轉換成3D物件的窘境，以圖像來取代繁複的語言文字講解，讓傳統課本進化到由學生親身實地操作的虛擬實境，一直是科技與教育完美結合的理想[6]。

2.1 開發工具

本研究之開發環境為微軟Direct3D(以下簡稱D3D)函式庫配合C++語言開發，同時使用3ds max為建模工具。

2.2 3D 虛擬實境的空間世界

為了在電腦呈現真實的世界，定義以下空間及矩陣以方便程式設計及美工建模之用。

2.2.1 本地空間

又稱塑模空間，是我們以建模軟體設計物件時所使用的空間系統。本地空間允許我們在不考慮該物件的位置、尺寸或方向與世界空間中其他物件的關係的情況下建立模型[9]。

2.2.2 世界空間

不同的模型在其本地空間裡建立完畢後，我們必須將它們移到世界空間中來建造場景。位於本地空間的物件會經由世界轉換(World transform)的過程被轉化到世界空間裡[9]。

2.3 3D 空間中的矩陣(Matrix)

D3D以4×4的矩陣來記錄物體在空間的位置及方向。以空間轉換矩陣(亦是4×4的矩陣)來計算運動情形。

2.3.1 世界矩陣(World Matrix)

幾乎每一個模型要擺在3D場景時，都得利用矩陣將其轉換到指定的方位，這個專門用來轉換物體方位的矩陣變數就叫做World Matrix。不論我們要對某個模型做怎麼樣的位移或旋轉，只要將所有相對應的位移、旋轉或縮放矩陣連乘在一起，最後將所得到的這個矩陣指定給World Matrix即可[12]。

2.3.2 觀察矩陣(View Matrix)

設定觀察者(Camera)的位置及方向，不論如何移動與旋轉Camera，我們只需要一個矩陣即能代表，這個矩陣變數就叫做View Matrix[12]。

2.3.3 投影矩陣(Projection Matrix)

將3D場景投影到2D的觀察視窗(螢幕)上，這個動作也可以用矩陣來完成。這個投影的轉換矩陣，就叫做Projection Matrix。在程式中Projection Matrix通常只要設定一次，設定好View Matrix及Projection Matrix後，程式就會自動計算出觀察者所看到的畫面。程式中若要改變視角大小，只要直接修改Projection Matrix中的相關參數即可[12]。

2.3.4 單位矩陣與空間轉換矩陣

單位矩陣代表世界空間座標的原點。D3D中要將模型放入世界空間的最常見的做法是先將單位矩陣指定給Word Matrix，也就是先將模式放在世界中心原點中。

模型要在空間中移動，可以將World Matrix乘以空間轉換矩陣來完成，常用的空間轉換矩陣包括位移矩陣、旋轉矩陣、縮放矩陣，

若要參考本地座標做轉換，則使用左乘，若要參考世界座標做轉換，則使用右乘。

例如：矩陣 M 參考本地座標移動(dx, dy, dz)，則

矩陣乘法為左乘，寫法法為 $T(dx, dy, dz) \times M$ ，參考世界座標移動(dx, dy, dz)，則矩陣乘法為右乘，寫法為 $M \times T(dx, dy, dz)$ 。

2.3.5 空間轉換函數

D3D的程式設計中，提供了完整的空間的轉換函數以方便程式設計者使用，整理如表1

表 1 空間矩陣的轉換函數

功能	函數
載入單位矩陣	LoadIdentity()
位移矩陣	Translate(dx, dy, dz) TranslateLocal(dx, dy, dz)
旋轉矩陣	RotateYawPitchRoll(y, x, z) RotateYawPitchRollLocal(y, x, z)
縮放矩陣	Scale(x, y, z) ScaleLocal(x, y, z)

空間轉換函數其實就是矩陣乘法，加Local的函數代表參考本地座標，沒有Local則代表參考世界座標。載入單位矩陣代表將模型放入世界座標原點，以再依實際需要利用函數將模型位移、旋轉或縮放。利用上述的方法，可以處理極複雜的空間轉換而不需考慮其轉換公式。

2.3.6 轉換後的矩陣元素

轉換後的矩陣 M 之元素 $M(4,1)$ $M(4,2)$ $M(4,3)$ 分別代表該矩陣原點在世界空間中的座標，在D3D中提供了 M_41 、 M_42 、 M_43 等結構體變數來存取這些元素。

矩陣元素 $M(1,1)$ $M(1,2)$ $M(1,3)$ 、 $M(2,1)$ $M(2,2)$ $M(2,3)$ 、 $M(3,1)$ $M(3,2)$ $M(3,3)$ 分別代表轉換後的本地空間座標X軸、Y軸、Z軸之單位向量在世界空間座標的向量，D3D亦可使用結構體變數 M_11 、 M_12 ...等來存取這些值，故可以找出本地空間的X、Y、Z軸在世界空間的方向。

這些資料可用來計算太陽的仰角與方位角。

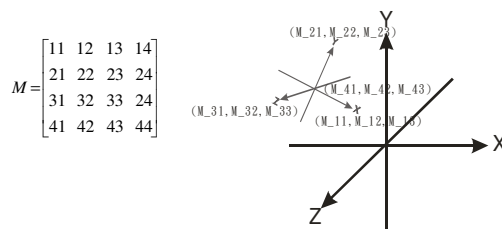


圖 1 轉換後的矩陣元素

3. 日地月的運動

在實作出一個符合實際觀測的日地月模型前，必需找出日地月的運動方式及規則。

3.1 天球座標

天文學上常用的天球座標系統有三種：黃道座標、赤道座標及地平座標。

3.1.1 黃道座標及赤道座標

以地球繞行太陽的平均公轉平面為基準面之球面座標系統稱為黃道座標，其經度 0° 則採用春分點。

以地球的平均赤道面延伸為基準面之球面座標系統則稱為赤道座標，經度 0° 亦是春分點。

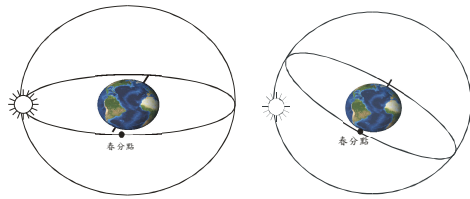


圖 2 黃道座標(左)及赤道座標(右)

3.1.2 地平座標

以地面觀測者所在平面為基本面所構成。由方位角及仰角組成。方位角 0° 是正北方，依照北(0°)→東(90°)→南(180°)→西(270°)順序。仰角則以地平面為 0° 至天頂正中央為 90° 。國小月亮太陽觀測單元中使用地平座標。在天文計算中因為地平座標需考慮觀察者所在的經緯度及時間變化，所以計算是最複雜的。

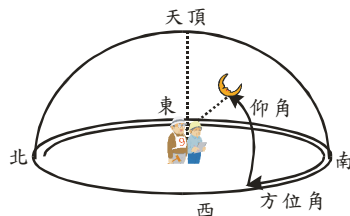


圖 3 地平座標

3.1.3 春分點及瞬時春分點

平均黃道面與平均赤道面會有兩個交點，一個為升交點稱為春分點，即太陽直射赤道時太陽在黃道座標所在的點，此時太陽所在的天球經度為 0° 。另一個為降交點稱為秋分點[2]。

由於地球自轉軸亦會移動(稱為歲差)，配合歲差週期修正的春分點就稱為瞬時春分點，也就是任何時間的黃經度 0° 。

3.2 地球運動模擬

本節討論以電腦模擬出真實的地球運動。

3.2.1 3D 座標系統

本研究所使用右手座標系統計算日地月的運動，並定義座標位置如下：

- 2006年近日點在X軸的正軸上
- 地球軌道的橢圓中心點為3D座標的原點
- 地球軌道所在的平面位於X-Z平面上。

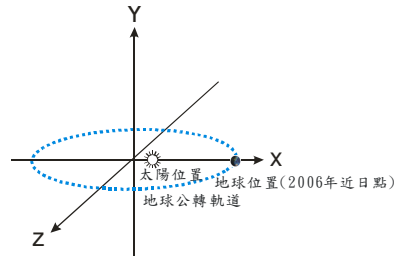


圖 4 太陽、模擬使用的 3D 座標

3.2.2 克卜勒運動定律

地球軌道

行星繞太陽運行軌道橢圓，太陽位在橢圓的焦點之一[4]。

地球到太陽距離

假設橢圓半長軸 l ， β 為偏近點角， e 代表軌道離心率，則橢圓上之任一點 M ，至近焦點 N 之長度 r ，符合以下公式[8]:

$$r = l - e \cos \beta \quad (1)$$

地球的運動速度：地球對太陽在相同時間畫過相同的面積[8]。

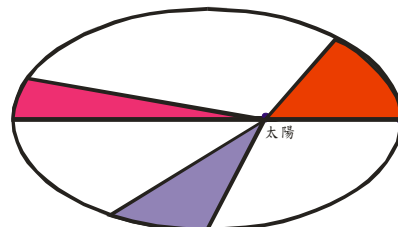


圖 5 相同時間畫過相同面積

3.2.3 地球位置計算

要找出地球位置，需用到3個特殊角：偏近點角 β 、真近點角 f 、平近點角 m 。

平近點角 m 為假想角，假設地球以等角速度繞太陽運動， t 為觀測時間， γ 過近日點時間， n 為單位時間角速度，則 m 代表推測時間 t 時地球與近日點的夾角，稱為平近點角，可看做時間的變化[5]。

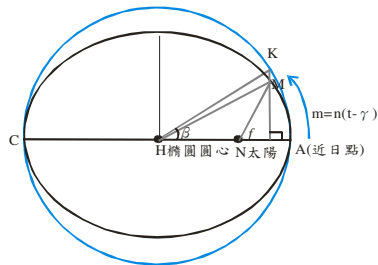


圖 6 地球公轉的位置與時間關係

3.2.4 克卜勒方程

克卜勒方程用來計算平近點角 m 與偏近點角 β 之關係：

$$m = \beta - e \sin(\beta) \quad (2)$$

該方程式為一超越方程式，其中 m 代表時間可視為常數，只要求出上式之解 β ，即可由 β 算出出每一時間點地球的位置[5]。

可以電腦程式由牛頓法解出，但程式設計時需注意答案的發散及重複呼叫問題

3.2.5 近日點近動

地球橢圓軌道本身會旋轉。近日點進動周期約為112,000年[11]。

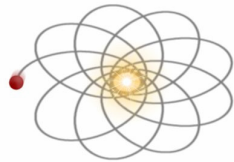


圖 7 近日點的進動(現象被極度誇大)

3.2.6 地球公轉模擬

在程式中以下步驟模擬地球公轉運動：

- step 1. 以2006/1/4 15:00（近日點）為模擬起點。
- step 2. 以112000年(回歸年)一圈模擬近日點進動。
- step 3. 計算模擬時間與程式模擬起點的時間差，並以地球公轉一圈的時間(近點年)換算平近點角。
- step 4. 解出偏近點角。
- step 5. 計算出模擬時間地球在橢圓軌道的位置及與太陽的距離。
- step 6. 由公式(1)算出地球和太陽的距離。

3.2.7 歲差

地球繞太陽公轉過程中，自轉軸作圓錐形的運動，如同旋轉中陀螺的旋轉軸所做的運動。地軸依逆時針方向繞黃道軸轉圈，交角約23.5度，繞一圈

週期約25800年。春分點每年會向西退行，故回歸年(以春分點為準)較地球實際繞太陽一週(恆星年)短，稱為歲差[1]。

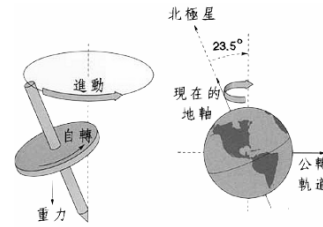


圖 8 地球歲差模擬圖

3.2.8 近日點、春分點與地軸傾角的關係

利用春分的時間(太陽直射赤道)和近日點時間可計算地軸傾斜方向，並計算黃經度0度(春分點)在3D座標中的方向。

配合歲差週期可推算任何時間的地軸傾斜方向及瞬時春分點位置，瞬時春分點可用來轉換黃道座標為3D座標。

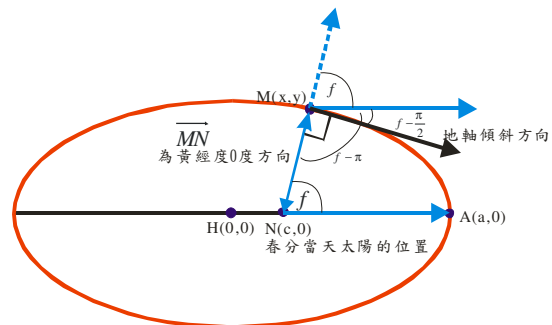


圖 9 春分及近日點時地球在橢圓上的相對位置

3.2.9 地球自轉

地球自轉一天實際自轉的角度並非一圈，而是一圈 + θ 。 θ = 地球公轉在軌道上移動角度(近點年計) + 近日點近動移動角度，這些都必須加入計算。

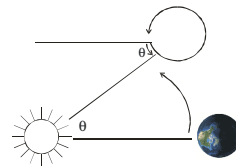


圖 10 一平太陽日地球的自轉

3.3 月球運動模擬

月球不但處於地球引力作用下，同時也受到太陽引力的影響，所以具有十分複雜的軌道運動。除了橢圓運動外，主要的軌道變化有：離心率變化、軌道傾角變化、拱線運動、交點西退。因此若要以只以橢圓軌道來模擬月球運動，誤差會相當大[10]。

3.3.1 太陽月亮的位置計算

本研究參考相關文獻[3,14,15]，以公式計算月球及太陽的黃道座標，再將黃道座標轉換成3D立體座標後應用在本研究開發的模型之地面觀測模式。

3.3.2 月球交點西退模擬

月軌與黃道的交線並不固定，而是不斷向西運動，每18.6年運行一周。當新月剛好在月交點時，便會發生日食，當滿月剛好在月交點上時，便會發生月食[10]，圖11顯示如何在程式中模擬交點西退。

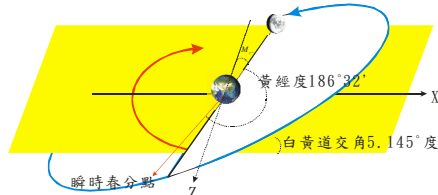
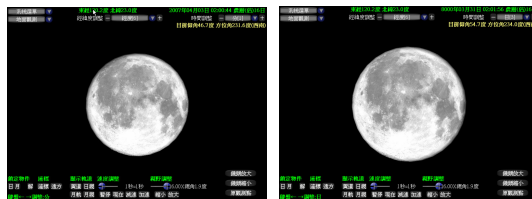


圖 11 交點西退模擬

3.3.3 月球自轉模擬與自轉軸傾角

月球自轉速度和公轉速度相同(即月球恆星日=月球恆星月)，所以不管任何時後，月球都會以同一面面對著地球。

月球的自轉軸相對於白道的傾斜角為 1.54° ，這部份對月球觀測的影響幾乎看不出來，故略去不計。



西元2007年 西元8000年
圖 12 程式模擬的月球以同一面對著地球

3.4 西曆和中曆(農曆)的換算

月亮觀測課程中必需配合農曆日期來觀測，表2[7]顯示如何以一個長整數儲存一整年的中西曆對照資料。將公元2000-2100年的農曆存入農曆對照表中，程式即可算出2100年前正確農曆。其他日期的農曆可以平均朔望月推算，會有最多一天的誤差。

表2 西曆和中曆的對照表格式

月	日	閏幾月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	11	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0
2	1	8	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
2	20	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

3.5 地平座標的仰角與方位角與計算

國小所使用的觀測座標是地平座標系，故地面觀測模式中需要將太陽及月球的位置轉換成地平座標，下圖顯示如何以向量計算出仰角及方位角

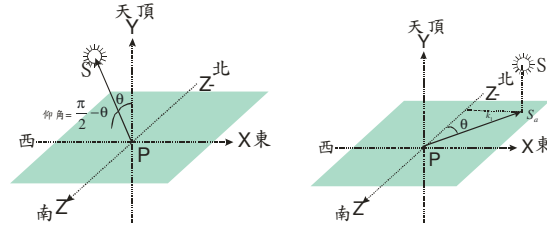


圖 13 仰角及方位角計算

3.6 場景的設計

本系統提供3個場景供使用者觀察：

太空漫遊：觀察者在太陽系中可任意移動。

衛星模式：觀察者在地球地面上空（好像地球的衛星，可選擇自轉同步或不同步）。

地面觀測：觀察者可選擇地面的任何經緯度地點來觀察，適合太陽月亮觀測單元的教學。

4. 研究成果及限制

本研究之成果程式可由大橋國小(<http://www.c2es.tnc.edu.tw>)網站上之常用檔案下載區，歡迎有興趣的使用者下載使用，相信這個模型對自然領域中的地球、月球、太陽相關學習能有所幫助。

4.1 軟硬體需求

本系統需在Windows作業系統平台，並配合DirectX 9.0C以上之執行函式庫。

電腦的CPU等級在1.2G以上並具有一般等級(例如主機板內建)3D加速功能的顯示介面卡即可執行，因為本程式使用最新的D3D函式開發少部份電腦可能要更新最新的顯示驅動程式才能正常執行。

4.2 系統應用

系統適用於國中小月亮太陽觀測課程，例如：

- 四年級善變的月姑娘及五年級太陽觀測
- 九年級月地日相對運動
- 日食、月食模擬
- 北極永晝永夜模擬

(如圖 14~17 所示)

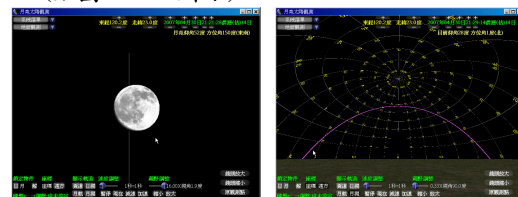


圖 14 月亮觀測模擬(左) 月球的東升西落(右)

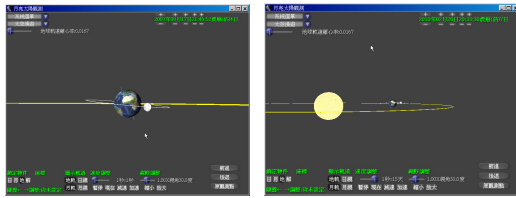


圖 15 日地月相對運動模擬



圖 16 日食與月食模擬

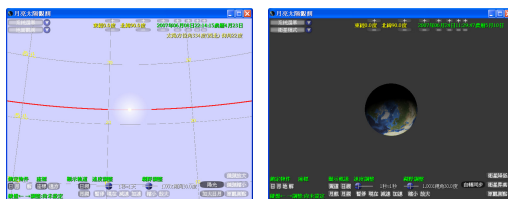


圖 17 永晝模擬

4.3 誤差

模型對照台北天文科學教育館之月球及太陽表，本研究所建立之模擬系統有 $\pm 1^\circ$ 以內的誤差。對太陽、地球、月亮相對位置及地面觀測結果已足夠應用在國中小自然與生活科技領域課程中。

4.4 月食光影變化

真實的月食是地影投影在月球表面上，但目前筆者所使用的D3D函數只能投影在平面上，尚無法投影在球面，故本研究以地影投影在月球前方的虛擬平面來模擬，可以看出月球被地影遮蔽的情境，但模擬的光影效果並不夠真實。

5. 未來方向

本研究之模型雖已能夠應用在國中小的自然領域教學課程中，但針對本研究的模型，未來仍可考慮再加入以下的功能

- 提高模擬的準確度，以正確模擬日月食現象。
- 改進月食模擬的光影變化的效果。
- 加入國民中小學課程的星座模擬。

參考文獻

- [1] AEEA 天文教育資訊網。2006。歲差的應用。2006年11月6日，取自http://aeea.nmns.edu.tw/geo_home/geo96/group8/group8month.htm。

- [2] 包舜華。2001。地球的運動與座標系統。天文館期刊—台北星空，10。
- [3] 包舜華。2007。月球位置計算。2007年3月6日，取自http://blog.sina.com.tw/astro_calculator/article.php?pbid=24388&entryid=301195。
- [4] 成大物理系天文學實驗室。2006。克卜勒三大定律。2006年10月28日，取自http://www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/e_book/measure_universe/captions/kepler_laws.html。
- [5] 周濟林。2005。天體力學基礎—二體運動軌道類型。2006年10月28日，取自<http://astronomy.nju.edu.cn/~zjl/cm/cm.htm>。
- [6] 林于正。2004。資訊融入地球化學教學之研究—以核飛跡定年法的3D 虛擬實境教學為例。國立台南師範學院自然科學教育學系碩士班碩士論文。台南市。
- [7] 邱展毅。2005。「兩千年中西曆轉換」資料庫介紹。2007年4月2日，取自<http://www.sinica.edu.tw/~tdbproj/sinocal/lusodoc.html>。
- [8] 姚珩。2004。行星面積定律的建立。科學教育月刊，274，32-38。
- [9] 黃聖峰譯。2004。Frank D. Luna 著。3D 遊戲程式設計入門 (Introduction to 3D Game Programming with DirectX 9.0) (頁 72-73)。台北縣：博碩文化。
- [10] 維基百科。2006。月球。2006年12月5日，取自<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E6%9C%88%E7%90%83&variant=zh-tw>。
- [11] 維基百科。2006。進動與分點歲差。2006年11月5日，取自<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E9%80%B2%E5%8B%95&variant=zh-tw>。
- [12] 鄭思堂。2004。3D 程式設計基本心法。台北：金禾資訊。
- [13] Alpha Centaure, Retrieved July 31, 2007 from: <http://www.astrosurf.org/alphacentaur/>, 2007
- [14] H. W. Jensen, F. Durand, M. M. Michael, S. Premoze, J. Dorsey & P. Shirley, "A physical-ly-based night sky model." In: Proceedings of SIGGRAPH'2001, Los Angeles, California, USA, pp.399-408, 2001.
- [15] J. Meeus, Astronomical Formulae for Calculators, 4th ed. Virginia: Willman-Bell, 1988.
- [16] Sky Charts, Retrieved July 31, 2007 from: <http://www.stargazing.net/astropc/index.html>, 2007.
- [17] Stellarium, Retrieved July 31, 2007 from: <http://www.stellarium.org/zh/>, 2007.