

台灣環海潮流資訊虛擬實境系統

張明哲¹ 梁興杰² 高家俊³ 蔡惠峰⁴

摘要

本研究中，我們開發一互動式虛擬實境展示系統，以視覺化、互動的方式，呈現研究範圍內（東經 115°- 東經 125°、北緯 20°- 北緯 30°之區域）的潮流相關資料。我們以該區域之數值高程模型（Digital Elevation Model, DEM）資料，套疊衛星影像圖，建構一 3D 擬真場景。為了達到即時顯像，我們利用可視範圍篩選（VFC）、LoD、ROAMing 等物件簡化技巧，處理場景資料，提升系統執行效率。呈現之潮流資料係使用 3D Princeton Ocean Model（POM），模擬環台灣海域之水位與流速變化。為了方便使用者操作與系統互動，我們利用 OpenGL 提供之 GLUT（OpenGL Utility Toolkit）函式庫，開發一圖形使用者介面，使用者可透過此圖形化介面，與系統產生互動，藉以觀察場景內時間與空間之海流資訊變化。

關鍵字：虛擬實境、海流資訊、可視範圍篩選、多層精細模型、ROAMing

VR System for Coastal Circulation Around Taiwan

Ming-Che Chang¹ Shin-Jye Liang² Chia-Chuen Kao³ Whey-Fone Tsai⁴

ABSTRACT

An interactive 3D virtual environment was constructed for visualizing the coastal circulation around Taiwan. The virtual environment was built up with the digital elevation model (DEM) data and satellite image. In order to realize the real-time rendering, computer graphic acceleration techniques, such as View Frustum Culling (VFC), Level-of-Detail (LoD) and ROAMing, were employed. Flow information of the study area, from 20° to 30° latitude and 115° to 125° longitude, was obtained with the 3D Princeton Ocean Model (POM). In order to facilitate the easy use of the system, a graphic user interface was designed using the OpenGL Utility Toolkit library. This innovate computer graphic tool shows very useful to visualize space-time varying data both globally and locally in the virtual environment.

Key Words: Virtual Reality, Coastal Circulation, View Frustum Culling, Level-of-Detail, ROAMing

一、緒論

近年來由於電腦硬體及軟體迅速的發展，電腦圖學、影像處理技術日臻成熟，虛擬實境（Virtual Reality, VR）、多媒體等技術也越加普遍。

利用電腦輔助視覺化等方式，來呈現研究成果

已成為新的趨勢（Brown, et al., 1995）。虛擬實境是結合電腦繪圖、影像合成等相關軟體技術，配合顯示設備、音效等輸出裝置，所構成的 3D 擬真環境。VR 技術以 3D 圖像的方式來呈現場景中相關之時間、空間資訊，將數據與資料轉換成 3D 物件，以圖形方式，有效地呈現於互動之虛擬場景中，方便研究人員迅速地了解及判讀大量數據與資料之含意，及其與周遭環境之關係（林，1997）。

¹ 逢甲大學水利工程學系研究生

² 逢甲大學水利工程學系副教授

³ 成功大學水利及海洋工程學系教授

⁴ 國家高速網路與計算中心副主任

本研究以 Liang, et al. (2003) 所發展之虛擬實境為基礎，發展一台灣環海潮流資訊虛擬實境系統。系統中，我們利用 ROAMing 等相關技術，簡化系統資料、改善程式執行效率，並開發使用者人機介面，透過滑鼠、鍵盤等元件操作系統，讓使用者與系統產生高度互動。並將台灣附近海域之潮流資料，以圖形、動態等方式，呈現於擬真場景之中。

二、POM 數值模式

研究中，台灣環海的潮流資訊是利用 Princeton Ocean Model (POM) 數值模式所求得。POM 數值模式乃由 George L. Mellor 與 Alan Blumberg 於 1977 年所發展的三維斜壓模式，可應用於模擬海洋、海岸等大尺度之流場、亦可計算河川、渠道等較小尺度之水理運動 (Blumberg and Mellor, 1987; Matsumoto and Ooe, 2000; Yeh, et al, 2002)。

POM 之基本方程式為質量守恆及動量守恆方程式。模式中為了簡化方程式，使用了兩個假設條件：假設流體本身的重量與壓力梯度力平衡，亦稱為靜力平衡假設 (hydrostatic assumption) 以及包氏近似 (Boussinesq approximation)。

連續方程式為

$$\nabla \cdot \vec{V} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

動量方程式為

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla U + W \frac{\partial U}{\partial z} - fU \\ = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + F_u \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla V + W \frac{\partial V}{\partial z} - fV \\ = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) + F_v \end{aligned} \quad (3)$$

$$\rho g = -\frac{\partial p}{\partial z} \quad (4)$$

溫度守恆方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \theta + W \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + F_\theta \quad (5)$$

鹽度守恆方程式

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla S + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \quad (6)$$

式中， \vec{V} 為流速在水平方向之分量 (u, v)， W 為流速在垂直方向之分量， f 為柯氏力參數， g 為重力加速度， P 為壓力， ρ_0 為水的參考密度 (reference density)， ρ 為水的當地密度， η 為水面高程， K_M 為垂直渦流混合擴散係數， θ 為勢溫，在淺水時為現場溫度。 S 為鹽度， K_H 為熱能和鹽度的垂直渦流混合擴散係數。密度為勢溫與鹽度的函數。

$$\rho = \rho(\theta, S) \quad (7)$$

不同水深的壓力變化可以由動量方程式的垂直積分獲得：

$$p(x, y, z, t) = p_{am} + g \rho_0 \eta + g \int_z^0 \rho(x, y, z', t) dz' \quad (8)$$

式中 P_{am} 為常數。

流場中不能以模式格網所能解析之一切運動皆以水平混合程序 (horizontal mixing processes) 參數化。此程序大多由大尺度運動所支配，式(2)、(3)、(5)與(6)之中 F_u 、 F_v 、 F_θ 與 F_S 即為此類參數。在 Princeton 海洋數值模式中， F_u 、 F_v 、 F_θ 與 F_S 以下列表之：

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A_M \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (8-a)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial y} \left(2A_M \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (8-b)$$

$$F_\theta = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) \quad (8-c)$$

$$F_S = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial S}{\partial y} \right) \quad (8-c)$$

其中， A_M, A_H 分別為動量及熱量之水平渦流擴散係數，而 A_M 可以利用平均流之性質 (mean flow quantities) 來表示，亦即

$$A_H = (C_H \Delta)^2 D \quad (9)$$

式中， C_H 為常數， Δ 為數值格網間距，而 D 的定義如下：

$$D = \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (10)$$

A_H 之計算，POM 利用 Schmidt 數 Δt 以之與 A_M 相關聯：

$$A_H = \frac{A_M}{\sigma_i} \quad (11)$$

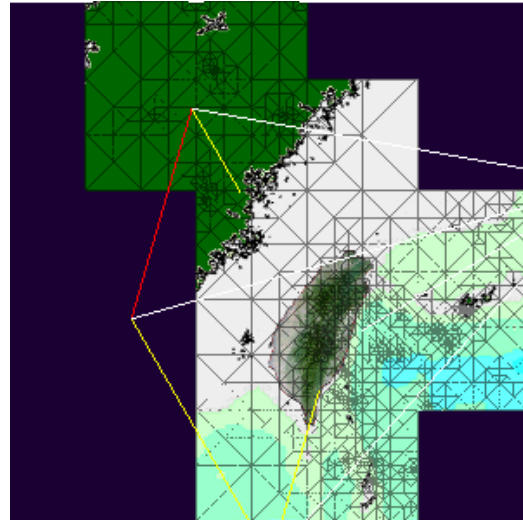
三、系統物件簡化與應用

在系統中，當我們使用精準、大量的地形資料時，一般的顯像方法會因為多邊形的數目過多，導致其效能變差。為了達到即時呈現與互動的效果，我們利用了許多圖學加速的技巧，如 View Frustum Culling、LoD、ROAMing 等技術，在物件不失真的前提下，加以簡化、近似地形資料。

系統中之判斷機制，會根據地形變化與複雜度的不同，以不同的解析度呈現場景資料。在地形變化較大的區域內，加密網格 (Refining)；而在變化較小的區域內變粗網格。當在使用者在場景中移動 Camera 時，系統會不斷地自動計算相關的資訊，並配合 ROAMing 多邊形技術 (Duchaineau, et. al.) 等簡化技術，在場景不失真、不影響地形外貌的情況下，以較少之 DEM (Digital Elevation Model) 多邊形資料量，近似原數值高程模型。

3.1 可視範圍篩選

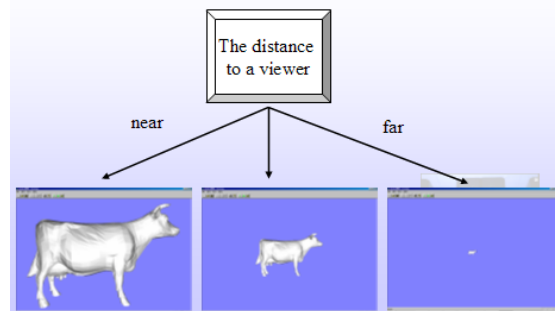
由於一般的場景資料十分複雜，使用者在瀏覽、移動時，若將整個場景所有的物件都描繪出來，程式執行的效能勢必降低。由於，當使用者在虛擬場景中瀏覽時，所能見到的範圍有限。所以，系統在描繪場景時，只需畫出使用者所能見到的物件即可，此方法稱為可視範圍篩選 (View Frustum Culling, VFC)。我們將 301×301 之地形資料，切割成 64×64 的個別立方體 (Cube)，程式會判斷 Camera 所能見到的立方體範圍，利用可視範圍篩選，篩選出使用者所能看見的立方體，減少不必要的繪圖資料，如圖一所示。



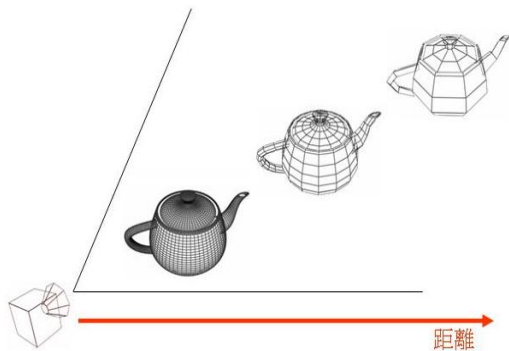
圖一 可視範圍篩選示意圖

3.2 多層精細模型

在場景中，瀏覽者所能看見的的場景是由操作 Camera 所控制。場景中物體有的距離 Camera 的視點遠、有的距離較近。在場景中所顯現的物件，離視點愈遠時，所呈現物體愈小；距離越近時，所呈現的物體愈大，如圖二所示。若距離遠的和距離近的物體用相同解析度去呈現，相當浪費資源。所以，對於距離較遠的物體，我們使用較粗糙的模型去表示；距離較近的，可利用較精細的模型，此為多層精細模型 (Level-of-Detail, LoD) 之技術，圖三所示為多層精細模型示意圖。



圖二 在不同距離時之物件顯像

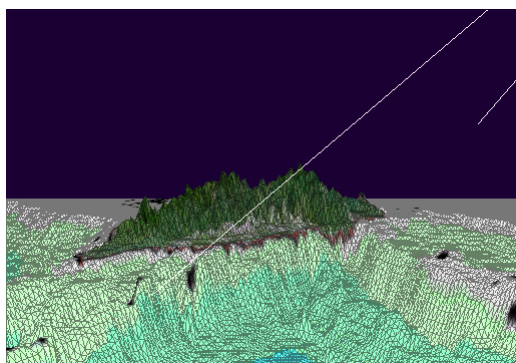


圖三 多層精細模型示意圖

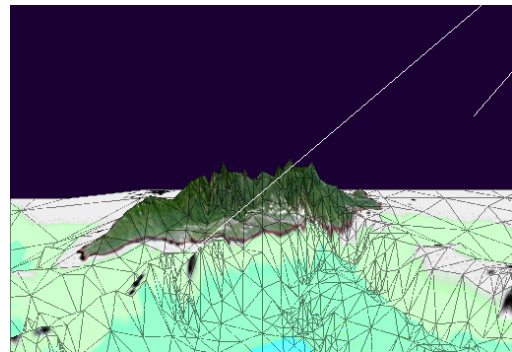
3.3 ROAMing

結合前述之方法，程式中運用 ROAMing 技術簡化場景中複雜地形，系統可依據使用者所操作的 Camera 位置，來判斷繪製地形所需的多邊形個數以及精細度。我們可將畫面內場景的多邊形數限制在可接受的範圍內，程式會自動判斷，僅在距離 Camera 較近以及坡度變化大的地方，以較多的多邊形來描繪該處之地形；反之，在距離 Camera 較遠處及地形較變平緩的地方減少網格數量，以較少的多邊形來描繪，提升系統效能。

圖四所示為有無使用 ROAMing 技術，描繪虛擬場景 DEM 之示意圖。在未使用 ROAMing 技術時，場景的多邊形個數為 45,010 個；當使用 ROAMing 技術時後，簡化之後的地形與原始之地形並無太大之不同，但多邊形個數驟減為 5,747 個，僅約為原先的 12% 左右，大幅簡化了複雜的地形資料。



(a) 未使用 ROAMing



(b) 使用 ROAMing

圖四 有無使用 ROAMing 技術對數值高程模型呈現之比較

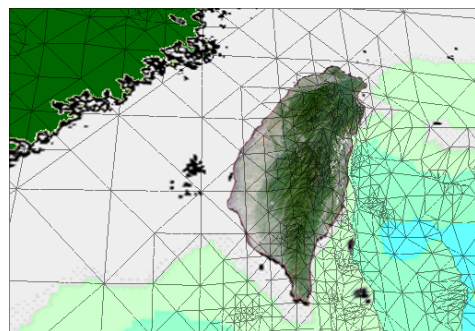
四、系統開發與應用

本研究中，我們開發一台灣近海海流的虛擬實境系統，系統內包含：(1) 擬真的台灣近海虛擬場景、(2) 海流資訊、(3) 使用者操作介面。

4.1 虛擬場景

本研究利用美國地球物理資料中心 (National Geophysical Data Center, NGDC) 所提供之全球 2 分高度資料 (ETOPO2)，將研究範圍內 (東經 115°- 東經 125°、北緯 20°- 北緯 30° 之區域) 之陸地及海底之資料數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)，建構一 3D 互動式虛擬場景；將由 Princeton Ocean Model (POM) 數值模式，所求得之環海潮流資訊轉換為 3D 物件，呈現於虛擬場景之中。

我們將 DEM 資料讀入，利用 C++ 程式語言，搭配繪圖函數庫 OpenGL，以 BiTree 方式產生三角形地形網格，並套疊該區域之衛星影像圖，將地形資料以 3D 的形式呈現，繪製出一擬真的地形、地貌，如圖五所示。

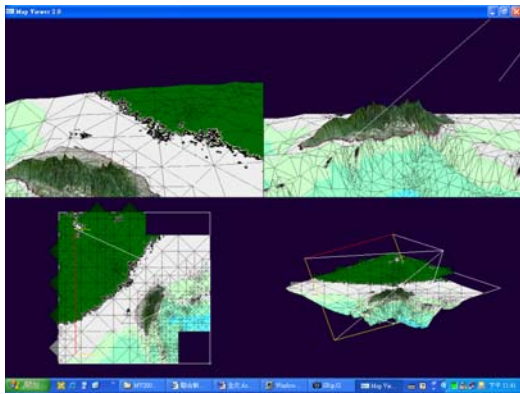


圖五 台灣本島與近海虛擬場景

4.2 系統介面與操作

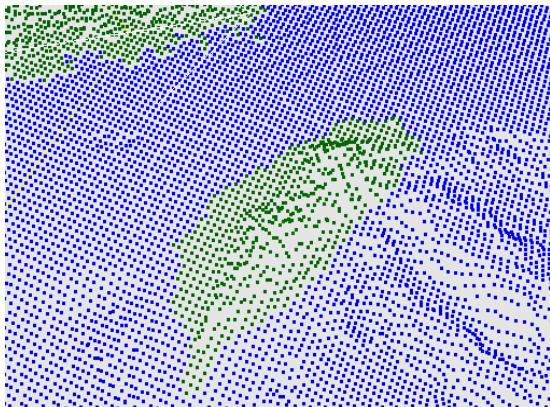
瀏覽者透過系統介面，可以控制場景並與系統之間產生互動，展示地形與環流等相關資料。利用滑鼠、鍵盤與功能切換進行基本的控制、操作場景。

系統中虛擬場景的視窗分為四個部份，分別將 Camera 置於場景中不同的角度，以不同的視點來觀察場景之中的資訊，如圖六所示。當 Camera 移動位置時，四個小視窗內的場景也會隨著改變相對應的景象。

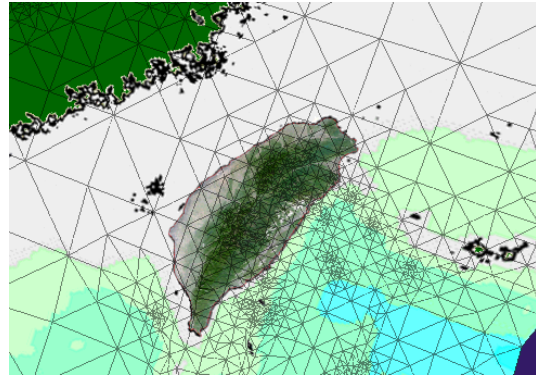


圖六 系統視窗

系統中，以不同的方式繪製場景地形，瀏覽者可以選擇以點 (point) 或以多邊形 (polygon) 的方式來呈現，如圖七所示。以多邊形方式描繪地形可以得到較佳的視覺效果。



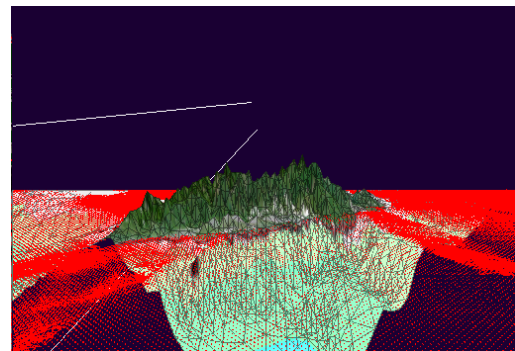
(a) 以 point 方式呈現之場景



(b) 以多邊形方式呈現之場景

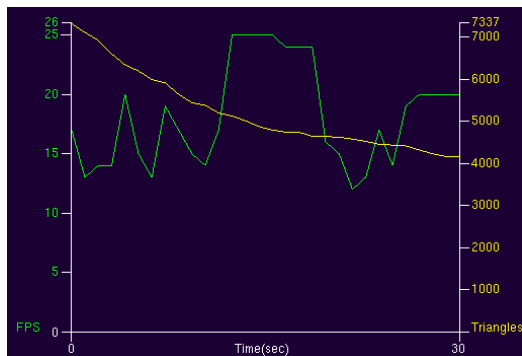
圖七 以(a)point 與(b)多邊形呈現之擬真場景

場景中除地形、地貌資訊外，主要呈現的是台灣環海潮流資訊。我們在研究區域內建構計算網格，並計算網格上之海流相關資訊，資料包括計算網格及不同時間之計算流場 (水位與流速)；並利用 OpenGL 繪圖的功能，將計算網格上的流速及水位資料以 3D 的形式呈現，以動態的方式，展示不同時間內的流速變化，以觀察台灣週圍近海海流之變化，如圖八所示。



圖八 台灣近海擬真場景與速度場

系統中，我們以不同的繪圖方式來呈現場景資料，由於不同的顯現方法對整體系統效能的影響差異很大，我們設計一系統效能監測功能視窗，可以偵測程式執行中的整體效率，如圖九所示。此功能可以即時監測系統的 FPS (Frame per seconds) 及 Camera 視野範圍內多邊形數量。這些數據為影響整個效能之動要參考。



圖九 系統效能監測圖

五、結論

本研究中，我們建置一台灣近海之虛擬場景，並以3D、動態方式呈現海流模擬結果。系統中，我們利用多層精細模型、可視範圍篩選與 ROAMing 等圖學簡化相關技術，加以簡化場景資料，讓資料量龐大的場景達到近似、簡化的效果，以即時的方式呈現；此外，利用圖形使用者介面 (GUI)，透過滑鼠、按鍵等操控，使用者可與場景產生絕佳互動的效果。利用此系統，使用者可自由地觀察與展示 3D 場景中巨觀全域與局部微小的變化，此技術適合應用在其它科學與工程領域之研究。

謝誌

本研究承蒙國科會專題研究計畫 (NSC 92-2611-E-035-001) 與國家高速網路與計算中心之補助，以及交通大學資科系郭予中同學技術之協助，特此感謝。

參考文獻

1. 林政宏, (1997), 深入虛擬實境VR, 基峰出版社。
2. Blumberg, A. F., and G. L. Mellor, (1987) "A Description of a Three-Dimensional Coastal Ocean Circulation Model", Three-Dimensional Coastal Ocean Models, Vol. 4, pp. 1-16.
3. Brown, J. R., R. Earnshaw, M. Jern, and J. Vince, (1995) Visualization: Using Computer Graphics to Explore Data and Present Information, John Wiley & Sons.
4. Duchaineau, et. al., ROAMing Terrain: Real-time Optimally Adapting Meshes. (<http://www.llnl.gov/graphics/ROAMD>)

5. Liang, Shin-Jye, , Yueh-Juan Glory Hsu and Ming-Che Chang, (2003) "Virtual Reality for Ocean Waves Around Taiwan", Proceedings of the Conference on Computer Applications in Civil and Hydraulic Engineering, Taipei. (Paper on CD-ROM)
6. Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe, (2000) "Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSE IDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model around Japan ", Journal of Oceanography, Vol. 56, pp. 567-581.
7. Yeh, Shan-Pei, Hwa Chen, Jan Sen, and Chia-Chuen Kao, (2002) "The application of POM to the Operational Tidal Forecast for the Sea Around Taiwan", The Seventh Workshop on Ocean Models for the APEC Region (WOM-7) .